



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

—ooOoo—

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Energétique

—ooOoo—

THÈME

**étude de migration et condensation de la vapeur d'eau a
travers des parois d'une construction en terre cuite**

Présenté par :

- Benhadjira kamel

-Mezabia Oussama Hocine

Soutenu publiquement le : 16 / 06 / 2021

Devant le jury composé de :

KEBDI ZAKARIA	MCA Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
GUERMIT TAHER	MCA Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur
KINA M. SALAH	MCA Université Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur

Année Universités : 2020/2021

الآية

قالى تعالى :

(لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ
بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنْصُرُهُ
وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ)

سورة الحديد الآية : 25



Dédicace

J'exprime ma gratitude les plus



sincères et les plus Profonds à Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir accomplir ce travail à terme. Je dédie ce travail à :

Mon père.

Ma mère.

Mes frères et soeurs.

Mes oncles et tantes.

Mes cousins et cousines.

A toutes mes amis, et mes collègues de la promotion de licences en génie mécanique

En fin je dédie ce travail à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leurs aides.

A tout, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.



REMERCIEMENTS

En premier lieu nous tenons à remercier Dieu, pour

Nous avoir donné la force à accomplir ce travail

Notre promoteur **Dr : K. M.SALAH*** Nous tenons à lui exprimer nos remerciements pour son soutien et ses conseils.*

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui

Contribuent de près ou de loin pour leurs soutiens et les

Conseils dont nous avons bénéficiés tout le long de ce

Travail et tout le personnel de l'Université Kasdi Merbah Ouargla



Sommaire

Dédicace.....	I
REMERCIEMENTS	II
Sommaire	X
Liste des figures	III
liste de tableau	VI
Les notes	VIII
Résumé	IX
Introduction général.....	XI
Introduction générale:	XII
Chapiter01	Erreur ! Signet non défini.
1. Introduction:.....	2
1.2. Composition de la terre cuite :	3
1.3. La stabilisation :	4
1.3.1. Types d'adjuvants:	5
1.4. Caractéristiques de la terre cuite :.....	5
1.4.1. Caractéristiques géométriques	6
1.4.2. Aspect.....	6
1.4.3 Propriétés mécaniques.....	7
1.4.4 Résistance au gel.....	7
1.4.5 Gonflement de l'eau.....	7
1.4.6 Épidémie.....	7
1.4.7 La granulométrie et la sédimen-tométrie.....	7
1.4.8 Sensibilité à l'eau.....	8
1.4.9 Adsorption.....	9
1.4.10. La Condensation	9
1.4.11. La capillarité.....	9
5. Les techniques de construction en Terre :	10
1.5.1. La terre, utilisée à l'état plastique, sous forme de boue	11
1.5.1.1. Adobe :.....	11
1.5.1.2. Bauge (Vendée), banco (Afrique), cob (Irlande), zabour (Yémen) :.....	11
1.5.1.3 .Torchis (Normandie), tchicka (Ethiopie) :.....	11

1.5.2.2. Briques de terre compactée (France), BTS (Algérie) :	13
1.5.3. <i>Le compactage de la Terre</i>	14
1.5.4. <i>Compression de vibrations</i>	14
1.6. Type de matériaux en terre cuite	14
1.6.1 <i>Produits solides. Produits perforés</i>	14
1.6.1.1 Brique pleine	15
1.6.1.2 Briques pleines et briques poreuses extrudées	15
1.6.2 <i>Produits creux</i>	15
1.6.3 <i>Tuiles</i>	16
1.6.4 <i>Carreaux</i>	17
1.7 Les avantages de la terre cuite:	18
1.8 Les inconvénients de la terre cuite:	18
Conclusion:	19
Chapiter02	20
2.1 introduction.....	21
2.2 Condestation:	21
2.2.1 <i>Diagnostic sur la migration de la vapeur d'eau</i>	22
2.2.2. <i>Les condensations superficielles:</i>	22
2.2.3. <i>Les condensations à l'intérieur d'une paroi:</i>	24
1.3. <i>Les facteurs aggravants traditionnels</i>	26
1.4. <i>Les bonnes pratiques</i>	28
1.5. <i>Perturbations potentielles sur la migration de vapeur d'eau</i>	29
2.6. Méthodes de calcul de diffusion de la vapeur d'eau	31
1.6.1 - La méthode GLASER*:.....	31
1.6.2 - Le logiciel WUFI@:.....	32
2.7. <i>Essai de quantification des infiltrations de vapeur d'eau dues à une membrane non continue.</i>	33
2.7.1 - Principes à respecter pour les parois ossature bois.....	33
2.7.2 - Principes à respecter pour les murs maçonnés de type monomurs	34
2.7.3 - Principes à respecter pour les murs isolés par l'intérieur.....	34
2.8.1 <i>Le comportement des matériaux et des parois à la migration de la vapeur d'eau</i>	35
2.8.2 <i>Diagnostic de l'existant et conception</i>	35
2.9. <i>Diffusion de vapeur d'eau au sein d'un matériau et d'une paroi:</i>	37
2.10 <i>Maintien du renouvellement d'air:.....</i>	38
2.10.1 Pare-vapeur:	38
2.10.2 Bonnes pratiques de conception : parois verticales	38
2.10.3. Bonnes pratiques de conception : parois horizontales ou inclinées	39
2.11. L'humidité :	40

2.12 Favorisation les flux de l'intérieur vers l'extérieur:	41
2.13 l'isolation par l'extérieur:	41
2.14 Conclusion:.....	47
Chapiter03	48
Introduction:	49
3.1. Hypothèses du modèle:.....	49
3.2. Domaine de validité de notre modèle :	50
3.3. Equation de transfert massique :	50
3.4. Equation de transfert thermique :	50
3.4. Résolution numérique :.....	50
3.4.1 Méthode des volumes finis :	50
3.4.2 Conditions aux limites :	51
3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS:	52
3.5.1 Résultats de la conductivité thermique et distribution de la diffusivité massique de la paroi simple en béton:	52
3.5.2 Résultats de la conductivité thermique et distribution de la diffusivité massique de la paroi multicouche :	55
3.5.3 Commentaire de résultats:.....	60
3.5.4 Résultats de la saturation de paroi simple en béton:	60
5.4.1 Résultats de la saturation de paroi multicouche:	63
3.5.5 Résultats de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale:	65
3.5.6 Comparaison avec d'autres travaux :	66
Conclusion général	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale	XV
Référence :.....	XVI

Liste des figures

Figure 1 : Les régions de développement de l'architecture de terre (Houben, H et al, 2006	2
Figure 2 : Les procédés de production de la terre crue (Houben, H et al, 2006)	3
Figure 3 : un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères(La revue durable, 2006).....	11
Figure 4 : Mur mixte en torchis (Jeannet et al , 1997).....	12
Figure 5 : Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes(Bui.Q.B, 2008)	12

Figure 6 : une maison construite en BTC en Rhône-Alpes(Source : CRATerre)	13
Figure 7 : diagramme de molier	22
Figure 8: Exemple de condensation de menuiserie © 2017-AQC-Erwan BIDAN.....	23
Figure 9 : Exemple de condensation au travers de la paroi (photos prises après démontage des lambris). © 2015-AQC – Mathieu CORTAL (absence de pare vapeur intérieure).....	24
Figure 10: condensation interne dans un mur.	28
Figure 11 : Présence d’un pont thermique en plancher haut – insuffisance de ventilation.	29
Figure12: Air ambiant vicié et saturé en vapeur d’eau – insuffisance ou absence de ventilation... ..	30
Figure 13 : Défaut d’entretien de la VMC – insuffisance de ventilation – défaut.....	30
Figure 14 : Défaut d’isolation du montant de la menuiserie – défaut d’étanchéité du joint. Pour visualiser ce qui se passe	31
Figure15: observations précises du bâtiment	36
Figure 16 : Bonnes pratiques de conception : parois verticales	39
figure 17 : privilège de l'isolation	42
Figure18 : frein vapeur	44
Figure 19 : la mise en œuvre d’un freine-vapeur continu s’avère délicate	46
Figure 20 : forme d’étude	52
Figure21: développements de la diffusivité de la paroi simple en béton(temps 522h)	52
Figure 22 : développements de la diffusivité de la paroi simple en béton(temps 100h).....	53
Figure 23: développements de la diffusivité de la paroi simple en béton (temps 250h.).....	54
Figure 24: développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton(temps 522h)	54
Figure 25 : développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton(temps 250h)	54
Figure 26 : développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton(temps 100h)	55
Figure 27: développements de la diffusivité de la paroi multicouche (Plâtre)	56
Figure 28 : développements de la diffusivité de la paroi multicouche (bois).....	56
Figure 29: développements de la diffusivité de la paroi multicouche (brique pleine)	57
Figure 30 : développements de la diffusivité de la paroi multicouche (polystyrène).....	57
Figure 31 : développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (brique pleine)	58
Figure 32: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (polystyrène)	58
Figure 33: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (bois)	59

Figure 34: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (plâtre).....	59
Figure 35 : développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=250h).....	60
Figure 36: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=100h)	61
Figure 37: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=400h)	61
Figure 38: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=522h)	62
Figure 39: développements de la saturation de la paroi multicouche (t=0h)	63
Figure 40 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=1h).....	63
Figure 41 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=200h)	64
Figure 42 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=522h).....	64
Figure 43: profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8% [t=100 h]	65
Figure 44 : profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8% [t=300 h].....	65
Figure 45 : profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8%[t=1000 h]	66

liste de tableau

Tableau 1 : Les différentes techniques de construction en terre (CRATerre, 1995)	10
--	----

Aprifacent :

VMC :volume mécanique control

ITI: Indemnité temporaire d'inaptitude

ITE: L'isolation thermique des murs par l'extérieur (ITE)

Cp : Chaleur spécifique (J/Kg K)

D : Diffusivité massique (m²/s)

Dva : Coefficient de diffusion de vapeur d'eau dans l'air (m/s)

e : Epaisseur (m)

h : Coefficient de transfert thermique par convection (W/ m² K)

hm : Coefficient de transfert de masse par convection (Kg/s m²)

L : Chaleur latente d'évaporation (J/Kg)

l : Dimension (m)

q : Densité du flux thermique (W/m²)

qm : Densité du flux massique (Kg/s m²)

S : Saturation

t : Temps (s)

T : Température (K)

λ : Conductivité thermique (W/mK)

ρ : masse volumique (kg/m³)

R : = 8.32 constante des gaz parfait (J/mole K).

Wp= La limite de plasticité

Wi= La limite de liquidité

Sd=la résistance de la vapeur d'eau

U= la facteur de résistance vapeur d'eau

HPV= écran sous toiture réfléchissant

Résumé:

Nous montrons les résultats de simulations numériques des transferts de chaleur et d'humidité associés à des murs monocouches et multicouches. Le problème d'interface a été résolu. Les équations de conservation de la masse et de l'énergie sont résolues numériquement à l'aide de variables finies. Nous avons analysé l'influence de la température sur l'évolution de l'humidité dans différentes formations et vice versa. L'influence des caractéristiques physiques et techniques sur l'évolution transitoire de la quantité de condensation et de vapeur d'eau est analysée.

Mots clés : Condensation, Vapeur d'eau, Humidité, Capillaire, Terre cuite, Enthalpie

الملخص:

عرضنا نتائج المحاكاة العددية نقل الحرارة والرطوبة المقترنين من خلال جدران بسيطة و متعددة الطبقات. وعولجت مسألة الوصلة البيئية. تم حل معادلات حفظ الكتلة والطاقة عدديا باستخدام اختلافات محدودة.

قمنا بتحليل السلوك تأثير الحرارة على تطور الرطوبة والعكس بالعكس في تشكيلات مختلفة. وجرى تحليل تأثير الخصائص الفيزيائية والهندسية على التطور العابر للكميات التكثيف وبخار الماء

الكلمات المفتاحية: التكثيف، بخار الماء، الرطوبة، الشعيرية، تربة الأرض، أنتالبي

Summary:

We present the results of numerical simulations of heat and moisture transfer associated with simple and multi-layer walls. The interface issue was addressed. The equations for conservation of mass and energy have been solved numerically using finite variations.

We analyzed the behavior of the effect of temperature on the evolution of moisture and vice versa in different formations. The effect of physical and engineering properties on the transient evolution of condensation and water vapor quantities was analyzed

Key words: condensation, water vapor, moisture, capillary, earth soil, antalbee

Introduction général

Introduction générale

La consommation d'énergie du secteur de la construction représente plus de 40% de la consommation nationale totale, notamment en chauffage, climatisation et éclairage.

Il est donc nécessaire de contribuer à l'amélioration de l'efficacité énergétique de ce secteur et de répondre aux défis environnementaux et énergétiques.

La consommation élevée est due à l'utilisation de matériaux modernes dans le bâtiment, à et à la non-application de la régulation thermique du bâtiment.

Par conséquent, la conception des bâtiments joue un rôle très important dans la

consommation d'énergie. Cela conduit à trouver les bonnes solutions pour réduire ces coûts énergétiques [1].

L'évolution des exigences réglementaires a réduit la valeur de perméabilité des nouveaux bâtiments. En conséquence, cela augmente non seulement le transfert de masse, en particulier l'impact de l'humidité sur le

bilan énergétique global du bâtiment, mais suscite également l'intérêt de la communauté scientifique pour «l'étude du mécanisme de transfert couplé de la chaleur, de l'air et de la chaleur».

Humidité dans le matériau poreux et à l'interface entre l'enveloppe du bâtiment et l'atmosphère. Une autre raison de cette évolution est que sous la pression de l'environnement, l'effet du transfert d'humidité sur la durabilité du bâtiment et la performance énergétique réelle du bâtiment s'est progressivement avéré important.

En effet, l'humidité est la principale cause de dégradation du bâtiment, une humidité excessive entraînera une diminution de la performance énergétique du bâtiment, bien qu'il y ait de nouveaux développements dans ce domaine [2].

Les méthodes de construction des terrassements varient considérablement. La terre peut être moulée, façonnée, compactée, comprimée. Pour chaque situation, il existe plusieurs techniques, de la technique la plus naturelle et traditionnelle à plus industrialisée. Cette diversité est due à la fois au type de terrain rencontré, et aux matériaux et / ou Développement local. Par conséquent, cela a conduit à une architecture très diversifiée dans le monde entier. Nous pouvons présenter les principales méthodes d'utilisation des terres par classification étatique

De l'humidité de la terre lors de l'utilisation. [3]

De la condensation qui apparaît sur le mur formant des touffes, et l'eau liquide issue de la condensation de vapeur. En revanche, la vapeur d'eau qui était initialement en place dans le corps se condensera et sera évacuée vers un endroit froid. Si la vapeur est empêchée de traverser librement la structure, la vapeur se condensera derrière l'écran imperméable et provoquera une turbulence importante dans la structure. Par conséquent, il est nécessaire d'appliquer un enduit à la chaux sur le mur en adobe.[4]

La capillarité est un phénomène qui se produit lorsqu'une structure poreuse (paroi arrière) entre en contact avec un liquide (généralement de l'eau). Cela se produit lorsque la différence de pression entre la pression de la phase liquide et la pression de la phase gazeuse fait que le liquide s'écoule à travers les pores de la structure. Le niveau d'action capillaire de la structure poreuse (paroi arrière) dépend de plusieurs facteurs:

- La nature et la quantité d'argile présente dans la structure (dans les murs)
- Nombre et taille des trous dans la structure (matériau)
- Climat (température et humidité)
- Présence de sel dans l'eau
- la gravité. [4]

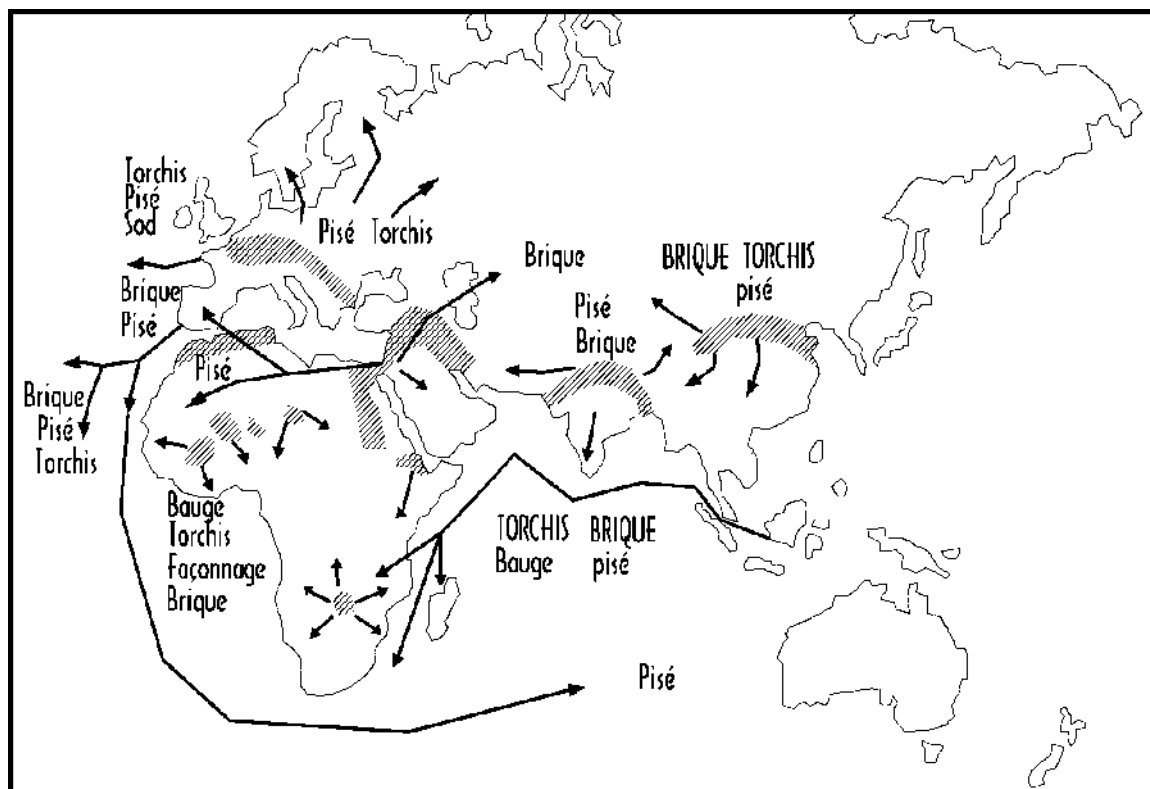
L'eau du bâtiment provient principalement de deux sources: l'eau liquide (pénétration d'eau de pluie, remontée capillaire et dégâts d'eau) et la vapeur d'eau.

Pendant la construction, la vapeur d'eau est générée par le séchage de matériaux tels que la chape, le mortier, le plâtre et la peinture, et même par le séchage accidentel de matériaux exposés à l'eau de pluie. Lors de l'utilisation du bâtiment, les occupants génèrent de la vapeur d'eau (par exemple, transpiration, séchage de vêtements ou cuisine) où la quantité d'eau transportée dans l'air est beaucoup plus élevée que la quantité d'eau transportée par les matériaux. [5]

Chapter01

1. Introduction:

Les matériaux de la terre sont l'un des matériaux les plus anciens et les plus modernes au monde faire des réserves. Puisqu'il n'y a que des connaissances empiriques, il est difficile de les diffuser, nous construis sous terre pendant des milliers d'années. Dans les conditions économiques actuelles, la technologie La structure civile est une alternative intéressante aux matériaux coûteux, tels que Béton et acier, à condition qu'ils aient une base scientifique suffisante pour garantir La cohérence et la fiabilité des produits de brique et des méthodes techniques. Les réalisations sont adaptées aux conditions économiques et sociales du site^[2].



1

Figure 1 : Les régions de développement de l'architecture de terre (Houben, H et al, 2006)

1.2. Composition de la terre cuite :

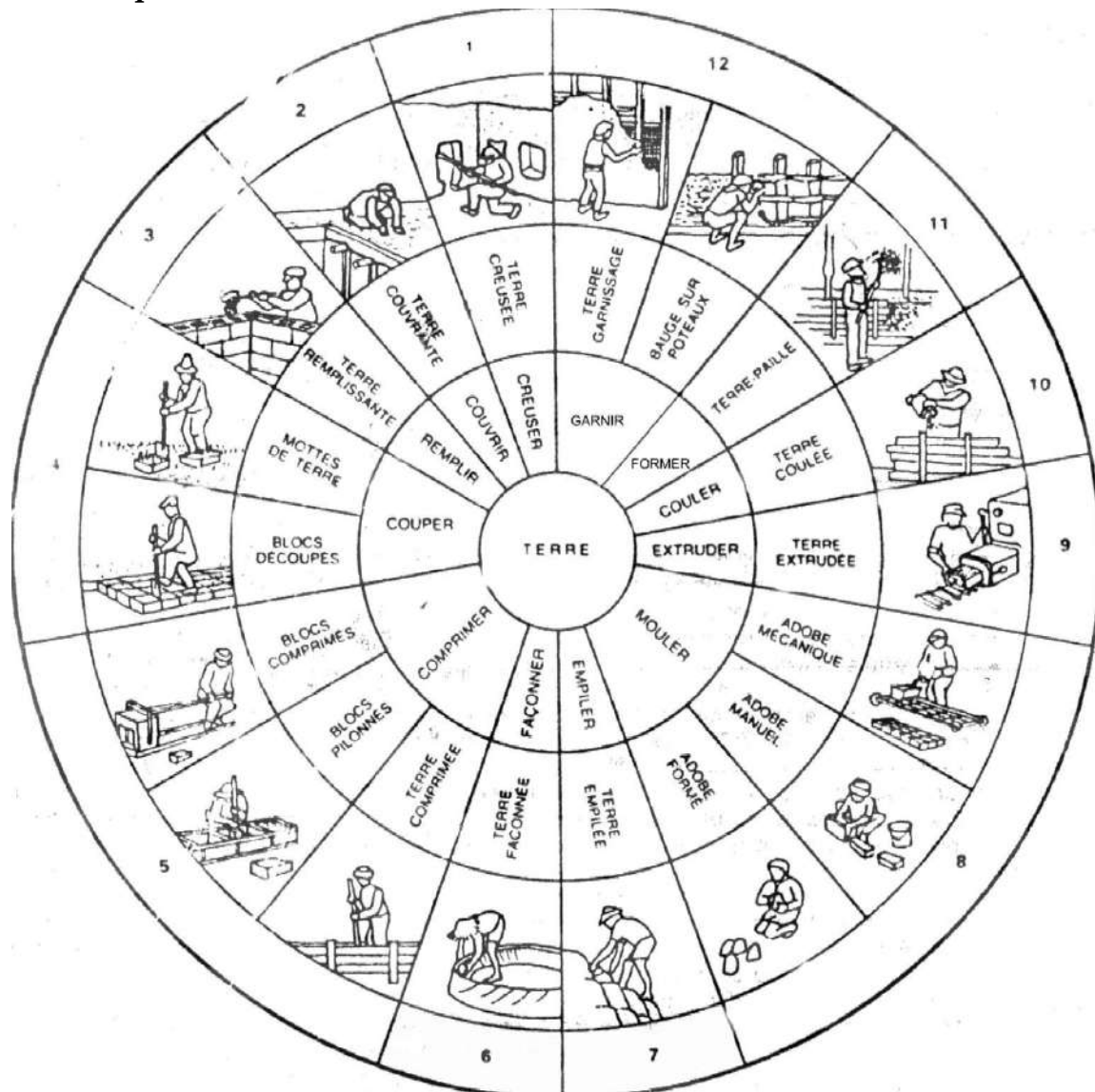


Figure 2 : Les procédés de production de la terre crue (Houben, H et al, 2006)

Généralement, le sol used est de préférence le sol du chantier, prélevé dans la couche située sous la couche arable (environ 20 à 40 cm sous terre), et ils sont constitués des matériaux suivants:

Gravier et galets;

-Zibeline

- Argile

- Limon

Le rapport de chaque composant varie en fonction de la zone géologique extraite. Le sol est défini en fonction de la proportion de chaque composant, ils sont plus ou moins visqueux, plus ou moins visqueux, plus ou moins sableux, plus ou moins limoneux, plus ou moins au moins des graviers de grand diamètre. Ces caractéristiques infiniment variables dépendent de la zone géographique et des terrains qui devraient convenir à chaque opération. Les terrains sont plus adaptés à une technologie certains qu'à une autre, et moyennement adaptés à un autre procédé. La difficulté de caractériser la terre peut générer l'utilisation de la terre d'origine, mais il y a quelques tests à réaliser sur place qui permettent de préciser la masse de la terre: retrait, cohésion structure ou de caractérisation. Surtout résistance mécanique. Le toucher, la vue et l'odorat peuvent également être des indicateurs pour les professionnels expérimentés.

Le test peut également être réalisé en laboratoire, mais sa mise en œuvre est plus longue et le coût d'obtention est plus élevé. Ces tests menés dans des laboratoires spécialisés portent sur la granulométrie, la plasticité et la compressibilité.

Par exemple, en fonction des besoins et de la qualité du sol déterminé, vous pouvez ajouter du sable ou du gravier, des stabilisants (végétaux ou minéraux) pour un sol trop cohésif afin de réduire le retrait lors du séchage, modifier ainsi sa composition. Le terrain se caractérise également par sa teneur en humidité. La teneur naturelle en eau de la terre est d'environ 3%. Le Centre de recherche CRATerre a décrit douze états de l'eau de la Terre, des conglomérats compacts aux glissements de terrain 4. La teneur en humidité du sol variera en fonction du programme sélectionné^[6].

1.3. La stabilisation :

La stabilisation pour changer le comportement de la terre , c'est une opération d'ajout d'additifs pour rendre le mélange contenant le sol moins sensible à l'eau pour limiter sa dégradation^[6]. Elle est utilisée par de nombreux professionnels dans diverses techniques: épis de maïs, pisé, briques, sol léger, etc. Dans certains cas, cela peut être intéressant. Cependant, l'utilisation de la terre ne signifie pas nécessairement la stabilité.

1.3.1. Types d'adjuvants:

Les substances qui changent de composition sans changer leur comportement physique et chimique; elles peuvent permettre aux composants du sol entre eux de mieux se combiner, et peuvent également compenser le manque ou l'excès d'autres composants par rapport à d'autres composants. Ces adjuvants peuvent être: des fibres végétales ou animales, du sable, du gravier, etc., etc. [6].

Les matériaux qui changent de composition en modifiant leur comportement physique et chimique interviendront par les réactions chimiques suivantes lors du séchage de la terre: la chaux aérienne, la chaux hydraulique et le ciment. L'eau face à la terre Pour façonner, selon la technologie choisie, la terre a besoin de fournir une plus ou moins grande quantité d'eau. Une fois la terre utilisée, quelle que soit la forme utilisée, les briques, la terre battue, la terre légère ... doivent être séchées pour éliminer l'eau mélangée afin que l'argile contenue puisse fonctionner comme un liant. Comme mentionné ci-dessus, «La terre ne peut être durcie que par séchage à l'air ... Elle a les caractéristiques uniques de plasticité et de ductilité lorsqu'elle entre à nouveau en contact avec l'eau.»

Si la terre devient plastique et malléable au contact de l'eau, toute eau s'écoulant sous quelque forme que ce soit sur la structure du sol peut être source de confusion. Bien que la terre soit un matériau solide et pérenne, c'est un matériau sensible à l'eau et affaibli par l'eau^[2].

1.4. Caractéristiques de la terre cuite :

Les matériaux du sol d'épaisseur variable sont produits par les procédés suivants: Transformation complexe: adultes. Sa nature est affectée par de nombreux facteurs Propriétés physiques, chimiques et biologiques, en fonction des conditions climatiques et de la durée de vie de la plante, et animal. La nature de la terre dépend de la structure de la roche mère (calcaire, granit), Hydrologie, degré de transformation humaine des sols (agriculture, travaux publics). Dans la construction civile, le sol de construction provient toujours de sous la couche arable, Élimination de la couche végétale biologiquement active excessive et de la matière organique L'important est d'être embauché. Par conséquent, il existe des composants stables, tels que du gravier, Sable, limon et argile. La qualité du produit (bâtiment) dépend dans une large mesure de la texture de la terre Seule la qualité de ses composants. Cette qualité est

directement liée à la proportion de chaque personne Les éléments et la nature de l'argile présente. Les principales caractéristiques du terrain sont:

-Granularité: la quantité et la taille de l'agrégat

-Sa plasticité: la caractéristique de l'absorption, c'est-à-dire sa capacité à absorber et à retenir l'eau. Celui-ci

Peut provoquer une expansion, une contraction et des fissures de retrait.

-Sa compressibilité: il a la capacité de densifier et de réduire le volume et la porosité,

Il varie en fonction du taux d'humidité et de l'énergie ou de la force de compression utilisée.

-Sa cohésion: la capacité des particules à tenir ensemble lorsqu'une force de traction est appliquée.

L'identification de ces caractéristiques peut être réalisée en laboratoire selon le procédé et les normes

existant. Il peut utiliser des équipements simples ou complexes. Cette reconnaissance peut

Elle peut également se faire sur place de manière simple et empirique. Dans ce cas, c'est fait comme ça Sens, et basé sur l'expérience des gens (maçons) ^[2].

1.4.1. Caractéristiques géométriques

Il n'y a actuellement pas de taille préférée, mais, généralement, la largeur (dimension le long de la direction de l'épaisseur de la paroi) varie de 3,5 à 32,5 cm, et la plus petite épaisseur est la briques spéciales pour la séparation ou le revêtement.

Différentes hauteurs De 11 à 40 cm, longueur de 40 à 60 cm.

- La disposition du mur doit répondre aux spécifications Précis, conçu pour assurer de bonnes propriétés mécaniques. Concernant les briques pliées, les spécifications La complémentarité tend à assurer une mise en œuvre correcte et Bonnes propriétés mécaniques: largeur cumulée en particulier La largeur de la surface d'appui doit être au moins égale à 80% de la largeur Briques brutes^[7].

1.4.2. Aspect

Parce que c'est un matériau, le pourcentage est très élevé vides, donc il y a une résistance mécanique Pour assurer par des parois relativement minces, il faut Ces murs ne présentent qu'un nombre limité de défauts. il est Pourquoi limiter strictement

le nombre de fissures (1 à 2 Selon le type de produit) et le pourcentage de briques présentant ces défauts dans l'approvisionnement: si oui, alors 30% Pour les briques ordinaires, s'il s'agit d'une brique à résistance garantie, elle est de 15%^[7].

1.4.3 Propriétés mécaniques

Il y a une différence entre une brique qui garantit l'endurance et une brique Ordinaire. Les caractéristiques des briques à résistance garantie sont Résistance moyenne et minimale à l'écrasement, et classée, Selon leur résistance moyenne, ils sont divisés en trois catégories.³

1.4.4 Résistance au gel

L'essai de gel-dégel à 25 cycles ne doit entraîner aucune détérioration avec une perte de qualité supérieure à 1%^[7].

1.4.5 Gonflement de l'eau

Valeurs limites inférieures à l'expansion conventionnelle Le test accéléré est le suivant:

-Dans l'autoclave: 1,6 mm / m

-Eau bouillante: moyenne 0,6 mm / m, ponce 0,8 mm / m maximum.^[7]

1.4.6 Épidémie

La norme limite le nombre et la taille des cratères peut avoir semblé accélérer les tests Expansion des grains de chaux ou de pyrite^[7].

1.4.7 La granulométrie et la sédimen-tométrie

La taille des particules et la courbe des sédiments nous permettent de savoir si le matériau peut Utiliser-le dans son état naturel, ou s'il doit être tamisé pour supprimer certains des éléments les plus gros.

Elle peut Cela nous permet également de classer les matériaux en fonction des classifications existantes Notre pays / région.

En laboratoire, des tamis et des balances sont utilisés pour le séchage et / ou le mouillage.

Sur les lieux, une estimation visuelle est faite en touchant le matériau et en mesurant la taille du récipient. [2].

1.4.8 Sensibilité à l'eau

La consistance du sol variera en fonction de la quantité d'eau interstitielle dans ses pores Et l'épaisseur de la couche d'eau adsorbée recouvrant les fines particules (argile).

L'argile contenue dans le matériau a des propriétés et une sensibilité différentes, en fonction de leur surface Peut être exposé à l'eau (pour une eau moins sensible, cela peut aller de 1 à 4 mètres carrés par gramme) Des centaines de mètres carrés par gramme (les plus sensibles). Structure cristalline des particules d'argile Leur donner une série de caractéristiques comportementales: cohésion, plasticité, adsorption d'eau, Gonflement, contraction, ... Il existe des constantes physiques conventionnelles pour mesurer la sensibilité du sol appelées «limites».

Et la valeur mesurée avec le bleu de méthylène s'appelle la valeur bleue.

Les échantillons de terre peuvent être trouvés dans plusieurs états:

-Liquide, s'il contient beaucoup d'eau. Dans ce cas, prenez la forme d'un conteneur, où Il s'avère. Si vous réduisez progressivement l'humidité à tout moment, même si elle est encore très humide, L'échantillon conserve sa forme au lieu de la forme du récipient: il est alors à sa limite de fluidité Ou **W_L**.

-Etat plastique, si sa teneur en eau est inférieure à la précédente. Dans ce cas, il est toujours en état Il est très humide, il ne changera pas de forme, mais il peut toujours être moulé à la main. Si l'humidité est continuellement réduite pendant le processus de mise en forme, un problème se posera:

L'échantillon est cassé. La limite plastique de l'échantillon est **W_p** En abaissant son taux d'humidité, il dépassera sa limite de mouillabilité mais toujours de mouillabilité mais de plasticité. Des fissures (limite de plasticité) sont apparues lors de la modélisation, à savoir **W_p**.

-S'il y a peu et / ou pas d'humidité, il est sec. La différence entre **W_L** et **W_p** est un paramètre important appelé l'indice de plasticité **I_p**, qui montre La plage dans laquelle le matériau reste plastique. Plus le **I_p** est grand, l'argile très active peut être contenue

sur la terre, ce qui signifie un **Ip** plus élevé Un degré élevé de vigilance doit être maintenu pendant l'utilisation et l'entretien de la structure du sol. ^[2].

1.4.9 Adsorption

si nous augmentant l'humidité relative cela correspond en fait à la fixation de supports poreux Une certaine quantité d'eau est attribuée aux forces intermoléculaires (forces de Van der Waals) agit sur les molécules de vapeur à proximité de l'interface solide-liquide dans le pore^[2].

1.4.10. La Condensation

Le phénomène de condensation (passage de l'état vapeur à l'état liquide) apparaît sur une paroi, avec formation de masse d'eau liquide provenant, d'une part de la condensation de la vapeur initialement en place dans le corps, d'autre part de la condensation du flux d'humidité en phase vapeur s'écoulent vers les zones froides. Si on empêche que la vapeur puisse traverser librement la structure (avec un enduit imperméable par exemple), elle se condense derrière cet écran imperméable et crée des désordres importants dans la structure. D'où la nécessité d'appliquer des enduits à la chaux sur des murs en pisé. ^[2].

1.4.11. La capillarité

La capillarité est un phénomène qui a lieu lorsque les structures poreuses (les murs en terre) se trouvent en contact avec un liquide (de l'eau le plus souvent). Cela se produit lorsque la différence entre la pression en phase liquide et celle de la phase gazeuse provoque le cheminement du liquide dans les pores de la structure. Le niveau de la capillarité des structures poreuses(les murs en terre) dépend de plusieurs facteurs : - la nature et la quantité des argiles présentes dans la structure (dans le mur) - la quantité et dimension des pores de la structure (matériau) - le climat (température et hygrométrie) - la présence de sels dans l'eau - la force de gravité Il est judicieux de prévoir un soubassement résistant à l'eau ainsi qu'une barrière de capillarité, afin d'éviter au maximum que la structure soit en contact direct avec de l'eau. Il est également important de veiller que le mur ne soit pas recouvert d'un enduit imperméable. Faute de quoi l'eau se trouvant derrière cette barrière, peut se condenser, créer des pressions interstitielles, et finalement, éclatera l'enduit^[2].

5. Les techniques de construction en Terre :

Tableau 1 : Les différentes techniques de construction en terre (CRATerre, 1995).

Terre creusée	Habitat creusé dans l'épaisseur du sol (habitat troglodytique)
Terre recouvrante	La terre recouvre une structure construite avec un autre matériau.
Terre remplissante	La terre remplit des matériaux creux employés comme enveloppe.
Terre découpée	Des blocs de terre sont directement découpés dans le sol.
Terre comprimée	Des éléments sont réalisés avec une terre comprimée dans des moules ou des coffrages.
Terre façonnée	La terre plastique est façonnée à la main pour dresser des murs minces.
Terre empilée	Des boules de terre sont empilées pour constituer des murs épais.
Terre moulée	La terre est moulée à la main ou à l'aide de moules de formes diverses.
Terre extrudée	La terre est extrudée par une machine puissante.
Terre coulée	La terre est coulée dans des coffrages ou dans des moules, comme un béton.
Terre-paille	Une barbotine argileuse lie des fibres et constitue un matériau léger.
Terre garnissante	La terre mêlée de fibres est appliquée en couches minces pour garnir le support.

Les modes de construction en terre sont très variés. La terre peut être moulée, modelée, compactée, compressée. Pour chaque cas, il existe plusieurs technologies, de la plus naturelle et artisanale à la plus industrialisée. Cette diversité est due à la fois de types de terres rencontrées et aux matériels disponibles et/ou développés localement. Elle a ainsi entraîné une architecture très variée de par le monde. On peut présenter les principaux modes d'utilisation de la terre en les classant en fonction de l'état d'humidité de la terre au moment de son utilisation, et en fonction du mode de mise en œuvre du matériau. A noter : il n'y a pas de « bonne terre ». Il y a juste de bons maçons qui savent utiliser la terre disponible^[2].

1.5.1. La terre, utilisée à l'état plastique, sous forme de boue

1.5.1.1. Adobe :



Figure 3 : un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères

(La revue durable, 2006)

Ce processus utilise des matériaux très visqueux, préparés sous forme liquide (la teneur en eau est d'environ 30%). C'est dans un moule en bois ou métal. Ces briques seront placées dans la maçonnerie de mortier de maçonnerie après séchage au soleil C'est le même sol. Les briques ainsi produites sont utilisées comme matériaux de support ou Remplisseur. Dans certains États du sud des États-Unis, cette technologie a été industrialisée et hautement mécanisée. (Arizona, Californie) Un endroit utilisé pour de nouvelles constructions^[2].

1.5.1.2. Bauge (Vendée), banco (Afrique), cob (Irlande), zabour (Yémen) :

La terre est préparée de la même manière qu'Adobes. La méthode de fabrication est manuelle: elle inclut la modélisation manuelle au fur et à mesure que le mur avance, En formant une saucisse d'environ 60 cm de haut et d'épaisseur à partir de la terre. Cette Le matériau utilisé est très collant et peut être ajouté avec de la fibre végétale ou de la paille. Mur Ce qui est produit de cette manière est généralement un support^[2].

1.5.1.3. Torchis (Normandie), tchicka (Ethiopie) :

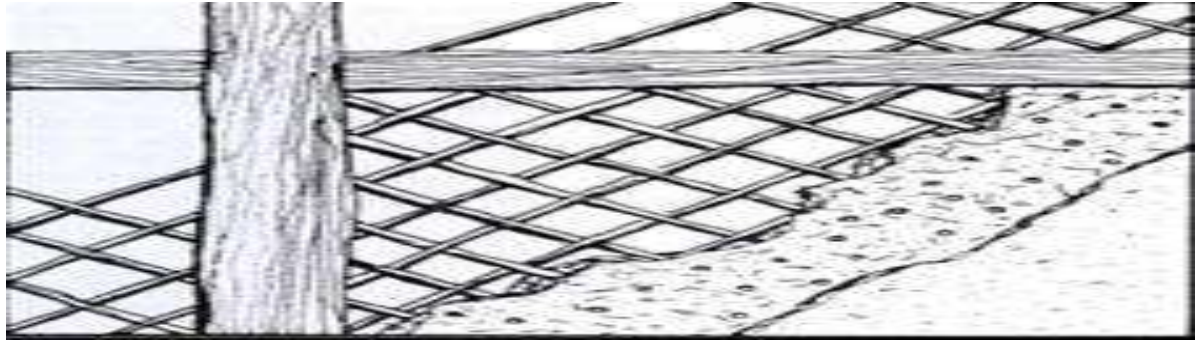


Figure 4 : Mur mixte en torchis (Jeannet et al , 1997)

Le matériau de base est le même que la tige centrale. Il est généralement ajouté avec des fibres, puis pulvérisé ou placé comme revêtement sur la structure en bois ou bambou. Par conséquent, c'est une sorte de remplissage et le cadre en bois assure la fonction de portance. Dans tous les cas, la réalisation de la structure nécessite des compétences manuelles et vieilles. Le matériau final n'est pas très résistant, surtout par mauvais temps ou par l'eau. À l'état liquide (salle de bain, cuisine, etc.). Pour surmonter cette lacune, des solutions architecturales Il est développé sur adobe qui a plus de 300 ans de haut et plus de 30 m La vallée de l'Hadramaout est au Yémen. On peut également citer la magnifique mosquée du Mali, ou Église du sud des États-Unis^[2]. .

1.5.2. La terre, utilisée à l'état légèrement humide:

1.5.2.1. Pisé (France, Maroc), Rammed earth (USA, Grande-Bretagne) :



Figure 5 : Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes(Bui.Q.B, 2008)

Ce procédé utilise des matériaux sableux ou graveleux (la granulométrie maximale est de 10 à 60 mm), Préparé dans un état de faible humidité (teneur en eau d'environ 10% à 15%). La méthode manuelle traditionnelle consiste à compacter le sol à la main

Entre deux volets en bois (le gabarit mesure 60 cm de haut, 40 à 60 cm de large et 3 à 5 m d'épaisseur Longueur), à l'aide de pièces à carreaux ou de pisolir. Le mur de terre battue se compose de bandes horizontales Correspondent aux branches, leur donnant une apparence assez large. Grâce à l'utilisation de dames sur le marteau-piqueur, la mise en œuvre de la terre battue a été modernisée Et des branches métalliques modulaires. La terre battue est utilisée comme matériau porteur. Voici quelques méthodes traditionnelles La zone du sud-est de la France était encore utilisée au Maroc jusqu'au début de ce siècle^[2].

1.5.2.2. Briques de terre compactée (France), BTS (Algérie) :



Figure 6 : une maison construite en BTC en Rhône-Alpes

(Source : CRATerre)

L'adobe compacté est constitué d'argile sableuse et de son sol L'élément ne dépasse pas 20 mm. Le matériau est utilisé comme matériau porteur Ou remplissez. Ces briques sont réalisées par compactage par compression statique, dynamique ou vibratoire avec des presses manuelles, hydrauliques ou mécaniques. Cette technologie C'est une méthode de construction moderne dérivée de la maçonnerie en blocs de ciment. L'avantage de cette technologie est qu'elle permet un contrôle qualité simple

du produit. Matériaux dans le processus de fabrication, ainsi que l'utilisation et l'adaptation des connaissances locales Le maçon l'implémente pour cela. Si la terre battue est suffisante pour une nouvelle construction aux États-Unis, utilisez la technologie des blocs compactés ou la compression est actuellement la plus prometteuse. Son avantage est Machines modifiées, suivi de leurs possibilités de fabrication, facilité de mise en œuvre, Formes architecturales complexes (portes cintrées, voûtes et coupoles) encore à réaliser^[2].

1.5.3. Le compactage de la Terre

Le compactage est une technique qui augmente la densité du sol en réduisant son volume; Il existe plusieurs types de compression:

- Compaction dynamique
- Compactage statique
- Compact par compression de vibration

1.5.4. Compression de vibrations

Cette méthode de compactage combine la vibration du moule et l'application de la charge La compression est généralement assez faible. Utilisé pour mettre en œuvre des produits en béton. ^[2].

1.6. Type de matériaux en terre cuite

Chez les guerriers en terre cuite, deux processus principaux sont utilisés: l'étirement Et urgent. Nous vérifierons le formage à tour de role Produits solides et perforés, produits creux (briques, Bushels, dalles), carreaux de céramique et carreaux de céramique^[6].

1.6.1 Produits solides. Produits perforés

Selon le terrain utilisé, différents procédés sont utilisés. Ces deux sont principalement adaptés au moulage de briques pleines Pressé et utilisé pour former des briques extrudées solides ou poreuses^[6].

1.6.1.1 Brique pleine

La matière première utilisée est généralement la chaux, Trouvé principalement dans le nord de la France, en Normandie et Région parisienne. Ce sont des ingrédients très fins,

Surcharge de silice. Leur forme est la même, De la carrière, le pourcentage d'eau est faible (quota) 15%). Utiliser une presse à plaques (pression de 5 à 10 MPa), La cadence de production est de 600 à 800 briques / heure (briques de dimensions 6 × 11 × 22 cm). Nouvelle machine d'impression automatique Des tarifs plus élevés sont autorisés, mais nécessitent Séchez le sol au préalable et ajustez la taille des particules de manière appropriée Obtenez de la nourriture sèche^[6].

1.6.1.2 Briques pleines et briques poreuses extrudées

Dans certaines installations, notamment pour produire Afin de garder les briques visibles, la pâte subit une préparation similaire au produit creux. Dans d'autres produits, le flan est formé, puis Pressage (remodelage de briques ou pressage de briques)^[6].

1.6.2 Produits creux

Les technologies de fabrication suivantes sont liées au développement Briques creuses pour murs, blocs de gypse, blocs Perforations verticales, produits de sol et de plafond, Et les boisseaux de cheminée. La chirurgie plastique a essentiellement deux fonctions. La première consiste à donner à la pâte une cohésion suffisante. Cette La cohésion qui a existé grâce aux travaux préparatoires est terminée Grâce à l'amélioration de la compression de la pâte, l'air résiduel (dégazage) dans l'argile est éliminé et amélioré Par mouillage supplémentaire ou par injection de plasticité Vapeur d'eau sous pression. Dégazage de la pâte vise à améliorer la plasticité et à fournir plus Une forte cohésion est propice au développement de l'ensemble de la filière. Au cours des 20 dernières années environ, une nouvelle technologie de mouillage a vu le jour, qui comprend le remplacement de l'ajout d'eau froide, Vapeur ajoutée au mélangeur de mouillage avant la machine à tréfiler Sous pression (200 à 700 kPa; rappelez-vous 1 Pa = 1 N / m²). Pour 1 tonne d'argile, la quantité de vapeur ajoutée de cette manière est de 40 à 50 kg ^[6].

De cette manière, les pâtes peuvent être étirées à différentes températures. de 60 à 90 °C, il peut grandement améliorer la plasticité et favoriser séchage. Cette technologie ne peut pas être sur utilisée Humide; dans ce cas, ajoutez 40 à 50 kg d'eau sous la forme Cuire à la vapeur, ce qui rend la pâte trop molle et se déforme produit. La deuxième fonction est de donner à l'argile la forme souhaitée. C'est-à-dire Grâce au mélange d'argile, le produit utilisé pour les produits creux est obtenu Par un département. L'équipement utilisé est une civière (également appelée Machine de moulage ou extrudeuse). Leur composition générale est la suivante:

-Utiliser de l'argile pour pousser le premier cylindre d'argile L'hélice ou la pale traverse la chambre à vide, Dégazer

-Le deuxième cylindre sert à recevoir l'argile de la chambre Vide; l'argile est transportée par l'hélice jusqu'à l'embouchure de la terre. Moules et moules. Le débit de la civière est d'environ 3 à 40 tonnes / heure. Cette Le débit moyen est de 15 à 20 tonnes / heure, ce qui est affecté par plusieurs conditions facteur:

- La forme du produit à filer

- L'intérieur du brancard lui-même est Déterminé par le diamètre de l'hélice; c'est cette dimension Les caractéristiques de la machine d'étirage: 250 à 550 mm

- La vitesse de rotation de l'hélice et le pas de l'hélice

- Plasticité de la pâte

- Régularité d'alimentation.

Le moule est la pièce placée à l'extrémité de la machine d'étirage, à travers La pâte d'argile est poussée. Par conséquent, il fournit au produit La forme finale. Évitez la déformation et l'apparence Des fissures apparaissent dans les dernières étapes de la fabrication (séchage), Tous les filets d'argile sortant du moule doivent avoir le même la vitesse. Cet ajustement est appelé équilibre Et constituent une opération délicate, qui affecte généralement la qualité Quelques produits ^[6].

1.6.3 Tuiles

Il existe trois types de tuiles à considérer:

- Les carreaux rainurés: ils ont la forme de produits creux, En étirant

- Les carreaux plats: ils sont généralement formés par étirement

Parfois, les carreaux sortant de la machine d'étirage sont compressés pour leur donner leur forme finale

- Dalles imbriquées: elles sont formées par emboutissage La partie de l'ébauche précédemment étirée, appelée crêpe.

Il existe un modèle spécial appelé carreaux romains, Le plateau et le couvre-joint sont utilisés ensemble, ce qui présente de grands avantages Les tuiles imbriquées préservent l'aspect du toit sur le toit Briques dans le canal. Notez l'apparition récente du nouveau modèle: les tuiles Grand format (7 par mètre carré), les carreaux imbriqués ont l'apparence de carreaux plats, etc. La production de briques imbriquées dans la presse se fait par Deux façons: -En utilisant un moule en plâtre pour presser la pommade ou caoutchouc:

- Utilisez un moule en métal pour presser en une pâte dure. Les presses les plus couramment utilisées sont les Revolver. Ils ont un tambour à peu près pentagonal dans lequel Il y a une moitié de moule inférieure de chaque côté, et La moitié supérieure du moule est portée par la plaque descendante Lorsque l'une des faces du pentagone est en position horizontale. elles ou ils Habituellement appelée presse à cinq faces, elle peut produire 900 à 1500 watts par heure.

Au cours des quinze dernières années, il y a eu des presses à huit voies Côté: Le tambour avec la moitié inférieure est de forme octogonale Plusieurs moules (généralement 3) sont disposés de chaque côté. Ils peuvent produire de 2500 à 3600 tuiles par heure.

L'opération d'ébavurage de carreaux est conçue pour faire Éliminez les bavures générées pendant le processus de pressage, qui seront automatiquement effectuées sur la presse avant le démoulage^[6].

1.6.4 Carreaux

Le moulage par extrusion à l'aide d'une machine de moulage est Le mode de formatage le plus populaire pour les tuiles Le moule cuit peut envoyer en continu une bande de pâte en plastique, Vous pouvez simplement couper avec des pinces coupantes, ou vous pouvez couper Selon la forme spécialement choisie (hexagone,

broche, trèfle, Balances, etc.) par des couteaux spéciaux fonctionnant selon le principe Emporte-pièces. Dans certains cas, ces éléments coupés Soumis à la compression, généralement dans un moule en acier ou plâtre. Il utilise également la technologie d'extrusion jumelée, Surtout pour les grands éléments qui sont généralement appelés dalles plutôt que tuiles. Dans certains cas et Diverses méthodes de moulage, particulièrement rencontrées dans la fabrication fait à la main ou semi-manuel (estampé, moulé plâtre etc.)^[6].

1.7 Les avantages de la terre cuite:

- Une bonne inertie thermique, tant pour le confort d'hiver que pour le confort d'été et donc des besoins de chauffage plus faible

- Régulateur hygrométrique : le taux d'humidité dans la maison est constant.

Résultat : l'atmosphère est saine et confortable

- Limitation des ponts thermiques

- Un matériau incombustible, durable dans le temps et recyclable.

- Esthétisme

- Variétés de choix (couleurs, formes)

- Robustesse

- Inertie thermique

- Matériau écologique^[7].

1.8 Les inconvénients de la terre cuite:

Pour leur fabrication, les briques de terre cuite nécessitent^{[8,9[10]}.]:

- Mise en œuvre délicate : la construction en mono mur implique des techniques particulières.

- Sa porosité

- Besoin d'entretien hydrofuge

- Pose délicate des éléments de construction

Conclusion:

Dans ce chapitre, la connaissance du fonctionnement d'une paroi de construction et les problèmes qui peuvent survenir lors de la migration à travers une construction en terre cuite est établie. Le transport de la vapeur d'eau sur un mur isolé sont plus importants car le matériau qui compose ce mur peut être affaibli par un excès d'eau et d'humidité; la connaissance des différents propriétés des matériaux du sol, et les composés des matériaux des parois permet l'identification des paramètres hydro-thermiques appropriés pour des simulations statique ou dynamique de diffusion de vapeur d'eau.

Chapter02

2.1 introduction

Bien qu'il y ait un climatiseur. Cependant, les problèmes de condensation dans les murs conduisent toujours à des problèmes: au niveau des finitions (ulcération de la peinture, écaillage des plaques, traces d'humidité dans le temps), au niveau des stabilisants (corrosion) et en termes d'efficacité thermique. Façades et même planchers (perte de performance d'isolation). Lors de la construction d'un mur, assurez-vous qu'il est correctement isolé pour éviter de gaspiller de l'énergie en chauffage ou en climatisation. Cependant, nous négligeons souvent le contrôle du mouvement de l'humidité à travers le mur, entre l'intérieur et l'extérieur, en raison de la différence de pression de vapeur entre les deux environnements. Au lieu de cela, c'est une règle de base de déterminer où placer un pare-vapeur pour contrôler de manière appropriée le transport de la vapeur d'eau. Ensuite, nous prions pour que le mur se comporte bien en présence d'humidité et nous restons attentifs au moindre signe de moisissure^[11.12.13].

2.2 Condestation:

Les halos et les taches de moisissure sont les principaux signes de condensation dans la maison, et sont plus fréquents dans les endroits froids et mal aérés: tirez des plafonds, des coins de séparation, des murs d'armoires, etc^[14].

Après un certain degré de gravité, les occupants confondent souvent ces dommages avec des fuites ou des infiltrations. Ils peuvent avoir un impact sérieux sur la santé et le confort des occupants, et peuvent également avoir un impact sérieux sur la protection du bâtiment^[4].

Plus l'air condensé n'est chaud en raison de la saturation de la vapeur d'eau, plus sa capacité à absorber la vapeur d'eau est élevée. Par conséquent, tôt ou tard, l'air humide refroidi atteindra la saturation: une partie de la vapeur d'eau se condensera. Le diagramme de Mollier liant température et humidité absolue * permet de reconnaître ce phénomène^[15].

2.2.1 Diagnostic sur la migration de la vapeur d'eau

L'air ambiant contient différentes quantités de vapeur d'eau. Elle provient de l'évaporation de l'eau du sol, de la respiration des plantes et des animaux, et des activités humaines (cuisine, douche, etc.). À tout moment, l'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau, appelée humidité relative (HR).^[4]

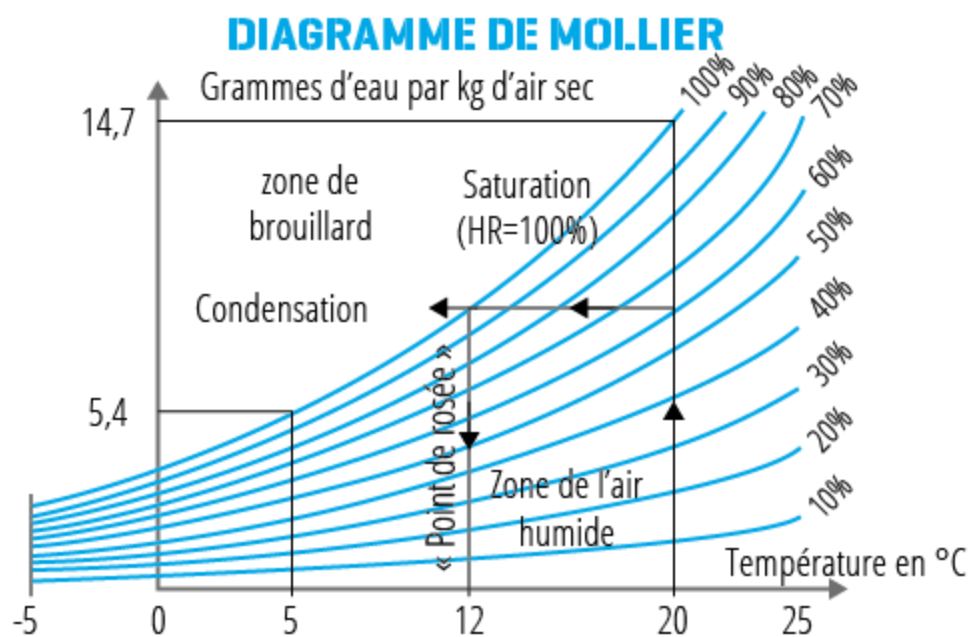


Figure 7 : diagramme de mollier

A une température et une pression données, l'air ne peut contenir qu'une quantité limitée d'eau sous forme de vapeur.

Le nombre maximum augmente avec la température. Toutes ces valeurs extrêmes peuvent être obtenues en lisant simplement le diagramme de Mollier.

La condensation fait référence à la conversion de l'excès de vapeur d'eau contenu dans l'air saturé en eau liquide (HR = 100%).^[14]

2.2.2. Les condensations superficielles:

Ils peuvent être observés dans les zones froides, comme sur les simples ou doubles vitrages en menuiserie, sur les murs opaques (murs), les sols (tels que les briques et les tuiles), les ponts thermiques (structuraux ou dus à des imperfections d'exécution), en mauvais ou en pavage sur des terrasses mal isolées et les placés sur des carreaux de salle de bain, etc., est également propice à l'apparition de moisissures^[14].



Figure 8: Exemple de condensation de menuiserie © 2017-AQC-Erwan BIDAN

Essentiellement, ce phénomène est lié à la tendance des murs, qui ont tendance à transférer la chaleur de la pièce chauffée vers l'extérieur. Sur la base de l'épaisseur de la paroi et du matériau constituant la paroi, elle est évaluée comme la conductivité thermique (K).

Lorsque la paroi présente une mauvaise résistance à la chaleur (facteur K élevé), c'est le cas du verre monocouche, et sa température de surface peut être bien inférieure à celle de l'air ambiant. L'air en contact avec la surface se refroidit et une partie de la vapeur d'eau qu'elle contient se condense en eau liquide. Par conséquent, une fois la température extérieure fortement réduite, la surface deviendra rapidement un lieu de condensation voire un lieu de ruissellement.

En revanche, lorsque la paroi présente une bonne résistance thermique (faible coefficient K), la température de surface de la paroi est proche de la température de surface de l'air ambiant. Il n'y a pratiquement aucun risque de condensation d'air près de la surface^[14].

2.2.3. Les condensations à l'intérieur d'une paroi:

Lorsque La pression de vapeur d'eau à l'intérieur de l'ambiance est supérieure à la pression de vapeur d'eau extérieure, la migration aura lieu de l'intérieur vers l'extérieur à travers le mur. De plus, les matériaux de construction (béton, guerriers en terre cuite, plâtre, etc.) ont une certaine résistance à la diffusion de la vapeur d'eau, et ils laissent passer plus ou moins de vapeur d'eau. La vapeur d'eau se diffuse à travers le mur. Lorsque la température baisse, il se condensera en un point de rosée. De cette manière, l'eau formée dans le mur peut provoquer des dommages (la couche isolante devient humide, etc.)^[14].



Figure 9 : Exemple de condensation au travers de la paroi (photos prises après démontage des lambris). © 2015-AQC – Mathieu CORTAL (absence de pare vapeur intérieur).

Dans le cadre de la construction de bâtiments performants comme la BBC, l'étanchéité à l'air est une norme de base.

La ventilation de la pièce doit également être parfaitement adaptée à la résidence (emplacement, taille) afin de bien évacuer la vapeur d'eau.

Le fait de ne pas placer une barrière anti-humidité (manque ou de mauvaise qualité de fabrication) ou une barrière anti-humidité inappropriée (non-respect des performances Sd) peut entraîner des défauts de la barrière à la vapeur d'eau.

Condensation capillaire Dans la plupart des cas, les matériaux de construction ont la capacité de lier la vapeur d'eau aux parois de leurs cavités. Lorsque la quantité de vapeur d'eau augmente, une partie se transforme en eau. Il s'agit d'un phénomène de condensation capillaire. À l'inverse, lorsque l'humidité de l'air diminue, l'eau condensée se transforme en vapeur. Selon sa capacité à fixer plus ou moins d'humidité dans les pores, on peut dire qu'un matériau est plus ou moins hygroscopique. La capacité d'absorption d'humidité (ou hygroscopicité) d'un matériau est visualisée par sa courbe d'adsorption, ou simplifiée par sa «teneur en eau de référence». Exprimé en kilogrammes / mètre cube, cela signifie la quantité fixe d'eau dans le matériau à 80% d'humidité relative

Les matériaux hygroscopiques ont une capacité naturelle à emmagasiner/ restituer de l'humidité. Si ces phénomènes ont été oubliés en construction contemporaine, ce n'était le cas dans l'habitat ancien où l'on composait avec cette inertie hydrique pour:

- améliorer le confort; en facilitant le lissage dans le temps du taux d'humidité de l'air intérieur, mais également de sa température *,
- limiter les risques de condensation par valeur de vapeur d'eau dans les parois (l'humidité de l'air diminue lorsque le matériau fixe de la vapeur d'eau le point de rosée est donc moins facilement atteint).^[14]

Si ces phénomènes n'améliorent apparemment que modestement la performance thermique d'une paroi, ils semblent contribuer plus fortement au confort intérieur et à la pérennité des parois. C'est en s'inspirant de ces connaissances qu'une approche contemporaine a défini la notion de paroi «perspirante». Cette approche fait référence à des parois exemptes de blocages à la migration de vapeur d'eau, et utilisant des matériaux hygroscopiques ^[14]

2.2.4 Condensation capillaire à l'intérieur d'un pore Bleu clair : vapeur d'eau adsorbée Bleu foncé : eau liquide a. Pour une faible humidité de l'air, la vapeur d'eau se fixe en fines couches sur les parois des pores des matériaux, on parle d'adsorption. b. Lorsque l'humidité augmente, l'épaisseur de la couche adsorbée augmente. c. Lorsque l'humidité augmente encore, les couches finissent par se toucher dans les endroits les plus étroits. La vapeur d'eau se condense, c'est la «condensation capillaire».

Exemple de matériaux non hygroscopiques : métal et verre Si la grande majorité des matériaux est hygroscopique, ce n'est pas le cas, principalement, du verre, des métaux, des laines minérales, des plastiques alvéolaires (polystyrènes, polyuréthanes...), du verre cellulaire et du liège expansé.

Exemple de courbes de sorption L'étude comparée de courbes de sorption type de la brique (courbe rose), du béton (bleue) et du bois (marron), nous montre que, pour une plage d'humidité courante ($HR < 80\%$), 1 m³ de bois se charge près de deux fois plus d'humidité que le béton, 8 fois plus que la brique (respectivement de l'ordre de 110, 60 et 15 litres). C'est à priori une des raisons qui explique le confort ressenti avec un parement bois... à condition, bien entendu, qu'il ne soit pas vernis^[14].

1.3. Les facteurs aggravants traditionnels

- Une surproduction de vapeur d'eau (sur-occupation du logement, vapeur de cuisson, lessives et séchages du linge à l'intérieur du bâtiment...).
- Un chauffage insuffisant dans les pièces principales ou ponctuellement interrompu.
- L'obstruction volontaire ou non (encrassement) des orifices d'entrée ou d'extraction d'air.
- L'arrêt volontaire ou non (panne) de la VMC.
- Le branchement d'une hotte aspirante sur une extraction.
- La mise en œuvre, dans le cadre d'une rénovation, d'un revêtement étanche à la vapeur d'eau en façade créant une barrière à l'humidité venant de l'intérieur (perspiration).

- Le remplacement de menuiseries extérieures sans système de ventilation (à créer si inexistant).
- Les appareils de chauffage sans évacuation des fumées (gaz de combustion) tels que poêles à combustible liquide (poêle à pétrole) ou radiateurs à gaz mobiles non raccordés produisent beaucoup de vapeur d'eau. Ils sont à proscrire y compris pour des raisons sanitaires et de danger d'intoxication.
- La présence de coudes et/ou de boucles dans les réseaux aérauliques en combles, ralentissant la vitesse de circulation de l'air (perte de charge).
- Le détalonnage des portes intérieures (ou passage de transit) insuffisant entravant le balayage de l'air dans le logement et perturbant le bon fonctionnement de la VMC^[14]

1.4. Les bonnes pratiques

CONDENSATIONS INTERNES DANS UN MUR *dont les parements sont soumis à des conditions différentes*

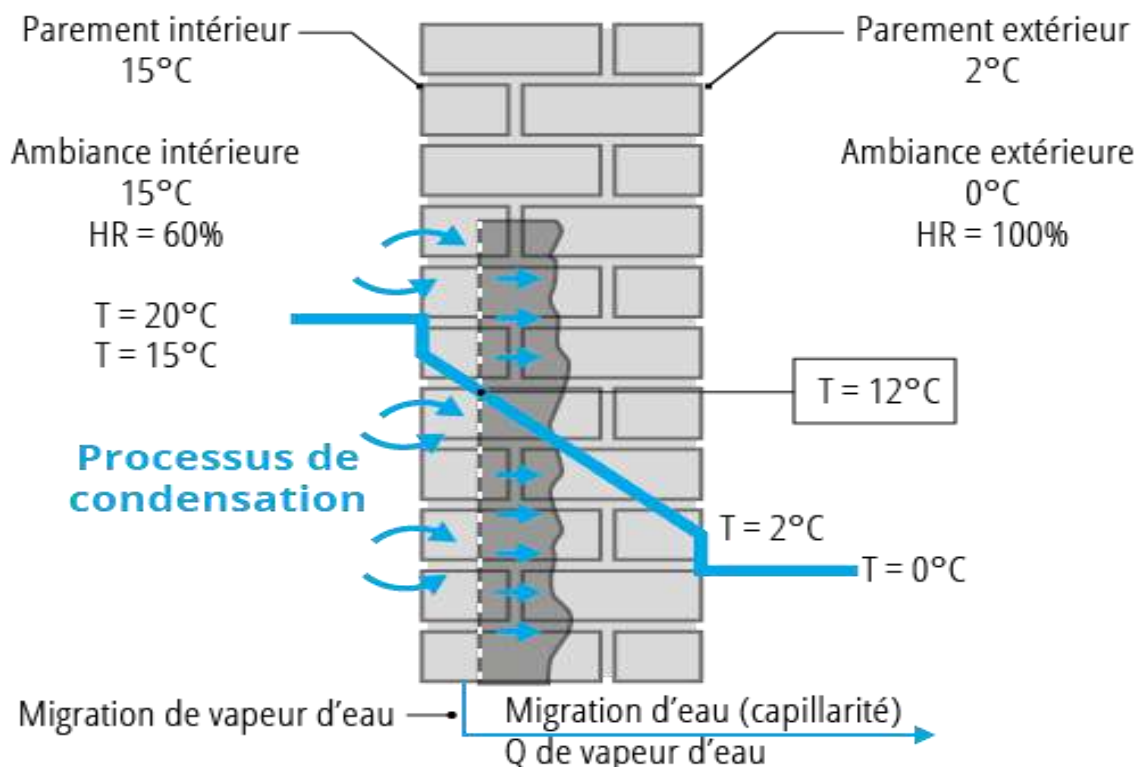


Figure 10: condensation interne dans un mur.

Veiller à la continuité de l'isolation thermique, et traiter les points singuliers (trappes de visite des combles, jonctions plafonds/murs, abouts de planchers, appareillages électriques (interrupteurs, prises de courant, boîtes de dérivation...), passages de câbles, percements en façade, coffres de volets roulants, etc.), afin d'éviter l'apparition de ponts thermiques et l'apparition éventuelle de condensations superficielles.

Bien prendre en compte la nature des matériaux du mur existant lors de travaux d'amélioration ou de rénovation énergétique. Selon le cas, la mise en place d'un pare-vapeur se révélera nécessaire pour prévenir la condensation interne.

Assurer un renouvellement de l'air suffisant.

Ce point est particulièrement sensible pour les bâtiments performants. L'efficacité d'une installation de renouvellement d'air doit faire l'objet d'une étude et d'un calcul

préalables ainsi que d'une maintenance régulière :

- nature de l'installation (simple ou double flux) ;
- puissance du groupe VMC suivant le nombre de pièces du logement ;
- type, dimension et position des bouches d'extraction d'air vicié et des entrées d'air ;
- adaptation du système de ventilation au mode de chauffage (augmentation du débit en fonction des appareils à combustion).

Adoption d'un revêtement de façade ayant une bonne perméabilité à la vapeur d'eau : vérifier la compatibilité du revêtement d'imperméabilisation de la façade avec le complexe isolation/ventilation^[14].

1.5. Perturbations potentielles sur la migration de vapeur d'eau



Figure 11 : Présence d'un pont thermique en plancher haut – insuffisance de ventilation.



Figure12: Air ambiant vicié et saturé en vapeur d'eau – insuffisance ou absence de ventilation...



Figure 13 : Défaut d'entretien de la VMC – insuffisance de ventilation – défaut



Figure 14 : Défaut d'isolation du montant de la menuiserie – défaut d'étanchéité du joint.

Pour visualiser ce qui se passe

2.6. Méthodes de calcul de diffusion de la vapeur d'eau

1.6.1 - La méthode GLASER*:

Cette méthode simplifiée cherche à repérer les zones de condensation de la vapeur d'eau dans une paroi, c'est à dire là où l'humidité relative atteint 100%. Si les phénomènes de condensation se répètent au delà de limites définies (généralement sur plusieurs mois, voir norme NF EN ISO 13788), on estime que le risque de condensation est réel.

Diagramme de Glaser Mur isolé par l'extérieur

En renseignant l'épaisseur et le μ des matériaux d'une paroi, ainsi que la température et l'humidité de l'air intérieur et extérieur, deux courbes prennent forme. Si la courbe rose, qui représente (de manière simplifiée) ce qui se passe dans la paroi croise la courbe de saturation (courbe bleue), de la condensation

aura lieu. Le schéma ci-contre présente un mur maçonné isolé par l'extérieur. Grâce à l'isolant posé côté extérieur, la quasi-totalité du mur est chaud. De fait, les risques de condensation ne sont réels, et avec eux les risques liés à une trop forte présence d'eau, que dans les derniers centimètres extérieurs du mur. La méthode Glaser nous précise alors que les risques sont extrêmement limités si le ou les matériaux qui séparent l'isolant de l'air extérieur sont très ouverts à la migration de vapeur d'eau^[15].

1.6.2 - Le logiciel WUFI®:

Méthode de calcul dynamique, Wufi® prend en compte les comportements hygroscopique et capillaire des matériaux, les variations climatiques intérieures (salle d'eau, présence d'une ventilation...), et extérieures (température, humidité, ensoleillement, vents et pluies), la présence de remontées capillaires, d'éventuelles discontinuités des parements...

Reprenant la paroi modélisée ci-avant avec la méthode Glaser, la simulation avec WUFI®, plus complète, confirme les exigences de Glaser : en isolation extérieure d'un mur maçonné, le ou les matériaux séparant l'isolant de l'air doivent être très ouverts à la vapeur d'eau. Mais WUFI® précise également que, particulièrement si c'est un enduit, il lui faut en plus être capillaire. De plus, toujours en isolation par l'extérieur, WUFI® peut inviter à des préconisations supplémentaires : • lorsque la paroi présente des risques de reprises d'humidité (absence de rupture capillaire radicale en bas de mur...), et particulièrement si le parement intérieur est peu capillaire : privilégier l'emploi d'un isolant ouvert à la vapeur d'eau ; • en présence de matériaux putrescibles (nez de poutre, colombages, paille de torchis...), ou si de la terre crue garde un rôle structurel (pisé, adobes, pierres hourdées à la terre...) : chercher la continuité capillaire entre l'intérieur et l'extérieur. Ceci nous invite donc à une utilisation exclusive de matériaux capillaires, en prêtant attention à ce que les différentes couches soient bien en contact les unes avec les autres

Principes à respecter pour des parois pérennes

Avec en premier lieu un rappel :

Pour limiter les risques dus à la condensation de vapeur d'eau dans les parois, il faut d'abord et avant tout :

- renouveler régulièrement l'air intérieur
- avoir une réelle étanchéité à l'air entre l'air intérieur et l'isolant.

Ces conditions sont estimées respectées si :

- le système de ventilation assure les renouvellements d'air réglementaires (pour le résidentiel, se référer aux débits spécifiés dans les arrêtés du 24 mars 1982 et du 28 octobre 1983. Pour le tertiaire, voir principalement les divers Règlements Sanitaire Départementaux)
- l'étanchéité à l'air du bâtiment respecte les niveaux demandés par le label BBC-effi nergie, et encore mieux, ceux imposés par la construction passive.^[15]

2.7. Essai de quantification des infiltrations de vapeur d'eau dues à une membrane non continue

Avec une fissure de 1mm pour 1m² d'isolant, la quantité de vapeur d'eau qui entre par jour dans le mur est de 800g, contre qq. grammes avec un pare vapeur ou un frein de vapeur continu. (Institut de physique du bâtiment-Stuttgart. Essai réalisé avec de la laine minérale et une différence de pression ext/int de 20 Pa).

Si l'ensemble des phénomènes en jeu peut paraître complexe, la connaissance du terrain additionnée à celle de la physique du bâtiment et à celle de logiciels tel que WUFI® nous montre que les principes de bases à respecter sont souvent, d'abord, emprunts de bon sens. En complément des murs isolés par l'extérieur, traités précédemment, les autres principaux systèmes constructifs sont présentés ci-après^[15].

2.7.1 - Principes à respecter pour les parois ossature bois

- Le ou les matériaux qui séparent l'isolant de l'air extérieur doivent être très ouverts à la vapeur d'eau.

- Le matériau assurant l'étanchéité à l'air doit limiter également l'entrée de la vapeur d'eau dans la paroi. Le présent sujet est repris de manière plus détaillée^[15]

2.7.2 - Principes à respecter pour les murs maçonnés de type monomurs

- Choisir un enduit extérieur ouvert à la migration de vapeur d'eau, et de plus capillaire. Attention à l'utilisation d'adjuvants, particulièrement d'hydrofuges, qui peuvent réduire l'ouverture à la vapeur d'eau et l'aspect capillaire d'un enduit.^[15]

2.7.3 - Principes à respecter pour les murs isolés par l'intérieur

- Choisir un enduit extérieur ouvert à la migration de vapeur d'eau, et de plus capillaire (attention à l'utilisation d'adjuvants)
- Demander au matériau assurant l'étanchéité à l'air de limiter également l'entrée de la vapeur d'eau dans la paroi.
- Dans le cas d'une paroi présentant des risques de reprises d'humidité (mur ancien sans rupture capillaire radicale...), privilégier pour l'isolant et la membrane des matériaux restant relativement ouverts à la vapeur d'eau. On préférera donc un «frein de vapeur» à un «pare vapeur», sachant que de nouvelles membranes, à Sd évolutif peuvent séduire pour cette utilisation (voir encadré)
- En présence de matériaux putrescibles, ou si de la terre garde un rôle structurel, chercher en plus la continuité capillaire entre l'intérieur et l'extérieur^[15].

2.8. La vapeur d'eau:

L'air contient de nombreux gaz, principalement de l'azote et de l'oxygène, mais également de la vapeur d'eau. La quantité de vapeur d'eau de l'air varie énormément, particulièrement en fonction de la température et des sources d'humidité avoisinantes. La quantité de vapeur d'eau de l'air, ou «humidité absolue», s'exprime en gramme (de vapeur d'eau), par kg (d'air sec). De manière analogue aux calories, qui cherchent continuellement à passer des espaces chauds aux espaces froids, un air contenant beaucoup de vapeur d'eau cherche à s'équilibrer avec les masses d'air moins

chargées. Dans les bâtiments, ceci crée une pression de vapeur d'eau de part et d'autre des parois, qui, sous nos climats, est, en hiver, quasiment toujours dirigée de l'intérieur vers l'extérieur. Les matériaux qui constituent les parois s'opposent plus ou moins au déplacement de la vapeur d'eau. Cette résistance s'exprime par le coefficient μ , prononcé mu, et la valeur S_d ^[15.16]

2.8.1 Le comportement des matériaux et des parois à la migration de la vapeur d'eau

Le mécanisme de diffusion de la vapeur d'eau

La diffusion de vapeur d'eau définit le déplacement des molécules d'eau à travers un matériau. Ce déplacement est généré par la différence de concentration de vapeur d'eau entre les deux côtés du matériau. Les molécules d'eau se déplacent toujours de l'ambiance à plus forte concentration vers celle à plus faible concentration^[16].

2.8.2 Diagnostic de l'existant et conception

Lors d'une rénovation énergétique, il est important d'avoir une vue globale du bâtiment à rénover en le considérant comme un système de composants (enveloppe, équipements, usages...) qui interagissent les uns avec les autres.

Ceci permettra d'éviter que les travaux ne conduisent à des désordres éventuels non présents avant la réhabilitation du bâtiment

Analyse des parois et S_d

associeset

Une analyse des parois des éventuelles rénovations antérieures est indispensable afin de déterminer le comportement hydrique des parois existantes. Cette analyse détermine la solution d'isolation thermique appropriée à la paroi. Les valeurs de μ (résistance à la migration de la vapeur d'eau) des différents matériaux sont fournies dans le guide technique «Transferts d'humidité à travers les parois» édité par le CSTB ainsi que les normes européennes de produits ou les ETE (Évaluation Technique Européenne)^[16].

Etat des lieux par rapport à l'humidité

Il est important de déterminer l'origine précise des sources d'humidité observées dans le bâtiment : condensations, remontées capillaires, infiltrations latérales, fuites, micro fuites, zones mal ventilées, ...^[16]

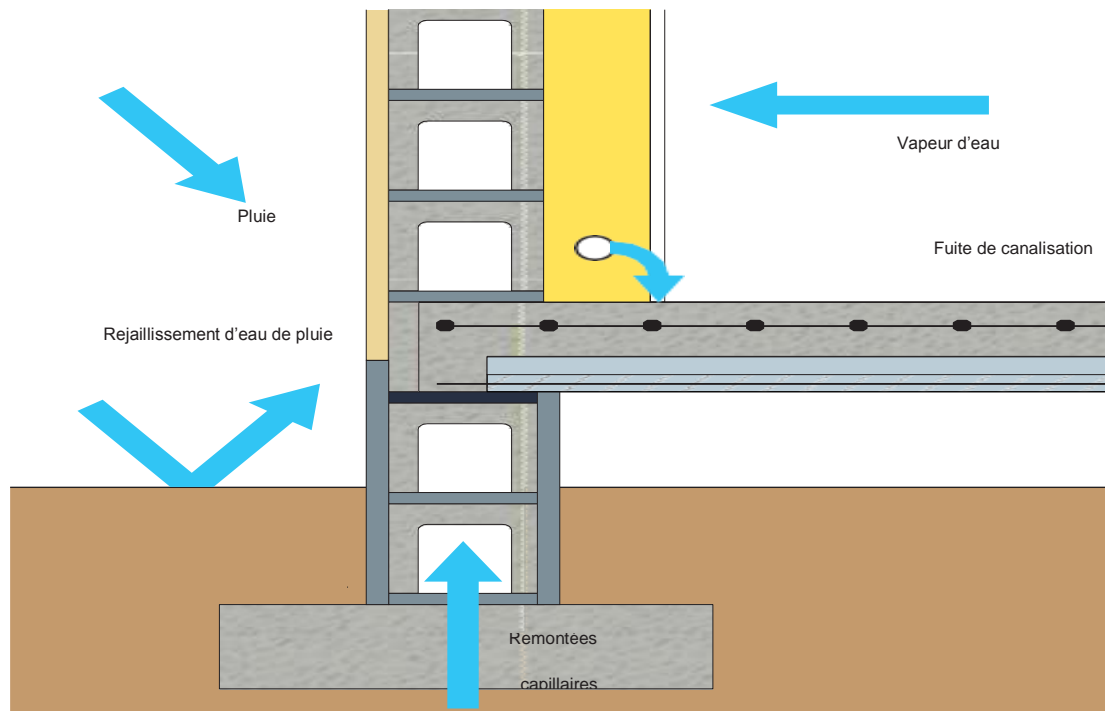


Figure15: observations précises du bâtiment

Cette analyse doit être basée sur :

Des observations précises du bâtiment, de son mode constructif, de ses équipements (ventilation, chauffage), de son exposition au climat, de l'étanchéité de sa toiture et notamment des points de traversée (souches, fenêtres de toit, ...)

Des observations de l'environnement extérieur, la nature du sol et du sous-sol.

L'objectif est de définir les travaux curatifs et de remise en état appropriés aux sources d'humidité rencontrées tenant compte du mode constructif du bâtiment

Cas Particulier des façades Comportant des matériaux Sensibles à L'humidité (pierres tendres, torchis, terre crue, matériaux recouverts d'enduits à la chaux ou de terre crue, colombage bois, ...).

Dans ce cas, il sera important que le mur conserve son comportement hydrique après rénovation. La mise en place d'une lame d'air entre le mur et l'isolation peut être une solution^[16]

2.9. Diffusion de vapeur d'eau au sein d'un matériau et d'une paroi:

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'une couche d'un matériau est caractérisée par le paramètre S_d . Il est obtenu en multipliant l'épaisseur de la couche, notée et exprimée en mètre, par le coefficient μ du matériau qui la constitue.

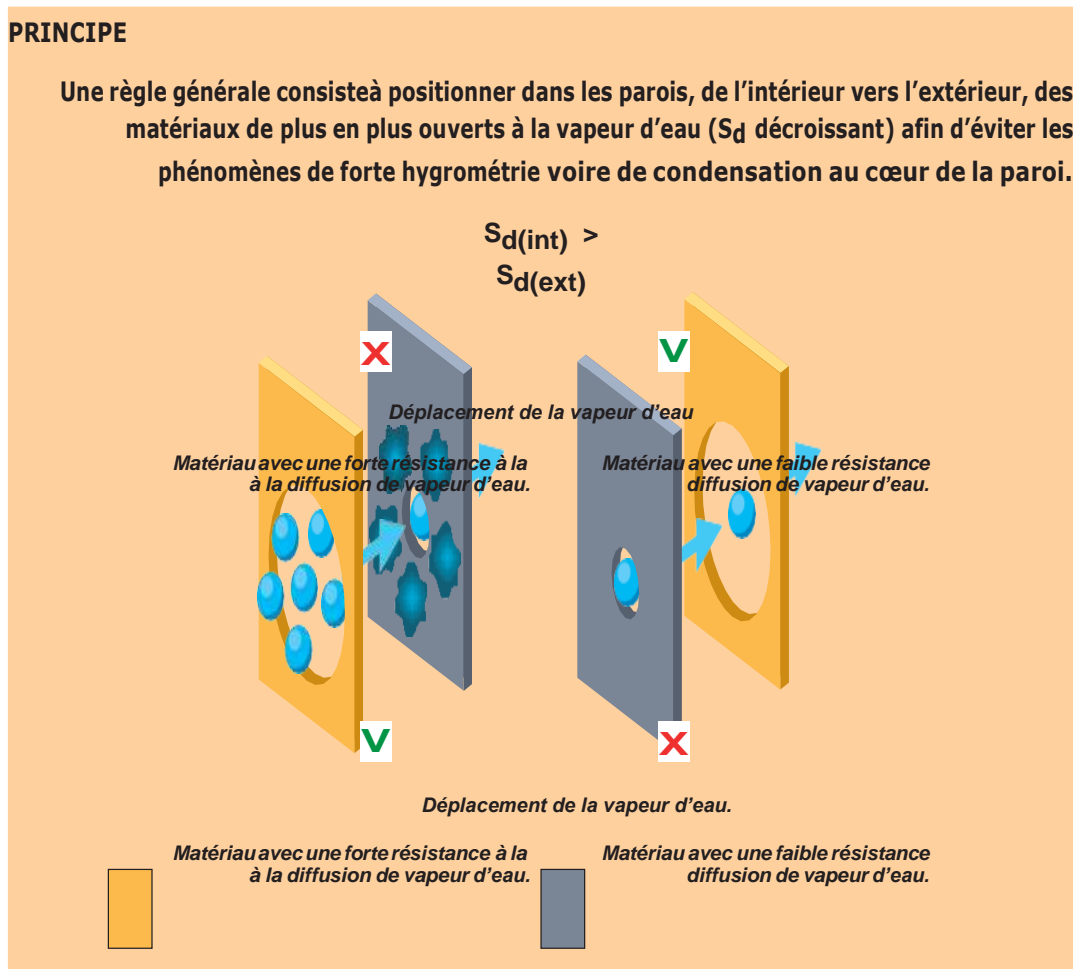
$$S_d \text{ [m]} = \mu \cdot e$$

exemples :

$$S_d \text{ (voile de béton, épaisseur 20cm)} = 130 \times 0,2 = 26 \text{ m}$$

$$S_d \text{ (plaque de plâtre de 13 mm d'épaisseur)} = 10 \times 0,013 = 0,13 \text{ m}$$

Le S_d correspond à l'épaisseur (en m) qu'aurait une couche d'air stationnaire ayant la même résistance à la diffusion de la vapeur. Le S_d d'une paroi est égal à la somme des S_d des couches qui la composent [16].



2.10 Maintien du renouvellement d'air:

Les travaux d'amélioration énergétique de l'enveloppe (parois opaques, menuiseries,...) font que l'étanchéité à l'air est grandement améliorée. Le renouvellement d'air qui se faisait par l'intermédiaire de ces fuites «naturelles», doit être reconstitué à l'aide d'une ventilation efficace. Le flux de vapeur qui traverse une paroi est très faible par rapport à celui évacué par un système de ventilation. La diffusion de la vapeur d'eau à travers les parois ne peut pas servir à éliminer, à elle seule, l'humidité produite par l'activité intérieure d'un logement. Cette humidité excédentaire doit être évacuée par une ventilation des locaux par les ouvrants et par une ventilation mécanique contrôlée

Afin de garantir une bonne qualité sanitaire de l'air et éviter des pathologies liées à l'humidité, le remplacement des menuiseries impliquent soit :

La vérification et/ou l'adaptation du système de ventilation et des transferts aérauliques existants ;

-l'installation d'un système de ventilation permanent et performant ^[16].

2.10.1 Pare-vapeur:

Il n'est pas toujours possible de connaître la constitution précise des parois à rénover et les valeurs de S_d des matériaux qui les constituent. Dans ce cas, pour les murs, planchers de combles, ou rampants de couverture, la mise en œuvre systématique d'un pare-vapeur côté chaud (en général intérieur) permettra de rendre étanche à la vapeur d'eau le parement intérieur et d'éviter ainsi la condensation au cœur des parois. Il faut veiller à ne pas piéger la condensation dans les parois et lui permettre, si elle est présente, de s'évacuer au moins côté extérieur de celle-ci.

Une fois que le renouvellement d'air est maîtrisé, il convient de réfléchir au traitement des parois verticales, horizontales et inclinées^[16]

2.10.2 Bonnes pratiques de conception : parois verticales

- Il est important de bien jointoyer tous les raccords et les jonctions et d'utiliser des composants durables et compatibles entre eux (dans le cadre des toitures terrasses, se référer aux prescriptions du NFDU 43.5).
- Un pare-vapeur ou une membrane hydro-régulantes mal posé(e) amplifie le phénomène de condensation dans la paroi, en créant des zones de concentration de la vapeur d'eau ou de forte hygrométrie qui génèrent des pathologies.
- En cas de détérioration accidentelle du pare-vapeur lors des travaux, il convient de

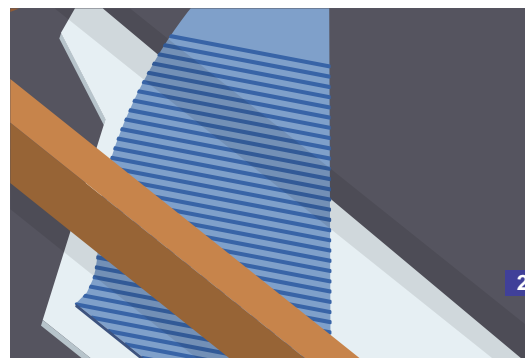
reconstituer son intégrité.^[16]

Cas des parois verticales	Isolation thermique par l'intérieur (ITI)	Isolation thermique par l'extérieur (ITE) sans lame d'air	Isolation thermique par l'extérieur (ITE) avec lame d'air
Murs en béton			
Murs maçonnés	 Isolant fibreux ou isolant alvéolaire à cellules fermées	 Isolant fibreux	 Isolant fibreux
Murs à ossature bois (pare-vapeur posé côté intérieur)	 Pare-vapeur positionné côté l'intérieur	 Pare-vapeur positionné côté l'intérieur	 Pare-vapeur positionné côté l'intérieur

Parement intérieur plâtre
 Béton
 Isolant
 Parement ouvert à la migration de vapeur d'eau et capillaire

Figure 16 : Bonnes pratiques de conception : parois verticales

2.10.3. Bonnes pratiques de conception : parois horizontales ou inclinées





■ écran sous toiture. ■ Pare-vapeur.

1 écran sous-toiture HPV*. Dans ce cas, il est important de laisser une lame d'air ventilée entre l'écran sous-toiture et la couverture de la toiture et de prévoir un pare-vapeur côté intérieur.

2 écran sous-toiture non HPV*. Dans ce cas,

Il est important de laisser une lame d'air ventilée de chaque côté de l'écran sous-toiture. L'isolant ne doit jamais être appliqué directement sous un écran sous-toiture non HPV.

3 Cas d'une terrasse béton. L'isolation se fait par l'extérieur avec une parfaite étanchéité à l'eau^[16].

2.11. L'humidité :

Contrairement à la vapeur d'eau, qui ne génère aucun désordre à l'intérieur des parois, l'eau, si elle est persistante au-delà d'une concentration donnée, peut causer des problèmes (moisissures, pourrissement, corrosion...). L'eau à l'intérieur d'une paroi a de multiples origines : remontées capillaires, pluie battante, accident domestique (dégâts des eaux), condensation de vapeur d'eau... Les phénomènes qui poussent l'eau à se déplacer à l'intérieur des parois sont multiples. Le plus important d'entre eux, appelé transport capillaire, ou capillarité, fait migrer l'eau des espaces humides aux espaces plus secs, mais également du cœur du mur aux parements. La structure des matériaux facilite ou contrarie ces transferts d'eau liquide. Si elle les empêche, nous aurons à faire à des matériaux «non-capillaires». Dans les autres cas, ils seront «plus ou moins» capillaires.

Si pour une rupture de capillarité en bas de mur, un enduit hydrofuge ou un élément de couverture nous recherchons des matériaux peu ou non capillaires, dans les autres cas, l'aspect capillaire est plutôt souhaité. C'est d'ailleurs une caractéristique avec laquelle composait fortement la construction traditionnelle. Car, en facilitant le déplacement de l'eau à l'intérieur des parois, le comportement capillaire diminue les risques dûs à l'humidité :

- parce qu'il limite la concentration et la stagnation de l'eau,
- parce qu'en lui permettant de rejoindre les parements, il facilite l'évaporation de l'eau contenue dans les parois. ^[15.16.17]

2.12 Favorisation les flux de l'intérieur vers l'extérieur:

Pour prévenir le risque de condensation, plusieurs « recommandations » peuvent être suivies, même si chaque chantier a sa réalité (voir encadré « Avis d'expert »). Toutefois, il apparaît que l'isolation par l'extérieur constitue l'option la plus sûre, lorsqu'elle est possible. Dans le cas contraire, l'isolation thermique par l'intérieur devra être accompagnée de la mise en œuvre d'un freine-vapeur. Dans les deux cas, il faut que le système paroi/isolant assure une bonne migration de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur. En découle une autre règle de base, qui veut que le freine-vapeur (dans le cas d'une ITI) soit l'élément le moins perméable et que la résistance à la migration de la vapeur d'eau décroisse de l'intérieur vers l'extérieur. Ce phénomène de migration est étudié au préalable, par des bureaux d'études, voire des artisans, à l'aide de logiciels de simulation dynamique, permettant de rendre compte des flux de vapeur d'eau sur une année (méthode Glaser, logiciel Wufi). La phase de mise en œuvre sera la plus soignée possible (jonction des lés avec des adhésifs adéquats). Enfin, un système de ventilation performant contribue à prévenir le phénomène de condensation en diminuant le taux d'humidité intérieure. ^[17]

2.13 l'isolation par l'extérieur:

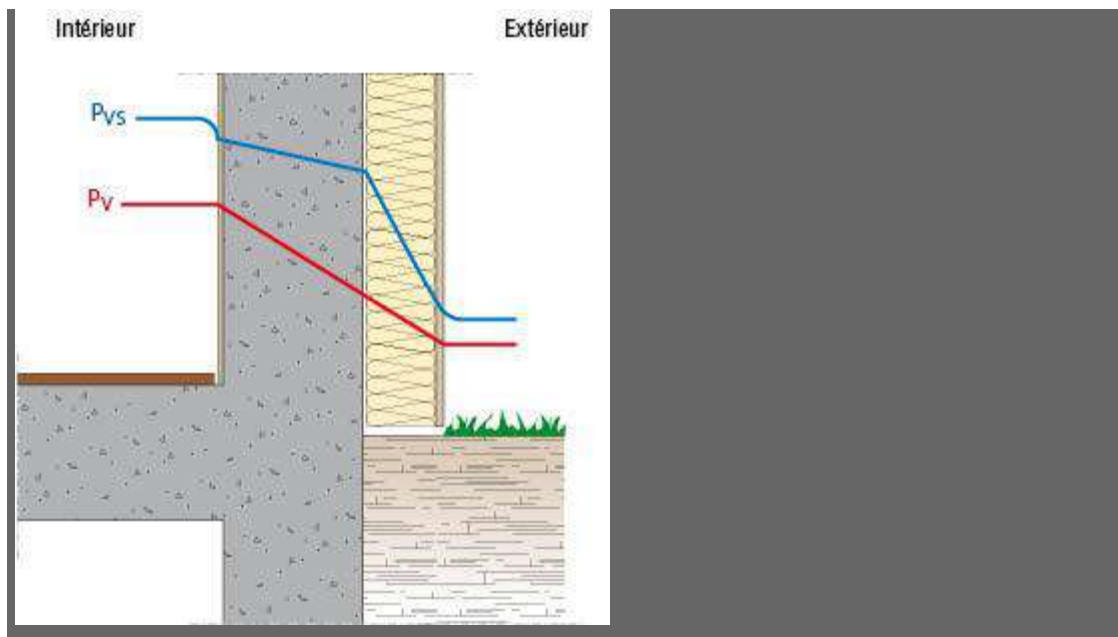
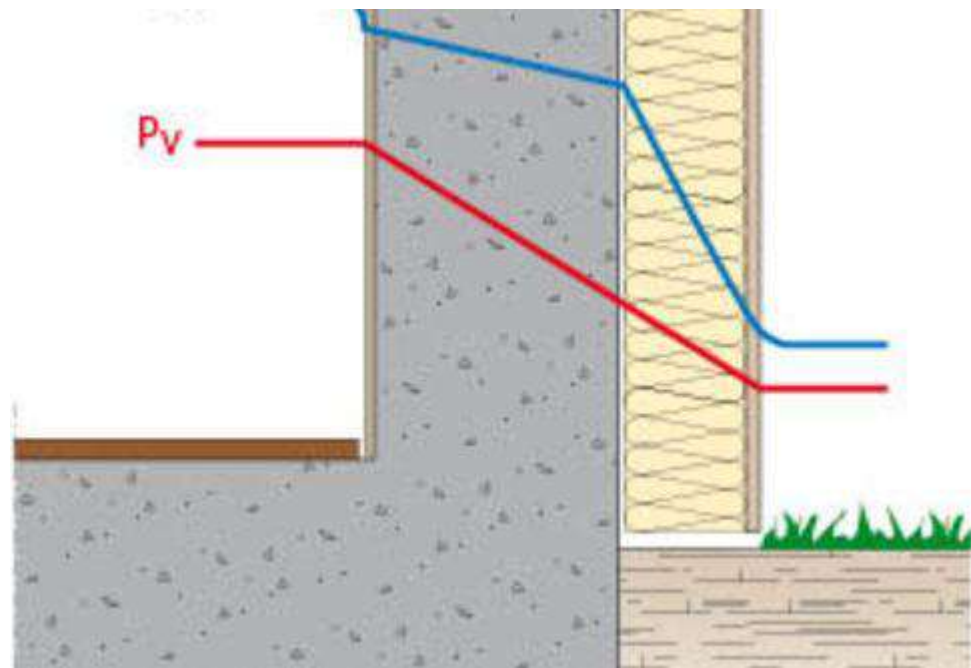


figure 17 : privilège de l'isolation

Principe:

Lorsqu'elle est possible, l'ITE constitue la solution idéale pour prévenir la condensation d'eau à l'intérieur des parois. La maçonnerie est placée du côté où la température est la plus élevée (on parle alors de paroi « chaude »). La température reste donc relativement élevée dans l'épaisseur de la maçonnerie, les flux de vapeur d'eau transitant de l'intérieur vers l'extérieur n'atteignent pas le point de rosée. Sur le schéma, la teneur maximale de l'air en vapeur d'eau (« pression de vapeur saturante »), représentée par la courbe bleue, reste largement supérieure à la quantité de vapeur

d'eau traversant la paroi (pour qu'il y ait condensation, les courbes rouge et bleue doivent se croiser). La paroi, ainsi que l'épaisseur de l'isolant, est préservée de tout risque de condensation, et donc de sinistre (dégradation, pourriture, selon le matériau considéré).

Mise en œuvre Contrairement à une solution d'isolation thermique par l'intérieur (ITI), l'ITE a également pour avantage d'être plus simple à mettre en œuvre. La pose d'un pare-vapeur n'est pas nécessaire pour prévenir les phénomènes de condensation au sein de la paroi. Il faudra toutefois veiller à ce que l'isolant soit en mesure d'évacuer l'eau et la vapeur d'eau. Pour s'en assurer, il est conseillé d'appliquer des enduits capillaires et perméables ou d'ajouter un bardage ventilé avec pare-pluie «ouvert».

Recourir à un frein vapeur^[17]

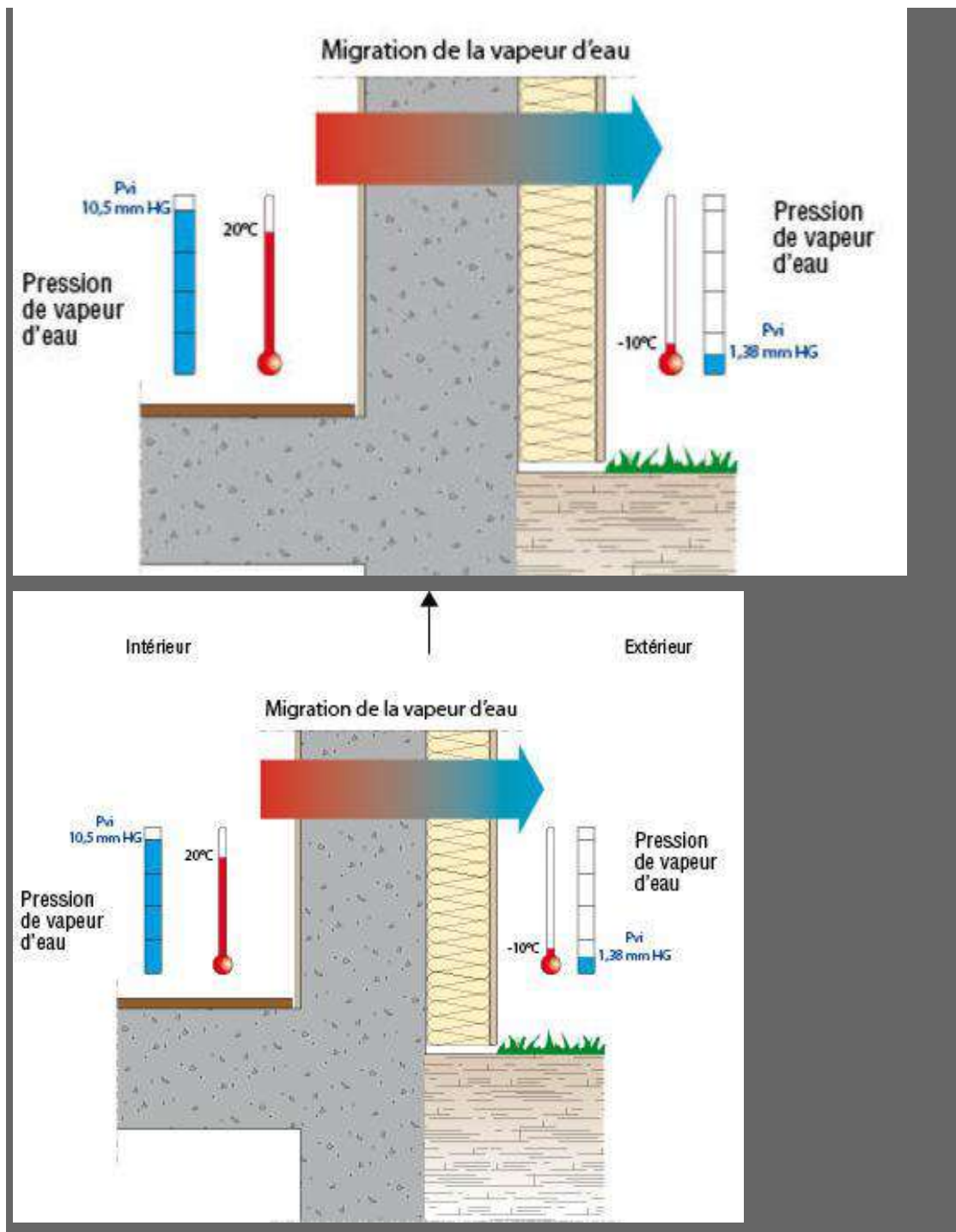


Figure18 : frein vapeur

Principe:

Une solution d'ITI risque d'être plus fréquemment préconisée en rénovation, pour plusieurs raisons. D'abord, l'ITI est culturellement plus courante en France, au contraire de nos pays voisins, l'Allemagne, entre autres. De plus, une ITE ne peut décemment être appliquée lorsque l'opération de rénovation concerne un bâtiment

historique, dont la façade extérieure doit être conservée. Ici, la paroi est dite « froide » car directement au contact de l'extérieur, l'isolant se trouvant du côté intérieur. Dans une paroi froide, le phénomène de condensation survient beaucoup plus facilement (du fait d'une valeur de pression saturante en vapeur d'eau faible). En vertu de ce risque, il convient donc de limiter le transfert de vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur. À cette fin, la couche d'isolant doit être doublée d'un freine-vapeur côté intérieur^[17]

Mise en œuvre Le choix du freine-vapeur doit résulter d'une étude préalable du type de paroi, des gradients d'humidité et de température. Une règle de base veut que le degré de résistance aux transferts de vapeur d'eau soit le plus élevé côté intérieur, de façon à limiter la stagnation de cette vapeur au sein de la paroi. Il faut donc dans un premier temps connaître la valeur de résistance à la migration de la vapeur d'eau (S_d , mesuré en mètres) du parement extérieur, afin de choisir un freine-vapeur doté d'un S_d plus élevé. En théorie, il faudrait que le freine-vapeur soit parfaitement continu, ce qui requiert une mise en œuvre très soignée au niveau des points singuliers (jonctions mur-mur, mur-plancher ou mur-menuiserie, prises électriques, etc.), à l'aide de scotchs adaptés.^[7]

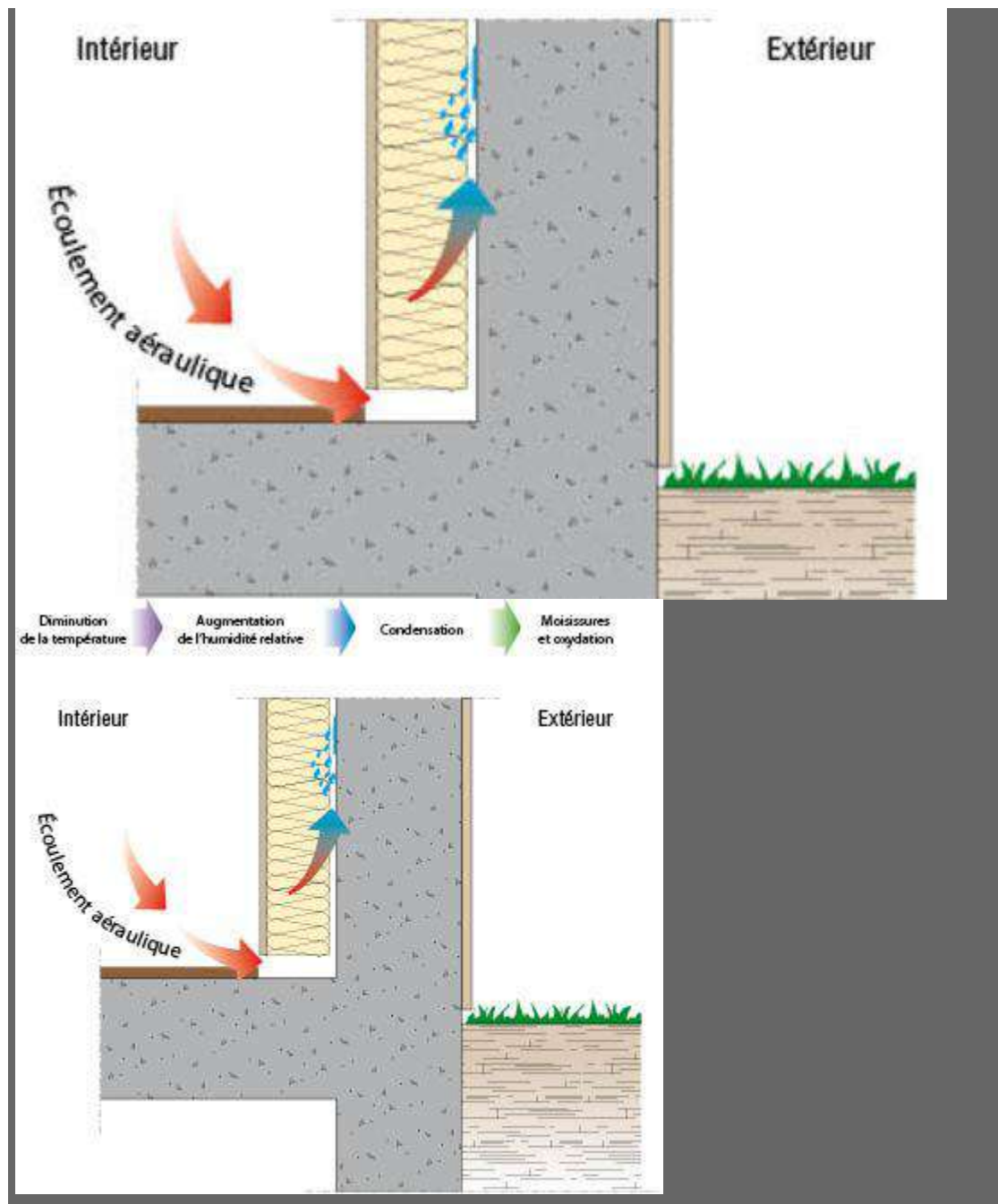


Figure 19 : la mise en œuvre d'un freine-vapeur continu s'avère délicate

Principe

Comme vu ci-dessus, la mise en œuvre d'un freine-vapeur continu s'avère délicate, voire impossible, au niveau de certains points singuliers, selon le bâti considéré. Ces points singuliers deviennent alors les points de passage privilégiés de la vapeur d'eau. Circonstance aggravante, le transit de la vapeur d'eau se fait plus important au niveau de ces points faibles et ce, d'autant plus que le freine-vapeur est « fermé ».^[17]

Mise en œuvre

Plutôt que de porter son choix sur un freine-vapeur avec une valeur de Sd très élevée, il serait plus judicieux de poser un freine-vapeur plus ouvert, afin de ne pas favoriser une augmentation de l'humidité au niveau des points singuliers. Une étude détaillée du bâti et des points de jonction permet ensuite de choisir la bonne valeur de Sd, de manière à mieux répartir les flux de vapeur sur toute la surface de l'enveloppe. Une autre stratégie possible est de recourir à des freine-vapeur à diffusion variable, qui freinent la migration de vapeur de l'intérieur vers l'extérieur en hiver tout en autorisant un assèchement de l'isolant en été, par migration de la vapeur de l'isolant vers l'intérieur.^[17]

2.14 Conclusion:

Ce chapitre a appuyé sur la potentialité du processus d'isolement, et l'importance du renouvellement d'air dans l'ambiance intérieure d'une pièce. Ainsi que les logiciels de calcul utilisés.

Chapter03

Introduction:

Grâce à notre étude du transfert thermique des matériaux, nous avons trouvé un développement qui nous permet de voir la température dans un mur multicouche, dans différentes configurations, l'effet de l'humidité sur la température et vice versa et également de pouvoir l'utiliser dans des problèmes. liés aux problèmes soulevés dans Habitats. Dans ce qui suit, nous étudierons le transfert de chaleur dans une paroi multicouche qui est exposée à un état de rayonnement solaire sur le côté, en tenant compte de l'échange thermique des deux côtés. Les résultats numériques seront présentés sur des exemples de matériaux utilisés dans l'industrie de la construction en conditions réelles

L'opération. Nous analyserons également l'influence de certains facteurs clés sur le transfert de chaleur

Pour le système, comme la sélection des matériaux et l'optimisation de l'épaisseur ainsi que la nature variable du flux solaire.

3.1. Hypothèses du modèle:

- L'effet de la gravité est négligeable

- Les potentiels de transport sont la température et la saturation en eau

- Les coefficients de conductivité thermique et de diffusivité massique sont des fonctions de la saturation en eau

- Le changement de phase au cours du transfert et la chaleur latente due au changement de phase ou les réactions chimiques sont négligeables

- Les matériaux sont non hygroscopiques

- L'échelle de transfert est une échelle macroscopique

- L'hystérésis d'adsorption et désorption est négligeable

- L'effet du rayonnement thermique est négligeable

- La paroi ne contient pas une lame d'air Au niveau des interfaces entre les couches dans le cas de la paroi multicouches, il adopte une continuité thermique et massique.

- Les milieux sont des milieux homogènes
- Les transferts sont en régime instationnaires et unidimensionnels

3.2. Domaine de validité de notre modèle :

Notre modèle est valide pour les intervalles, dont le phénomène de changement de phase est négligeable.

3.3. Equation de transfert massique :

L'équation différentielle caractérisant le transfert massique instationnaires, est basée sur la loi

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D \frac{\partial S}{\partial x} \right]$$

3.4. Equation de transfert thermique : Le processus de transfert de chaleur dans les milieux poreux prend généralement trois mécanismes, transfert par conduction, convection et sous une chaleur latente portée par la vapeur d'eau. En négligeant le transfert convectif, le flux de chaleur s'écrit à l'échelle macroscopique

$$q_c = -\lambda \text{ grad } T + L_v q_v$$

On adopte l'équation de conservation d'énergie simplifiée qui décrit le transfert thermique monodimensionnel dans une paroi poreuse humide basée sur la loi de Fourier :

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_e \frac{\partial T}{\partial x} \right] + q_c$$

3.4. Résolution numérique :

3.4.1 Méthode des volumes finis :

La méthode a été décrite pour la première fois en 1971 par Patankar et Spalding et publiée en 1980 par Patankar, cette méthode est une technique de discrétisation qui convertit les équations de conservation aux dérivées partielles en un système d'équations algébriques qui peuvent être résolues numériquement. La technique des volumes de contrôle consiste dans l'intégration des équations aux dérivées partielles sur chaque volume de contrôle pour obtenir les équations discrétisées qui conservent toutes les grandeurs physiques sur un volume de contrôle (VC).

3.4.2 Conditions aux limites :

Le calcul du transfert entre la paroi et l'ambiance qui l'entoure nécessite la détermination des coefficients de transfert par convection. Les coefficients de transfert de chaleur et de masse par convection peuvent être calculés d'une même manière par analogie. Les conditions aux limites peuvent être constantes ou variables. Plusieurs auteurs utilisent des conditions aux limites variables ou périodiques pour leurs simulations. Dans la référence, les auteurs utilisent un modèle des conditions aux limites périodiques :

$$T = 20 + 10 \cos (0.000717 t), \varphi = 0.65 + 0.15 \cos (0.000717 t)$$

Dans ce travail, on adopte des conditions aux limites de température utilisés, et des conditions d'humidité de types flux imposés.

$$T_{int} = \text{constant}, T_{ext} = 293 + 15 \cos (2\pi t / 48 \text{ heures}), T_{ini} = 293 \text{ }^\circ\text{K}, S_{ini} = 1$$

– Couche en brique pleine $e_2 = 0.20 \text{ m}$, $\rho_2 = 1700 \text{ kg/m}^3$; $C_{p2} = 960 \text{ J/kg }^\circ\text{K}$; $\lambda_2 = 0.5 \text{ W/m }^\circ\text{K}$; $D_2 = 1.69 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, Couche en coupeaux en bois $e_4 = 0.15 \text{ m}$: $\rho_4 = 2200 \text{ kg/m}^3$; $C_{p4} = 840 \text{ J/kg }^\circ\text{K}$; $\lambda_4 = \lambda(S) \text{ W/m }^\circ\text{K}$; $D_4 = D(S) \text{ m}^2/\text{s}$

$$\lambda(S) = -0.41222 S^2 + 0.77459 S + 0.20601 \text{ (A. Belhamri 2007)}$$

$$D(S) = 3.22 \cdot 10^{-10} \exp(6 S)$$

– Couche en plâtre $e_1 = 0.01 \text{ m}$: $\rho_1 = 700 \text{ kg/m}^3$; $C_{p1} = 840 \text{ J/kg }^\circ\text{K}$; $\lambda_1 = 0.25 \text{ W/m }^\circ\text{K}$; $D_1 = 1.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$

– Couche en polystyrène $e_3 = 0.04 \text{ m}$: $\rho_3 = 19 \text{ kg/m}^3$; $C_{p3} = 1280 \text{ J/kg }^\circ\text{K}$; $\lambda_3 = 0.34 \text{ W/m }^\circ\text{K}$; $D_3 = 1.48 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

– Le coefficient d'échange thermique superficiel intérieur : $h_i = 9.1 \text{ (W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K)}$.

– Le coefficient d'échange thermique superficiel extérieur : $h_e = 16.7 \text{ (W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K)}$.

– Densité du flux massique intérieur : $q_{mi} = 0.00001 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$.

– Densité du flux massique extérieur : $q_{me} = 0.00004 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$.

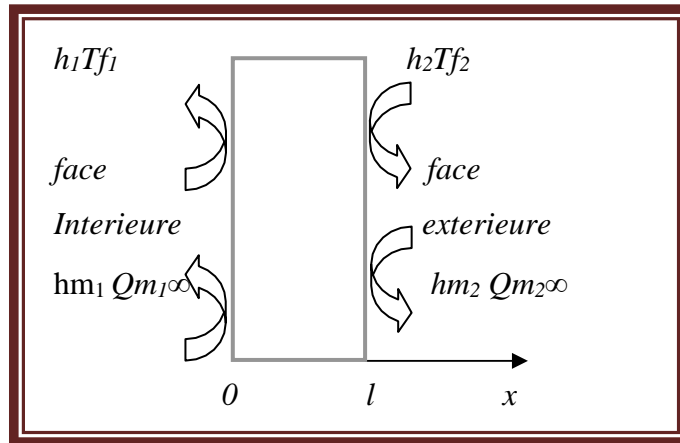


Figure 20 : forme d'étude

3.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS:

3.5.1 Résultats de la conductivité thermique et distribution de la diffusivité massique de la paroi simple en béton:

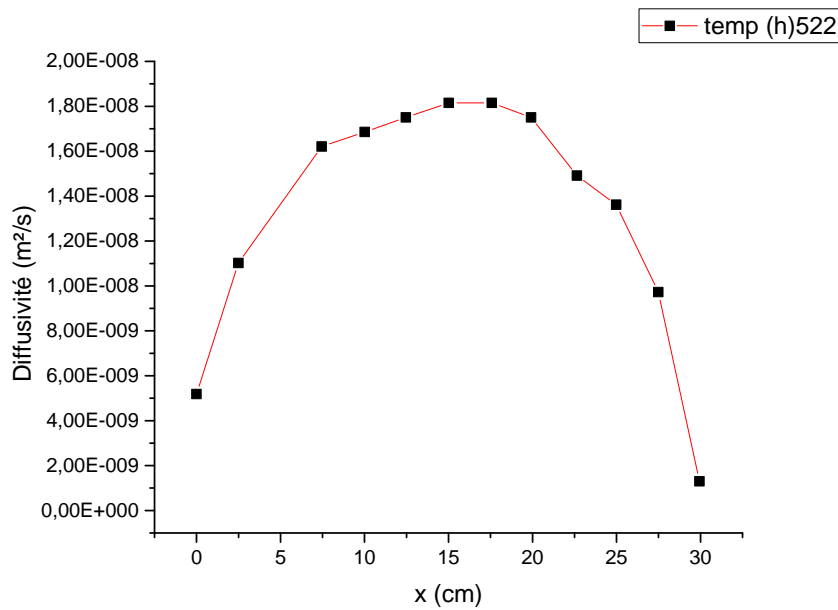


Figure21: développements de la diffusivité de la paroi simple en béton(temps 522h)

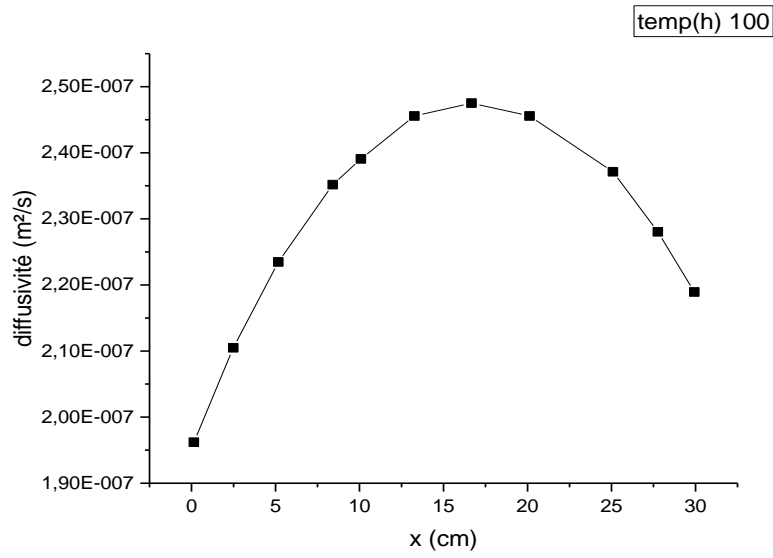


Figure 22 : développements de la diffusivité de la paroi simple en béton(temps 100h)

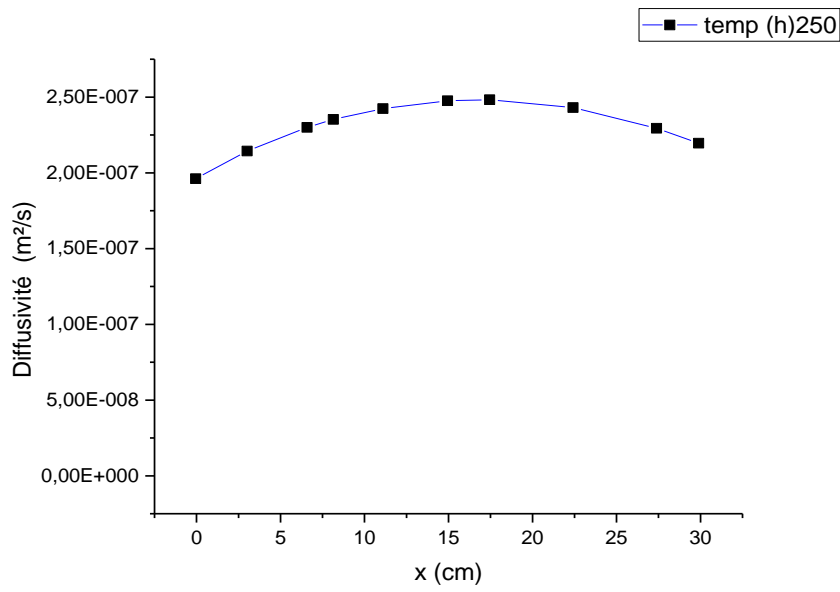


Figure 23: développements de la diffusivité de la paroi simple en béton (temps 250h)

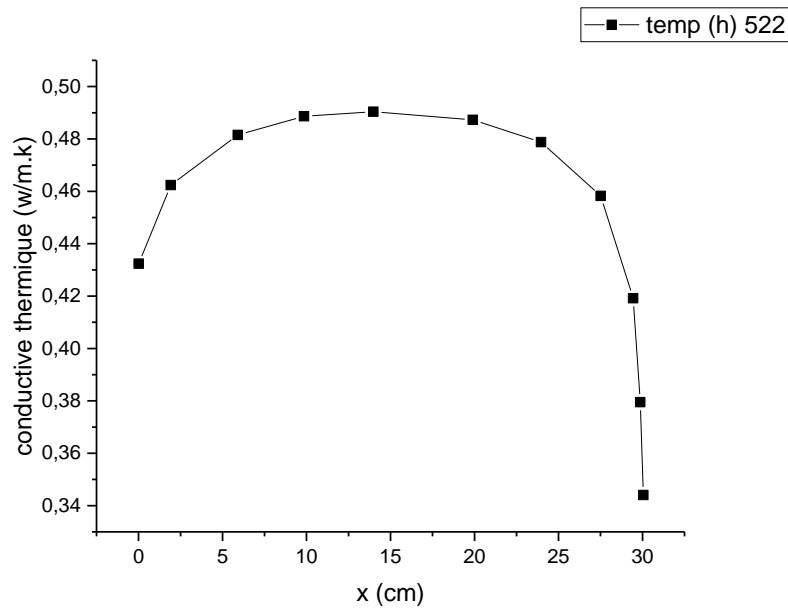


Figure 24: développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton (temps 522h)

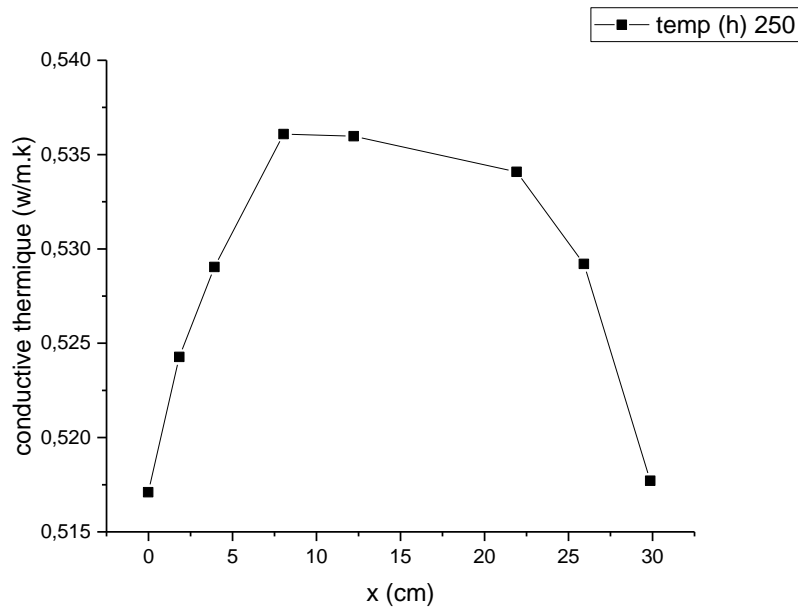


Figure 25 : développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton (temps 250h)

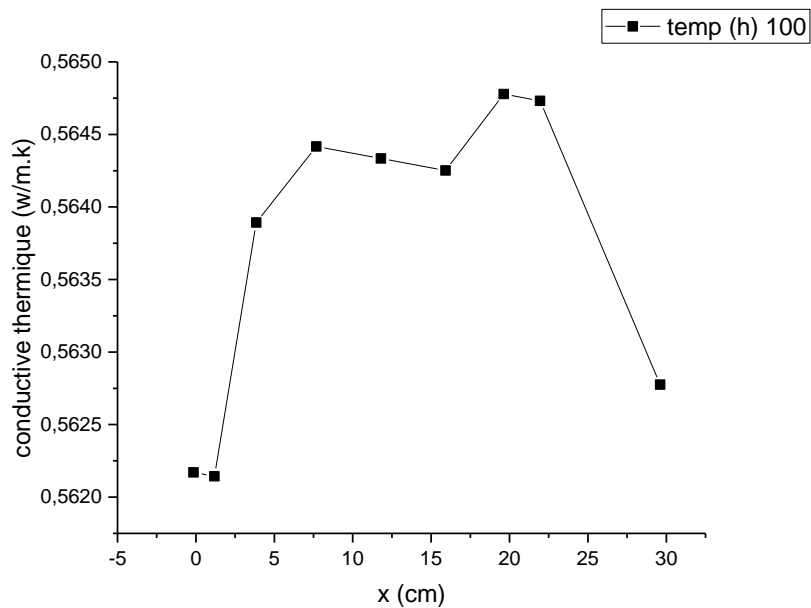


Figure 26 : développements de la conductivité thermique de la paroi simple en béton(temps 100h)

Commenter:

A travers les courbes que l'on a, on remarque que plus on évolue dans le temps dans béton ,plus la valeur limite de diffusivité est la conductivité thermique et grande valeur limite sont ou milieu ou proche de celui- ci puis diminuent

3.5.2 Résultats de la conductivité thermique et distribution de la diffusivité massique de la paroi multicouche :

-

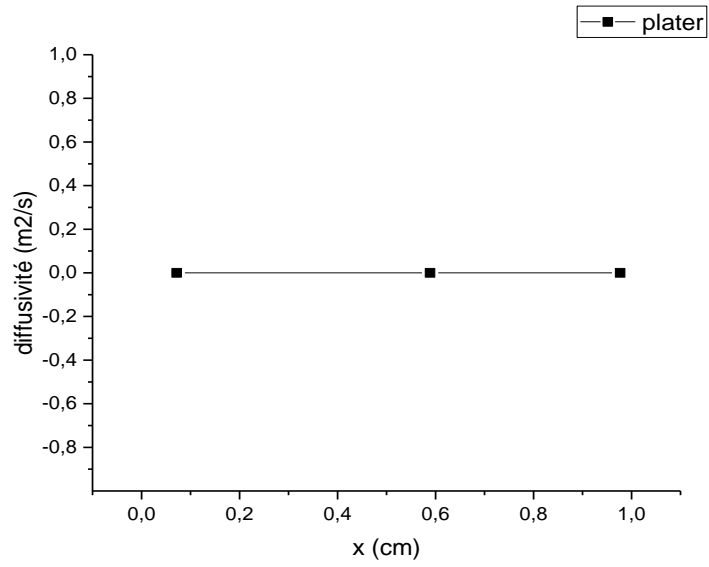


Figure 27: développements de la diffusivité de la paroi multicouche (Plâtre)

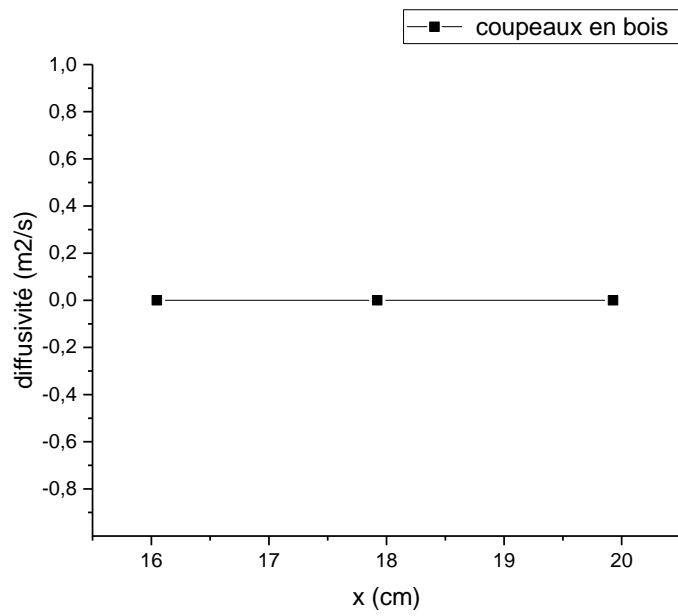


Figure 28 : développements de la diffusivité de la paroi multicouche (bois)

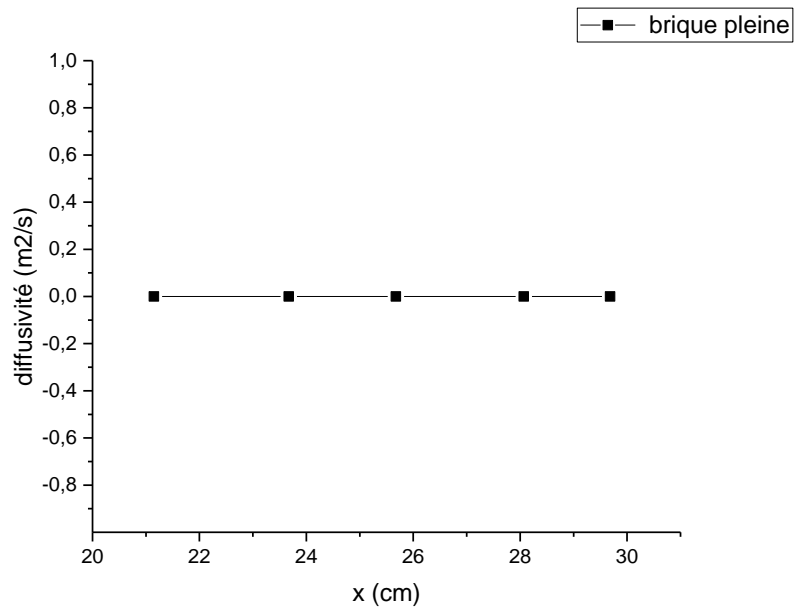


Figure 29: développements de la diffusivité de la paroi multicouche (brique pleine)

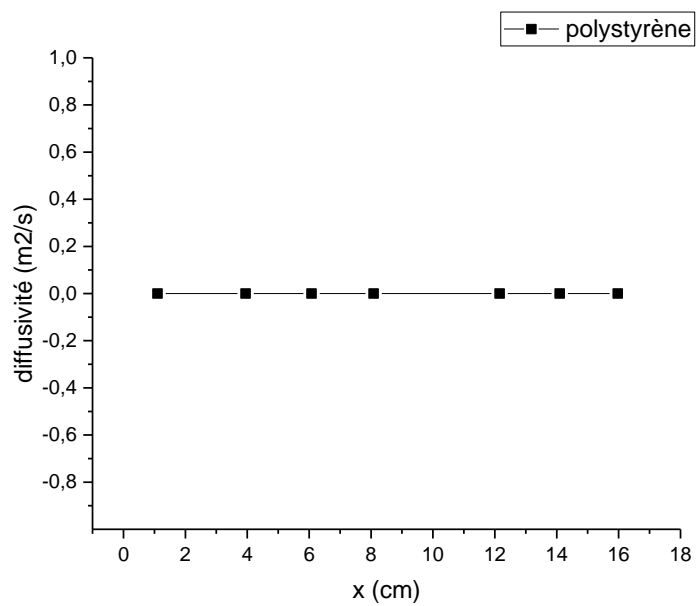


Figure 30 : développements de la diffusivité de la paroi multicouche (polystyrène)

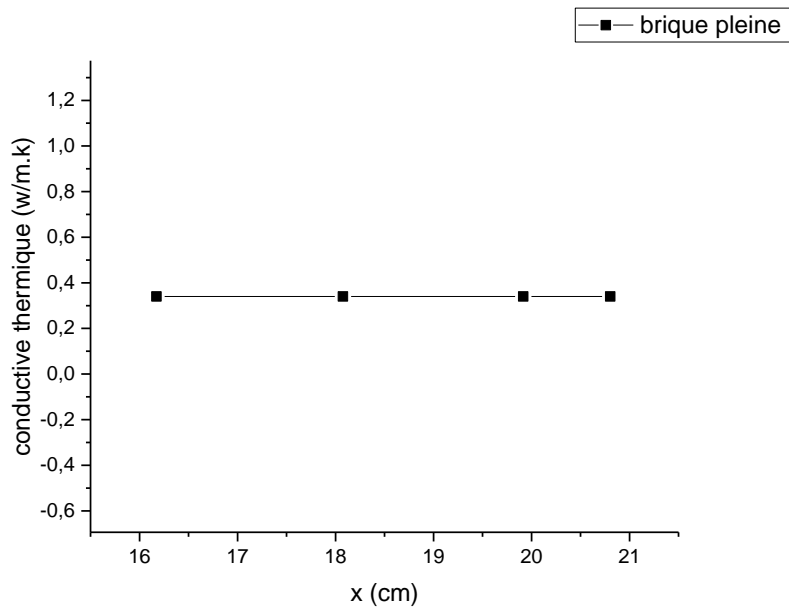


Figure 31 : développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (brique pleine)

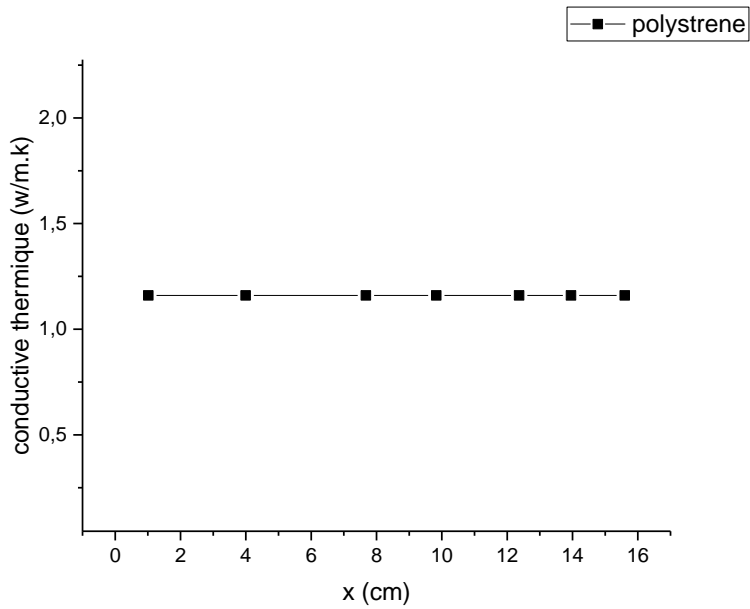


Figure 32: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (polystyrène)

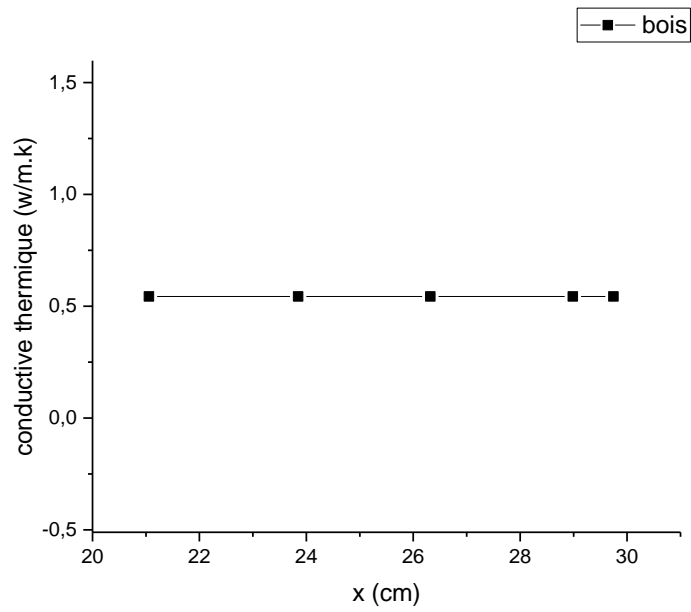


Figure 33: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (bois)

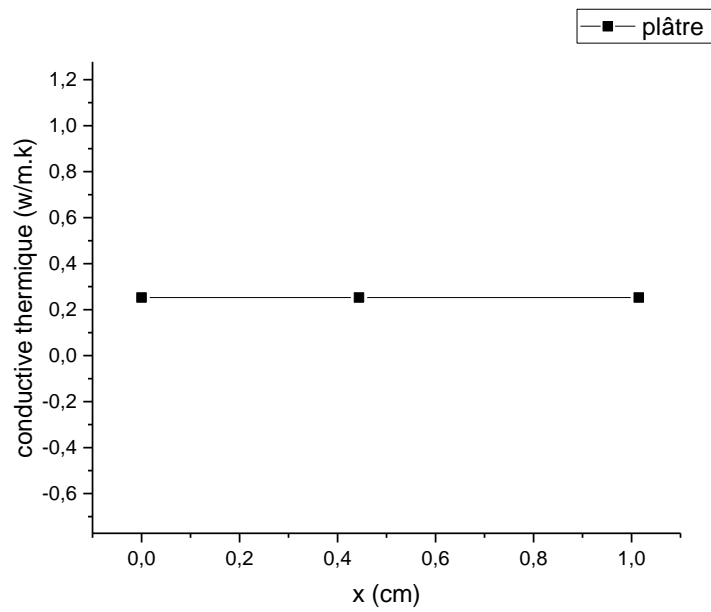


Figure 34: développements de la conductivité thermique de la paroi multicouche (plâtre)

3.5.3 Commentaire de résultats:

A travers notre observation des résultats obtenus, nous constatons qu'ils sont conformes aux règles de transfert de chaleur et de la Brigade Du Vic. Les résultats sont présentés dans les figures suivantes :[27,34]

3.5.4 Résultats de la saturation de paroi simple en béton:

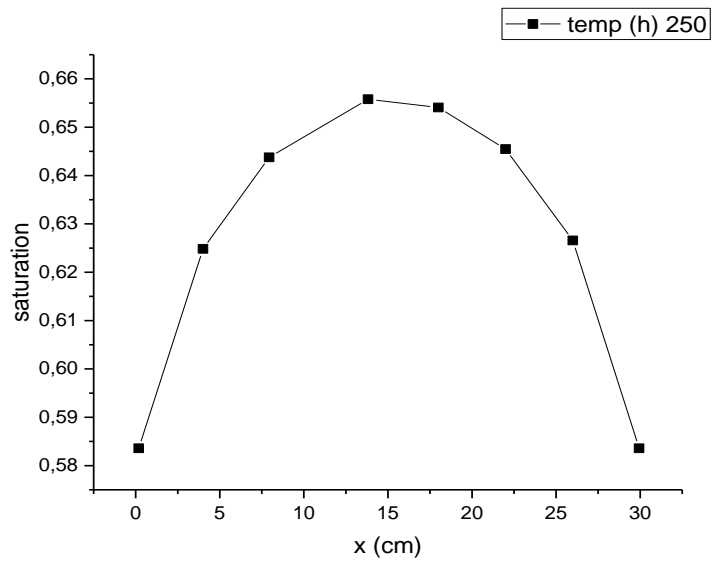


Figure 35 : développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=250h)

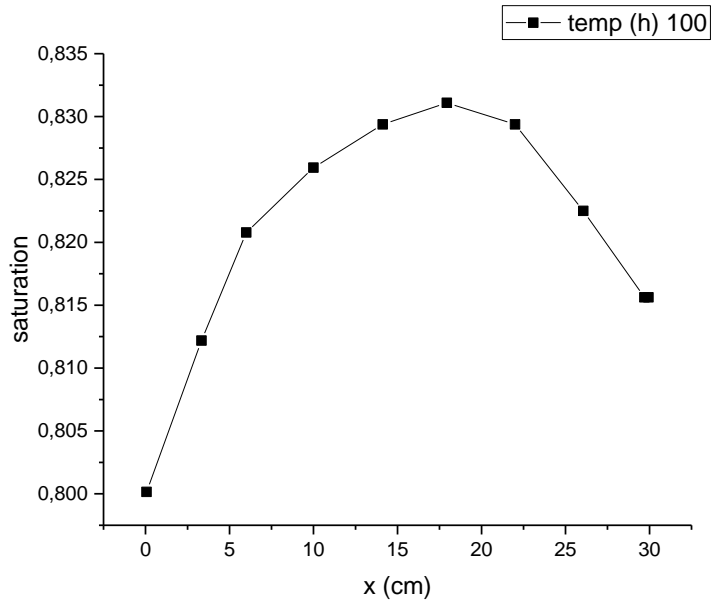


Figure 36: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=100h)

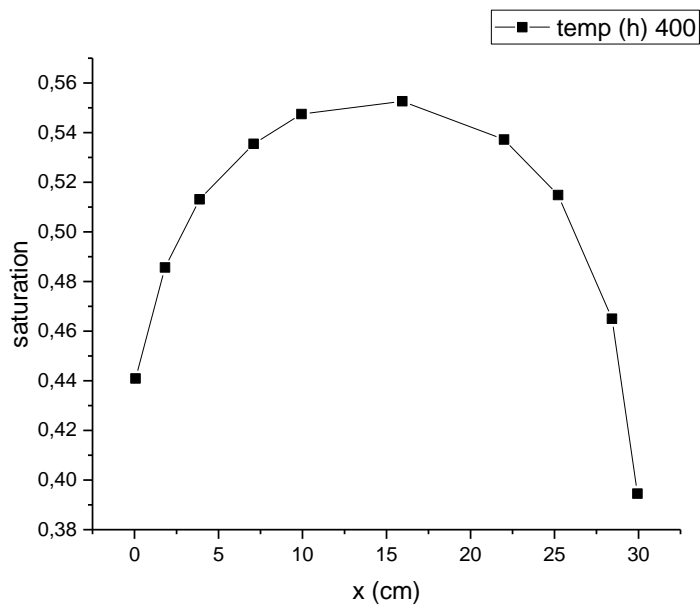


Figure 37: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=400h)

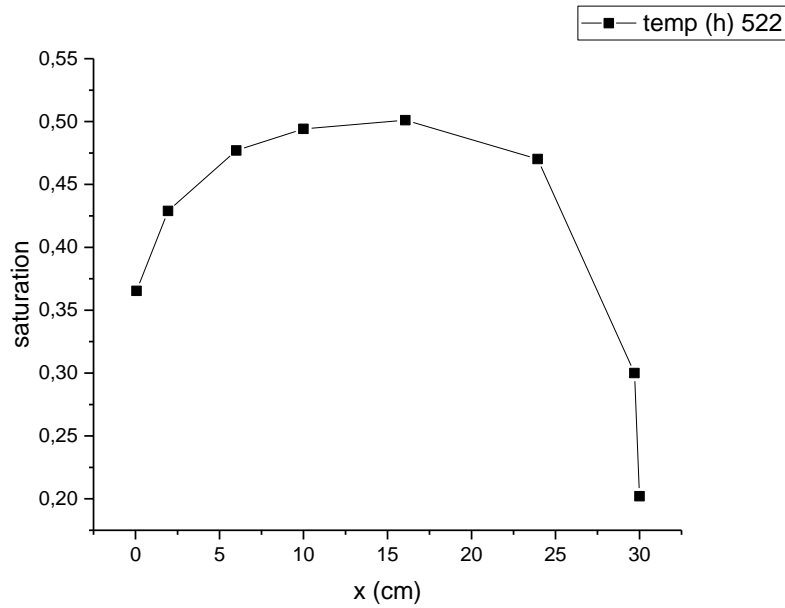


Figure 38: développements de la saturation de la paroi simple en béton (t=522h)

Commenter:

A travers les courbes que l'on a, on remarque que plus la valeur limite de saturation et grande valeur limite sont ou milieu ou proche de celui-ci puis diminuent

5.4.1 Résultats de la saturation de paroi multicouche:

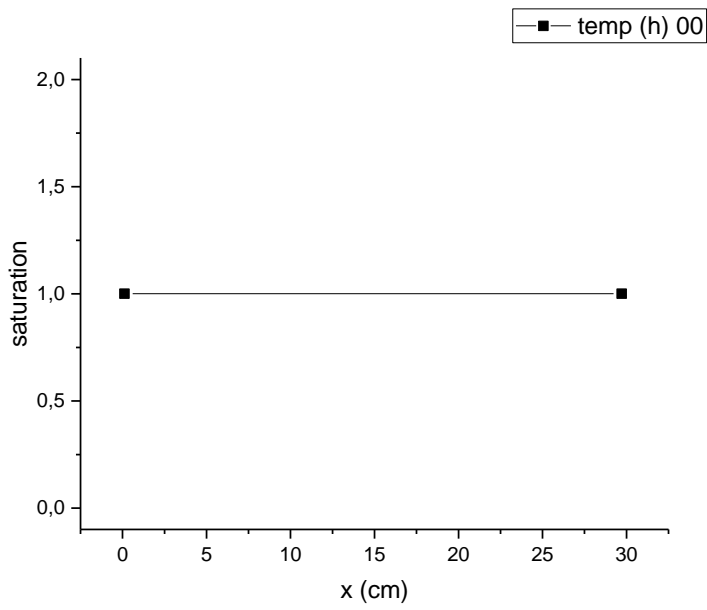


Figure 39: développements de la saturation de la paroi multicouche (t=0h)

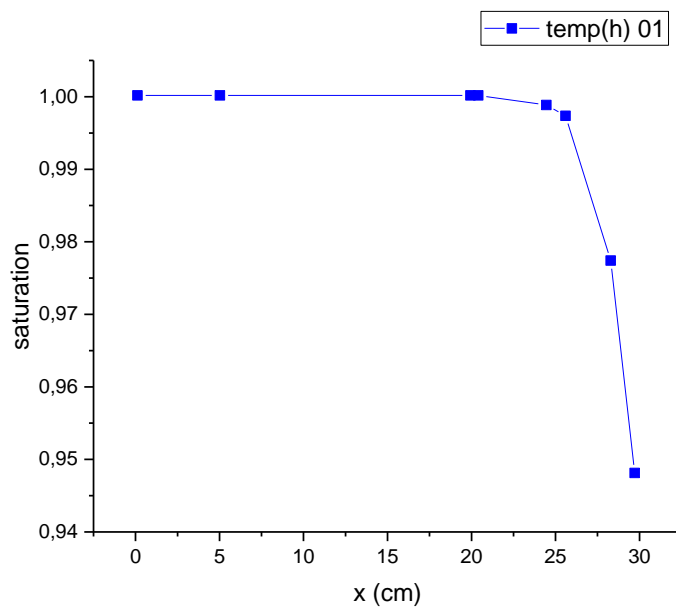


Figure 40 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=1h)

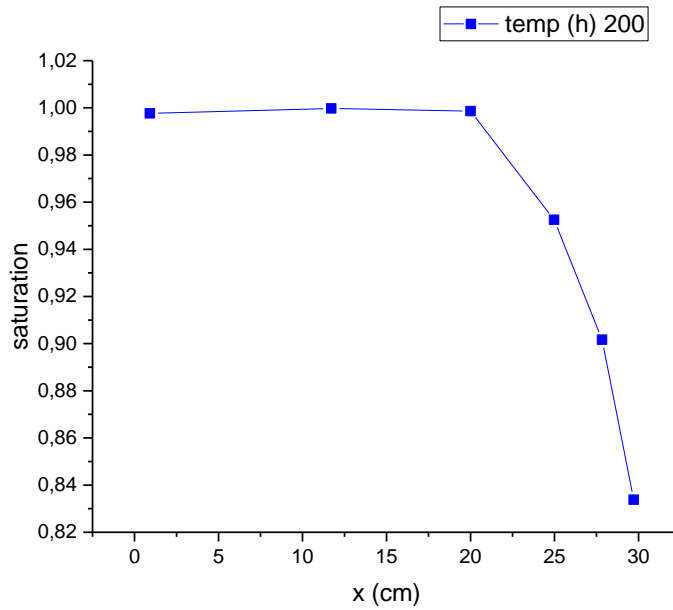


Figure 41 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=200h)

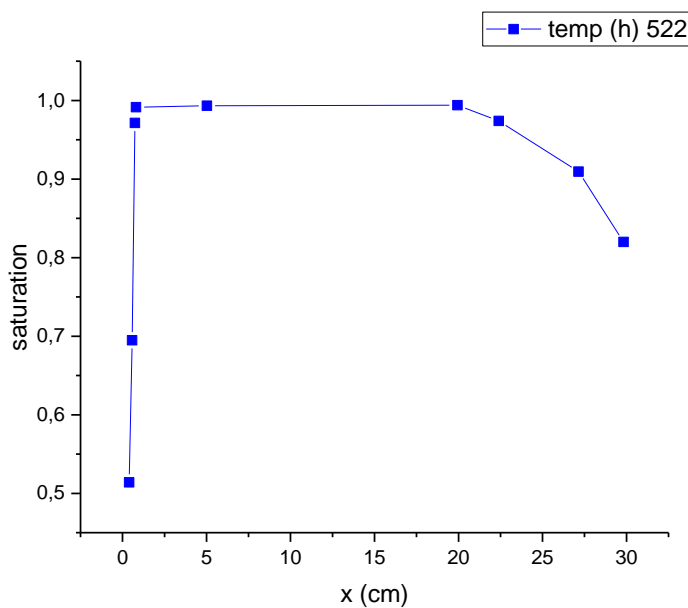


Figure 42 : développements de la saturation de la paroi multicouche (t=522h).

Commenter:

A travers les courbes que l'on a, on remarque que plus on évolue dans le temps dans multicouche, plus la valeur limite de saturation est constante le long de mur et puis enfin en bas

3.5.5 Résultats de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale:

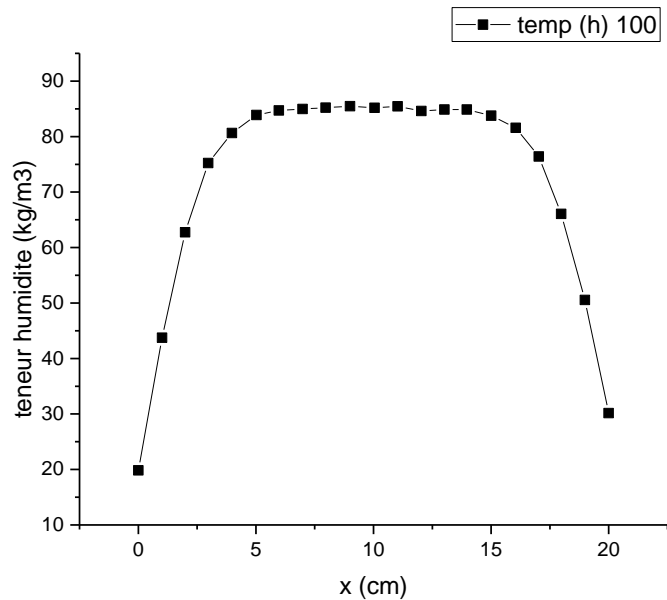


Figure 43: profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8% [t=100 h]

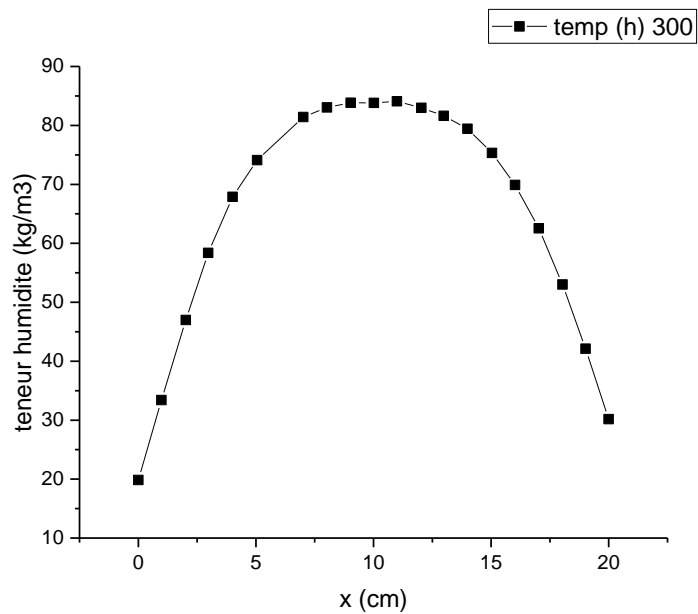


Figure 44 : profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8% [t=300 h]

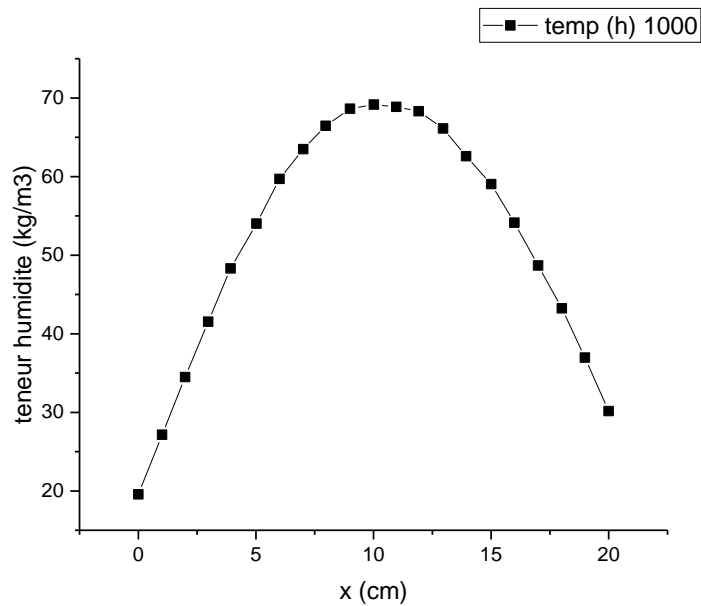


Figure 45 : profile de la teneur en humidité à partir d'une humidité initiale 80.8%[t=1000 h]

3.5.6 Comparaison avec d'autres travaux :

Les conditions de simulation sont très adaptées à ce modèle. Les résultats obtenus permettent de bien représenter l'influence du procédé sur le comportement du mur et de prédire avec précision le phénomène. Ces résultats conduisent à l'étude de paramètres, en modifiant la position, l'épaisseur du canapé et le type de matériau utilisé. Sur la base des conditions internes et externes, dans la recherche d'optimisation, la plus économique peut être sélectionnée tout en conservant les mêmes conditions de confort. Grâce à nos résultats, nous avons constaté que le béton est le meilleur

Conclusion:

Nous avons montré dans ce chapitre, l'interaction entre l'humidité et la température dans une paroi d'une et plusieurs couches

Les couches soumises à des conditions climatiques proches de la réalité se traduisant par un flux de chaleur et une température variables à l'extérieur, avec des échanges de chaleur et de masse à l'intérieur et à l'extérieur, des coefficients d'échange trop importants pour accentuer l'échange et ainsi voir les effets plus rapidement. Nous avons voulu montrer que pour étudier le comportement thermique des matériaux de

construction, il est nécessaire de faire intervenir un couplage hydrique si l'on veut obtenir une bonne caractérisation de ces matériaux.

Conclusion général

Conclusion générale

le phénomène de transfert de chaleur et de masse dans cette étude est établi, et permet à adopter un code de calcul simple et rapide pouvant simuler des problèmes spécifiques à proposer pour l'économie d'énergie et l'amélioration du bien-être des occupants dans le secteur de l'habitat, Les recherches sur les transferts thermiques muraux , nous indiquent qu'il est impératif de revoir les normes de construction de notre pays, d'une part pour réduire la consommation d'énergie, et d'autre part pour améliorer le confort des habitants, notamment dans le sud d'Algérie.

Evidemment, les surcoûts engendrés par l'utilisation de matériaux plus onéreux, de plaques de laine de verre plâtrées ou de murs en briques double couche seront bientôt amortis grâce aux économies d'énergie, qu'il s'agisse de chauffer en hiver ou de rafraîchir en été. Dans le cas d'un transfert couplé de chaleur et d'humidité à travers la paroi, le problème d'interface intercalaire est analysé en comparant les problèmes d'interface entre des parois monocouches et bicouches de même nature et de même épaisseur. Des études sur l'effet du coefficient d'échange montrent que son effet sur la teneur en eau est opposé à celui sur la température. L'influence de la température extérieure sur le comportement thermique et qualitatif du film multicouche montre que lorsqu'elle est inférieure à la température initiale, la teneur en eau diminue, et lorsqu'elle est égale ou supérieure à cette température, la teneur en eau augmente.

Bien que les résultats obtenus grâce au code nous permettent de tirer des conclusions importantes, notamment sur la teneur en eau (humidité) et l'influence de certains paramètres, tels que la présence de flux solaire, la température variable du fluide, le coefficient de transfert de chaleur. Nous espérons caractériser certains matériaux à base de produits locaux (comme le béton à base de sable) en continuant à utiliser des codes. Ce travail est en cours. Il s'agira de mesurer les propriétés physiques des matériaux et d'utiliser des codes pour voir leur qualité et comportement thermique.

Plus tard, d'autres méthodes pourront être utilisées pour rendre le code plus global, comme la 2D et éventuellement la 3D, ainsi que le cas des coefficients. Bien que les prendre comme constantes puisse être une bonne approximation de la vérité du phénomène, il sera intéressant de vérifier leurs effets en comparant le résultat dans le cas où ils sont constants et dans le cas où ils dépendront de la température et de la teneur en eau

Référence :

[1]- Effet de l'orientation et de la taille et des matériaux de construction des fenêtres sur la consommation énergétique. Smail BENHADJIRA. Abdeldjalil SADDOUKI. 22/06/2019.memoire master energetique

[2]- La terre un matériau de construction, une alternative pour une solution durable. BERREHAIL .Tahar. Soutenue le 27 octobre 20009 devant la commission d'examen. MEMOIRE Présenté à la faculté des sciences de la terre Département d'Architecture.

[3]- LA CONSTRUCTION EN PISE ENTRE PERFORMANCES ENERGETIQUES ET PERCEPTION DES USAGERS CAS DU VILLAGE KABYLE AIT ITCHIR. M^{elle} SALMI Safia. 26/02/2014. MEMOIRE DE MAGISTER Spécialité : Architecture Option « Architecture et Développement durable».

[4]- Document préparatoire au séminaire-formation " Construire en terre crue de Guyane" Organisé par la DEAL Guyane - Ministère de l'Environnement - 11-15 avril 2016 au Lycée professionnel de Balata à Matouri. Enseignants : Myriam Olivier (CEREMA), Ali Mesbah (ENTPE).

[5]- https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_de_diffusion_de_la_vapeur_d%27eau

[6]-PÔLE PRÉVENTION PRODUITS MIS EN ŒUVRE Cette étude a été réalisée par Madame Véronique Galmiche, architecte, expert près la cour d'appel de Nancy. e-construction-rehabilitation-terre-crue-vigilance. Mars 2019.

[7]-Par Lucian Alvesett.Matériaux de terre cuite .

[8]-<https://izi-by-edf.fr/blog/carrelage-terre-cuite-avantages-inconvenients/>

[9]- <https://www.guidemaisonecologique.com/les-briques-en-terre-cuite/>

[10]- <https://www.cahiers-techniques-batiment.fr/article/2-thermique-la-terre-crue-ameliore-le-confort-hygrothermique.27319>

[11]-<https://boutique.cstb.fr/structure-gros-oeuvre-platrerie/286-transferts-dhumidite-a-travers-les-parois-9782868914163.html>

[12]-<https://www.foamglas.com/fr-be/centre-de-conseil/general-advice/what-causes-,-condensation-and-humidification-in-the-building-envelope,-and-when,-q>

[13]<https://www.ecohabitation.com/guides/1310/migration-de-la-vapeur-deau-dans-une-paroi-coup-dil-dexpert-sur-la-permeance>

[14]/<https://qualiteconstruction.com/fiche/condensations-dans-les-logements>

[15]-Humidité et transferts. Janvier 2012. Samuel Courgey, Arcanne.googlel.

[16]-Maîtriser la Migration de vapeur d'eau dans les parois. J.Ducret •• Thierry Bel • © AQC mai 2018

[17]-<https://www.lemoniteur.fr/article/transfert-d-humidite-dans-les-parois-trois-points-cles.1918764>