

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE
& DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Africaine
Ahmed DRAIA Adrar

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Technologie

MEMOIRE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTERE

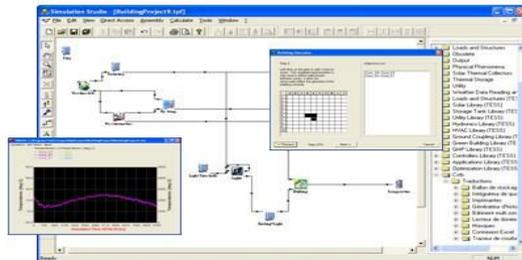
Spécialité : Génie Civil

Option : Géomatériaux et structures

THEME :

Le comportement thermique et structural du bâtiment sous les effets thermo mécanique dans un milieu aride.

CAS D'ETUDE : simulation d'un appartement dans milieu aride, (cas de Béchar)



Présenté par : **Mr. TAYEBI M'hammed**

Mlle. SILA Saida

Encadré par : **M.A BASSOUD Abdelkader**

Members de jury:

- ✓ Président : **M.AKACEM Mustepha**
- ✓ Examineur : **M.ABDELJALIL M'hamed**

ANNEE : 2013



Remerciements

Ce travail a été aboutie sous la supervision de Mr.BASSOUD Abdelkader ; nous somme extrêmement reconnaissons pour toute son aide, sa compréhension, et le temps qu'il a consacré pour nous orienter et compléter cette thèse. On le remercie pour avoir suivi et dirigé ce travail.

Je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de près et de loin durant toute cette période de travail et toutes nous famille.

Et à tous ceux qui m'ont aidé à élaborer ce travail, pour leurs soutiens leurs encouragements.



Résumé :

Aujourd'hui, les bâtiments jouent un rôle de filtre thermique qui permet de recréer son propre microclimat intérieur indépendant du climat extérieur. Plusieurs paramètres agissent sur les caractéristiques de ce filtre dont on cite la forme du bâtiment, son orientation, ses éléments constructifs et les aménagements intérieurs.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de la durabilité des ouvrages en béton armé. Les résultats expérimentaux montrent l'influence importante de la température sur le comportement des bétons. L'objectif principal de notre travail est de développer un modèle de calcul des éléments en béton armé sous l'action des charges thermiques et mécaniques en tenant compte des variations temporelles des caractéristiques physiques et mécaniques du matériaux.



Summarize :

Today, buildings play a role of thermal filter which allows to recreate its own internal microclimate independent from the outside climate. Several parameters act on the characteristics of this filter from which we quote the shape of the building, its orientation, its constructive elements and the internal arrangements(developments).

This work joins within the framework of the study of the durability of the concrete(watertight) works armed(equipped). The experimental results(profits) show the influence mattering of the temperature on the behavior of concretes. The main objective of our work and to develop a model of calculation of the concrete(watertight) elements armed(equipped) under the effect of the thermal and mechanical loads(responsibilities) by taking into account variations temporal of the physical characteristics and mechanics of materials.



ملخص:

اليوم، المباني تلعب دور التصفية الحرارية لملائمة المناخ الداخلي مقارنة مع المناخ الخارجي لتكون مستقلة وخاصة بها. العديد من العوامل التي تؤثر على خصائص التصفية التي وردت في أنواع المبلون، وتوجهها، وعناصر البناء والتصميم الداخلي.

هذا العمل هو جزء من دراسة استدامة المنشآت الخرسانية المسلحة. تظهر النتائج التجريبية تأثير كبير في درجة الحرارة على سلوك الخرسانة. والتركيز الرئيسي لعملنا هو وضع النموذج الحسابي لعناصر الخرسانة المسلحة في إطار العمل تحت الأحمال الحرارية والميكانيكية مع الأخذ بعين الاعتبار التغيرات الزمنية للخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المستخدمة.



Sommaire

Résume :.....	2
Sommaire	5
Liste des figures	7
Introduction :.....	10
Chapitre 1 généralité sur le béton	11
1. Le matériau.....	11
1.1. Le béton	11
1.2. Le béton armé	20
Chapitre 2 : le comportement thermo-physique des matériaux	24
1. Introduction :.....	24
2- Béton :.....	24
2.1 Resistance Béton ordinaire :.....	24
2.2 Déformation du béton :.....	24
2.3 Dilatation thermique du béton	26
2.4 Chaleur spécifique du béton :	27
2.5 Conductivité thermique du béton.....	27
3- Acier :.....	28
3.1 Résistance de l'acier :.....	28
3.2 Déformation de l'acier	29
3.3 Dilatation thermique de l'acier	29
3.4 Chaleur spécifique de l'acier	30
3.5 Conductivité thermique de l'acier	30
4. Comportement thermique d'une construction.....	31
4.1 Introduction :	31
4.2 Effet thermique :	31
4.3 Incendie :	33
4.4 La résistance au feu :	34
4.5 Comportement au feu :	34
4.6 Facteurs influents le comportement d'incendie : de l'acier sous l'effet d'incendie :.....	35
Chapitre 3 : modélisation thermique.....	38
1 Étude de l'influence de l'inertie de local sur le confort thermique :.....	38
1.1 Description du locale étudiée	38



Simulation thermique

b/Cellule d'inertie légère.....	39
1.2 Évolution libre a Bechar :	41
1.3 Les besoin énergétiques :	43
2. Étude thermique sous plateforme TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) :	47
2.2. Les Outils De Simulations :	47
2.3. Présentation de TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation)	47
2.4. Données introduites	48
2.5 Application numérique	49
Chapitre 4 le comportement structurel sous l effet de la température	61
1. Présentation du projet :	61
1.1-Introduction :	61
2. Prédimensionnement des éléments structuraux :	63
2.1--Descente charge :	63
2-2- prédimensionnement des poutres :	63
2-3 prédimensionnement des poteaux :	64
2-4- Planchers à corps creux :	66
3. Etude d'un bâtiment en trait compte l'effet de la température :	68
4. Les résultats de sections de ferrailage obtenus par SAP2000 :	71
CONCLUSION	74
Référence :	75
Annexe	76



Liste des figures

N° du Figure	Le Titre	N° de Page
Figure n° 1.1 :	Le développement progressif des hydrates dans une pâte de ciment en cours d'hydratation	14
Figure n° 1.2:	Relation entre la résistance à la compression R et le rapport E/C selon la formule de Féret (en considérant $v=0$)	15
Figure n° 1.3:	Evolution de la porosité d'une pate de ciment en fonction du E/C	16
Figure n° 1.4:	Processus de durcissement du béton	18
Figure n° 1.5:	Evolution de la résistance en compression et en traction d'un béton 25	19
Figure n° 1.6:	Module instantané en fonction de la résistance moyenne en compression	20
Figure n° 1.7:	Diagramme déformation contraintes de l'acier	21
Figure n° 1.8:	les fissures potentielles dans l'élément en béton	21
Figure 2.1 :	Evolution de la résistance du béton en fonction de la température θ et du type de granulats	24
Figure 2.2 :	Modèle mathématique de la relation contrainte-déformation du béton en compression aux températures élevées	25
Figure 2.3 :	Dilatation du béton en fonction de la température	26
Figure 2.4 :	Chaleur spécifique du béton, $cp(\theta)$ en fonction de la température pour 3 teneurs en eau	27
Figure 2.5 :	Variation des limites supérieure et inférieure de conductivité thermique pour les bétons normaux (BN) en fonction de la température.	27
Figure 2.6 :	facteur $ks(\theta)$ de réduction de la résistance caractéristique (fyk) des armatures	28
Figure 2.7 :	La relation contrainte-déformation	29
Figure 2.8 :	Dilatation thermique de l'acier	29
Figure 2.9 :	Chaleur spécifique de l'acier au carbone, en fonction de la température	30
Figure 2.10 :	Conductivité thermique de l'acier au carbone en fonction de la température.	30
Figure 2.11 :	différentes phases d'un incendie	33
Figure 2.12 :	la courbe ISO	34
Fig2.13:	variation de la chaleur spécifique de l'acier en fonction de la température	35
fig2.14:	représentation de la variation de la conductivité thermique	35
Fig 2.15 :	variation de l'élongation/ température	36



Simulation thermique

fig 2.16 :	réduction contrainte-déformation fonction de la température pour l'acier S275	36
Fig 3.01 :	Les dimensions de la cellule étudiée.	38
FIG 3.2 :	Évolution libre de la température intérieure pour une inertie lourde et légère (<u>BECHAR AOUT 1995</u>)	41
FIG 3.3 :	Évolution libre de la température intérieure pour cellule 01 et 02 en fonction de matériaux de construction <u>BECHAR LE MOIS DE DECEMBRE 1995</u>	42
FIG. 3.4 :	Besoin mensuel de chauffage et rafraichissement cellule 01 à <u>BECHAR 1995</u>	43
Fig.3.5 :	Besoin annuel de chauffage et rafraichissement cellule 01 Bechar 1995	43
Fig3.6 :	Besoin mensuel de chauffage et rafraichissement cellule N°2 Bechar 1995	44
Fig3.7 :	Besoin annuel de chauffage et rafraichissement cellule N°2 Bechar 1995	44
Fig.3.8 :	Besoin annuel de chauffage cellule lourde et légère Bechar 1995	45
Fig. 3.9 :	Besoin annuel de rafraichissement pour une inertie lourde et légère Bechar 1995	45
Fig. 3.10 :	Influence des matériaux de construction sur les besoins annuel énergétiques	46
Fig 3.11 :	Interface du logiciel TRNYS	47
Figure 3.12 :	représente la fenêtre principale d'où il y'a le menu principal et les commandes principaux du présent logiciel.	49
Figure 3.13	fenêtre de nouveau projet.	50
Figure 3.14	représentation des zones	50
Figure 3.15	dimensionnement des zones	51
Figure 3.16	dimensionnement des zones (suite).	51
Figure 3.17	orientation et localisation des zones.	52
Figure 3.18	introduction du fichier météo.	52
Figure 3.19	fenêtre infiltration et ventilation.	53
Figure 3.20	fenêtre de l'achèvement de création du projet.	53
Figure 3.21	représentation visuel du projet.	54
Figure 3.22	affichage des zones créent.	54
Figure 3.23	compositions des zones.	55
Figure 3.24	pour afficher les résultats	55



Simulation thermique

Figure 3.25	facteurs résultat à afficher.	56
Figure 3.26	Température annuel à Béchar	56
Figure 3.27	Température annuel à Ottawa.	57
Figure 3.28 :	« Le site de Madrid-Barajas, Espagne »	57
Figure 3.29 :	« Superposition des températures des sites»	58
Fig 3.30 :	la variation d'humidité dans les sites de : Béchar, Madrid et Ottawa.	59
Fig 3.31 :	la variation de radiation dans les sites de : Béchar, Madrid et Ottawa.	59
Fig 3.32 :	Les différentes variations des températures dans les trois sites dans le premier jour du mois d'Aout.	60
<i>Fig 4.1 :</i>	<i>Dalle à corps creux.</i>	66
Fig 4.2 :	Dimension de la poutrelle	66
Figure 4.3 :	entrer la charge statique	68
Figure 4.4 :	Pour additionné nouveau combinaison	69
Figure 4.5 :	les combinaisons	69
Figure 4.6 :	les combinaisons de ferrailage	70
Figure 4.7 :	le gradient thermique	70
Figure 4.8 :	select la combinaison pour afficher les résultats	71
Figure 4.9 :	Diagramme du pourcentage de chargement en fonction de température	73



Introduction :

Le béton est de plus en plus utilisé dans le domaine du bâtiment, malgré ses bonnes performances à température ambiante, il peut présenter un comportement critique à haute température. L'analyse des effets des charges thermique sur sa micro structure est une étape nécessaire à la compréhension de cette phénomène.

Tout bâtiment a un comportement thermique dynamique. Principalement dû aux variations climatiques extérieures. La température influe sur les pertes de chaleur par ventilation et d'une façon indirecte sur l'évolution de la température dans les parois extérieures.

L'ensoleillement influe sur le captage de l'énergie solaire au droit des éléments transparents et sur le stockage direct du rayonnement absorbé; d'une façon indirecte il influe sur la diffusion de la chaleur stockée après un temps de déphasage et sur l'évolution de la température intérieure. Le vent influence directement les pertes par ventilation et indirectement l'évolution de la température de surface extérieure des parois.

La simulation thermique dynamique permet de faire « vivre virtuellement » le bâtiment sur une année entière, afin d'étudier son comportement prévisionnel pour des résultats proches de la réalité.

Mot clé : simulation, diagnostic, dégradation, béton arme, thermique, qualité du béton



Chapitre 1 généralité sur le béton

1. Le matériau

1.1. Le béton

1.1.1. Sa composition

« Le béton est un assemblage de grains à peu près inertes, les granulats, lié par une pâte résultant du mélange de ciment, éventuellement d'additions minérales et/ou d'adjuvants organiques, d'eau et d'air ».

Les granulats :

Les granulats constituent le squelette du béton. Les granulats étant moins déformables que la matrice de ciment, ils induisent des fissures dans la pâte dues au retrait mais s'opposent à leur propagation. Ainsi, la résistance de la matrice est améliorée.

Les caractéristiques d'un béton, telles que sa mise en Œuvre, son comportement mécanique et ses performances à long terme sont influencées par les propriétés des granulats qui le composent. Ces propriétés, spécifiques aux granulats, sont :

- **la nature minéralogique** : la plupart des granulats conviennent pour le béton, il faut toutefois faire attention à l'emploi d'argiles ou de calcaires marneux qui peuvent altérer l'adhérence et engendrer des gonflements et des altérations du béton à terme ;
- **la granulométrie**, ou la distribution des tailles des grains est importante pour obtenir une bonne composition du béton. Ainsi, la courbe granulométrique de chaque granulats doit respecter un fuseau de régularité défini par les normes qui distinguent 6 classes de granulats suivant leur dimension : les fillers, les sablons, les sables, les gravillons, les graves, le ballast . De plus, le mélange doit s'intégrer dans une courbe de référence(Faury,Bolomey, etc...).
- **la teneur en eau** : la quantité d'eau présente dans les granulats (humidité et absorption) est à considérer lors de la formulation du béton pour établir la quantité d'eau de gâchage à ajouter ;
- **l'affinité vis à vis des ciments** : « la nature des liaisons qui se manifestent à l'interface granulats/pâte de ciment, conditionne les résistances mécanique du béton ».
- la résistance mécanique : en effet, « l'obtention [d'un] béton de résistance mécanique élevée suppose que les granulats aient une résistance propre suffisante ».
- **l'angularité** : est en général peu importante, mais la rugosité de certains granulats concassés peut parfois être défavorable à la mise en Œuvre du béton et à sa compacité finale;
- **la densité** : selon le type de granulats (calcaire, basalte,...) la densité n'est pas la même. Ainsi, selon les caractéristiques du béton désiré, il faudra utiliser des granulats avec une densité adaptée. Par exemple, pour réaliser un béton lourd, des granulats de haute densité sont nécessaires ; ce type de béton est utilisé pour les enceintes de salles radiothérapie, de chambre forte, etc...
- **la présence de matières organiques** : a une influence défavorable sur la prise et le durcissement et peut entraîner des chutes de résistance ;
- **la propreté** : la présence d'impuretés autour des grains peut perturber la réaction d'hydratation du ciment et par conséquent, entraîner des défauts d'adhérence entre les granulats et la pâte de ciment ;



Simulation thermique

- **la finesse du sable** : « un sable grossier risque de nuire à la mise en Œuvre et entraîner un ressuage doublé d'une ségrégation. A l'inverse, un sable fin peut pénaliser la résistance mais contribuer à la mise en Œuvre ».

- **la gélivité** : cette propriété du granulat est importante vis-à-vis des interactions présentes dans un béton lorsqu'il est exposé à des cycles de gel-dégel ;

- **l'alcali réaction potentielle** : « certains granulats contenant une fraction significative de silice soluble et réactive sont susceptibles, dans un environnement riche en alcalin, de provoquer à leur périphérie la formation de gel gonflants ».

- **la teneur en chlorures et sulfates** : Ces ions en réagissant avec le ciment ou les armatures peuvent entraîner des problèmes de fissuration et d'éclatement du béton.

Le choix des granulats utilisés dans la composition d'un béton est donc un facteur important et doit donc être étudié en fonction des performances attendues du béton.

Catégorie	Utilisation
A	Ouvrages d'art, BHP et bétons particuliers
B	Bâtiment
C	A éviter
D	A proscrire pour les bétons courants

Il faut aussi se reporter aux fiches techniques de produits qui renseignent sur toutes les caractéristiques du produit.

Il est à noter que cette norme ne fournit pas de courbe granulométrique du mélange à respecter.

Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire qu'il a la propriété de durcir au contact de l'eau, et après durcissement, il conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. « C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide. »

Les ciments courants sont subdivisés en 5 types selon la nature et la proportion de leurs constituants. « Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».

Les ciments sont aussi répartis en trois classes définies par la valeur minimale (en MPa) de la résistance normale du ciment à 28 jours : 32,5 - 42,5 - 52,5.



Simulation thermique

La plupart des ciments est composée majoritairement de clinker, fabriqué à partir d'un mélange d'environ 80% de calcaire et 20% d'argile. Ils contiennent d'autres constituants éventuels, appelés fines complémentaires ou additions minérales telles que des fillers, des laitiers de haut-fourneau, des cendres volantes, des calcaires ou encore des fumées de silice. Ces additions, par leur finesse, ont pour rôle de se substituer économiquement à une partie du clinker en remplissant les espaces libres et par conséquent, elles contribuent à augmenter la compacité du squelette.

Type de ciment	Désignation	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivant : laitier ou pouzzolanes - cendres - calcaires - schistes - fumées de silice	Teneur en constituants secondaires	Utilisation
Ciments Portland	CEM I	95 à 100%		0 à 5%	Ouvrages d'art
Ciments Portland composés	CEM II/A ou B	80 à 94% 65 à 79%	6 à 20% de l'un des constituants, sauf pour les fumées de silice limitées à 10% et les fillers à 5%; 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci-dessus.		Bâtiment
Ciments de haut-fourneau	CEM III/A, B ou C	35 à 64% 20 à 34% 5 à 19%	36 à 65% de laitier de haut-fourneau 66 à 80% de laitier de haut-fourneau 81 à 95% de laitier de haut-fourneau		Ouvrages-en milieux agressifs et industriels
Ciments pouzzolaniques	CEM IV/A ou B	65 à 90% 45 à 64%	10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice (limitées à 10%) 36 à 55% comme ci-dessus		Absent en France
Ciments composés	CEM V/A ou B	40 à 64% 20 à 39%	18 à 30% de laitier de haut-fourneau et 18 à 30% de cendres siliceuses ou de pouzzolanes 31 à 50% de chacun des 2 constituants comme ci-dessus		Ouvrages en milieux agressifs



D'un point de vue chimique, le ciment est essentiellement composé de :

- Silicate tricalcique - C_3S
- Silicate bicalcique - C_2S
- Aluminate tricalcique - C_3A
- Aluminoferrite tétracalcique - C_4AF

Lorsque le ciment est mis en présence d'eau, les réactions d'hydratation se développent et produisent cristallisation du mélange qui aboutit à un système d'hydrates stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

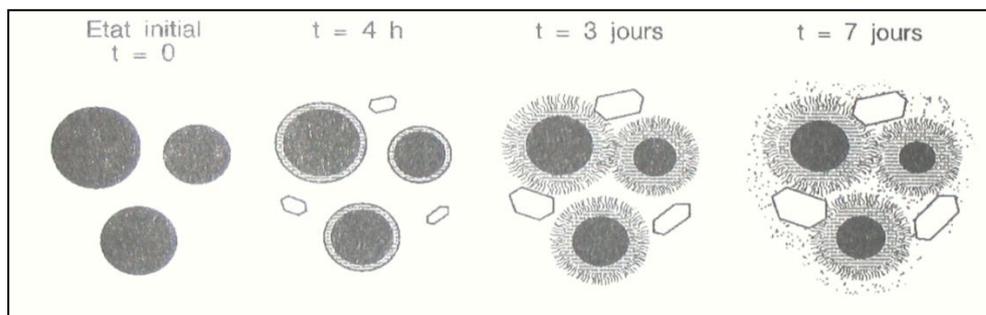


Figure n° 1.1 : Le développement progressif des hydrates dans une pâte de ciment en cours d'hydratation

La réaction d'hydratation du ciment peut-être découpée en 4 phases :

- La phase initiale : le silicate tricalcique se dissout superficiellement pour former un monosilicate de calcium hydraté et de l'ettringite ;
- La phase dormante : la pâte reste fluide, les réactions précédentes se poursuivent moins rapidement pendant une durée de 2 à 3 heures ;
- La prise : le béton passe de l'état liquide à l'état solide, la consistance s'acquiert par croissance des hydrates, grâce à l'interpénétration des cristaux ;
- La période de durcissement : lorsque suffisamment d'hydrates ont précipité autour des anhydres (environ 8 heures après le début de l'hydratation), la diffusion des ions dans l'eau est ralentie. Les réactions continuent donc pendant des années à une vitesse de plus en plus lente et la résistance mécanique et la compacité augmentent en conséquence.

L'eau de gâchage :

N'importe quelle eau ne peut être utilisée dans la composition des bétons. La qualité de l'eau doit répondre à certaines exigences consignées dans la norme européenne NF EN 1008 : « Eau de gâchage pour béton ». L'eau distribuée dans les réseaux publics d'adduction convient en général.

La quantité d'eau à ajouter à la composition du béton doit prendre en compte la quantité d'eau totale contenue dans les granulats qui inclut la quantité d'eau à l'intérieur des pores des granulats poreux.



Simulation thermique

Le dosage en eau du béton est un paramètre important et délicat car l'eau agit sur 2 propriétés du béton de façon antinomique : la consistance et la résistance.

En effet, plus on met de l'eau dans un béton, plus son transport et sa mise en Œuvre (remplir le coffrage, enrober les armatures,...) sont aisés car sa consistance est plus liquide pendant la phase dormante(béton frais).

Mais, plus il y a de l'eau dans le béton, plus il y a de l'eau en excès par rapport à la quantité d'eau nécessaire à la formation des hydrates de ciment, réaction qui a lieu au cours de la prise et du durcissement. Cet excès d'eau qui ne sera pas lié par l'hydratation créera au sein du matériau un réseau d'espaces vides (ou partiellement rempli d'eau) qui affectera directement les performances du béton et notamment sa résistance en augmentant sa porosité(ce ne sont pas les vides qui favorisent la résistance du béton !). On peut estimer que « 5 litres d'eau en plus, par mètre cube de béton, réduisent la résistance de celui-ci de 1 MPa environ » pour un C25/30 classique.

Relation entre la résistance à la compression R et le rapport E/C :

Formule de Féret (1896) :

$$R = k [1 + (e+v) / c]^2$$

e : volume d'eau par unité de volume de béton

v : volume d'air par unité de volume de béton

c : volume de ciment par unité de volume de ciment

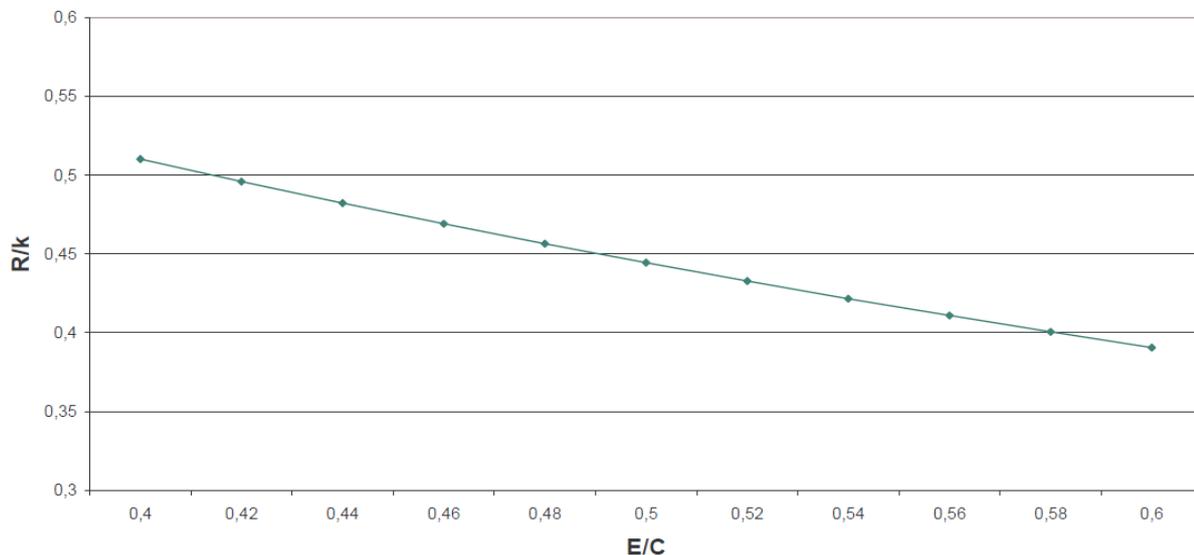


Figure n° 1.2: Relation entre la résistance à la compression R et le rapport E/C selon la formule de Féret (en considérant v=0)

Si on considère un béton C25/30 :

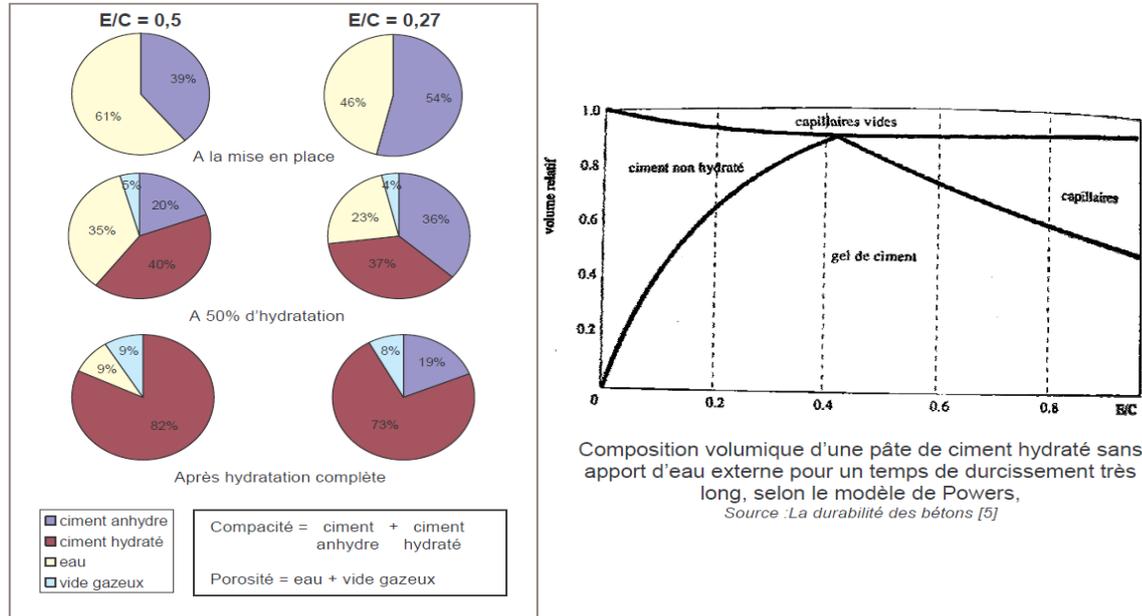
Pour un E/C = 0,42 , R = 30 Mpa = k * 0,5, donc k = 60 MPa

On ajoute de l'eau, par conséquent, E/C passe à 0,5, mais k reste constant, on obtient : R' = 26,4 MPa.



Simulation thermique

C'est pourquoi le dosage en eau est important dans la formulation du béton. Le modèle de Powers fait apparaître un rapport E/C égal à 0,42 pour obtenir une hydratation complète du ciment. Si E/C est supérieur à 0,42, des capillaires se créent dus à l'excès d'eau. Pour un E/C inférieur, la porosité capillaire sera faible mais non nulle à cause de la contraction de «Le Chatelier».



Evolution de la porosité d'une pâte de ciment en fonction du E/C
 Source Le Matériau béton : connaissances générales [1]

Figure n° 1.3: Evolution de la porosité d'une pate de ciment en fonction du E/C

De plus, l'ouvrabilité du béton diminue au cours du temps. Ainsi, il est nécessaire de prendre en compte ce phénomène dans la formulation et le dosage en eau, et l'usage d'adjuvants et de fines permet en principe d'optimiser et de maîtriser tous ces paramètres pendant un temps limité mais suffisant à la mise en œuvre.

Les adjuvants :

Les adjuvants sont des composés organiques permettant de modifier et les améliorer certaines propriétés d'un béton correctement formulé, notamment « la rhéologie du béton frais et la cinétique de prise et de durcissement ».

Les adjuvants agissant sur la rhéologie du béton	
Les plastifiants	A teneur en eau égale, ils augmentent la maniabilité du béton
Les plastifiants réducteurs d'eau	A même maniabilité, ils augmentent les résistances mécaniques en permettant de diminuer la quantité d'eau
Les superplastifiants	Ils provoquent un fort accroissement de la maniabilité du mélange tout en autorisant une diminution importante de la quantité d'eau et donc en permettant une augmentation notable en résistance. Ils sont notamment utilisés dans la composition des bétons hauts performances et béton auto-plaçant.



Simulation thermique

Les adjuvants modifiant la prise et le durcissement	
Les accélérateurs de prise et de durcissement	Ils permettent de diminuer le temps de prise et de durcissement du ciment.
Les retardateurs de prise	Ils augmentent le temps de prise du ciment. Ainsi ils sont utiles pour le transport du béton frais sur de longues distances. (attention à la cure). L'excès de dosage peut conduire à une inhibition de la réaction d'hydratation.
Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton	
Les entraîneurs d'air	Ils entraînent la formation de microbulles d'air uniformément réparties et améliorent la résistance au gel du béton durci (vases d'expansion).
Les hydrofuges de masse	Ils diminuent la capacité d'absorption capillaire des bétons et mortiers durcis.

1.1.2. Sa formulation :

Selon les propriétés que l'on attend du béton en matière de résistance (en fonction de son exposition), et de sa rhéologie, et de sa prise (fonction des conditions atmosphériques), sa composition va être différente. S'ajoute à cela le fait que les constituants utilisés dans la composition du béton ne sont pas les mêmes partout et que pour un fournisseur donné, les caractéristiques des granulats et du ciment peuvent varier dans le temps. Par conséquent, il n'existe pas une formulation unique du béton. Ainsi, plusieurs chercheurs ont développés des méthodes de composition des bétons : Bolomey, Abrams, Faury, Valette, Joisel, Dreux. Mais, pour cadrer la qualité du matériau, une norme de référence pour le béton et sa composition est en place, il s'agit de la norme européenne NF EN 206-1 « Béton - Partie 1 : Spécification, performances, y sont incluses sous forme d'annexe nationale. Elle s'applique aux bétons de structure, qu'ils soient des bétons prêts à l'emploi ou des bétons réalisés sur chantier par l'utilisateur du béton, destinés aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil. Vis-à-vis de la composition des bétons, cette norme encadre ou limite certains des paramètres suivants: rapport Eau/Liant, quantité de ciment, taille des granulats, ... en fonction des classes d'exposition.

Exemple de désignation d'un béton de structure suivant la norme NF EN 206-1, pour un Béton à Propriétés Spécifiées :

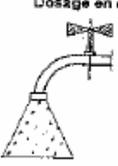
BPS NF EN 206-1 NF C30/37 XF3(F) CL 0,40 D_{max} 22,4 S=170 CEM I 42,5 N CE NF.



Simulation thermique

1.1.2.1. Proportions de constituants liants + granulats + eau (exemple indicatif).

Pour un béton de résistance caractéristique à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25$ MPa, avec des gravillons de classe granulaire 6/10 et 14/20.

f_{c28}	Ciment	Sable 0/5	Gravillons 6/10	Gravillons 14/20	eau
					
MPa	kg	kg	kg	kg	litres
25	330 à 350	750 à 750	300 à 330	640 à 680	140

Lors de la fabrication du béton, il faut également prendre en compte que les constituants sont pesés, mais que le béton livré est considéré au volume et non au poids. Ainsi, quand le poids est considéré, l'air ne représente rien mais l'eau absorbé compte, tandis que lorsqu'on considère le volume, l'eau absorbée compte pour zéro mais l'air est pris en compte.

1.1.3. L'évolution de la résistance du béton au cours du temps :

L'évolution de la résistance du béton suit celle du ciment

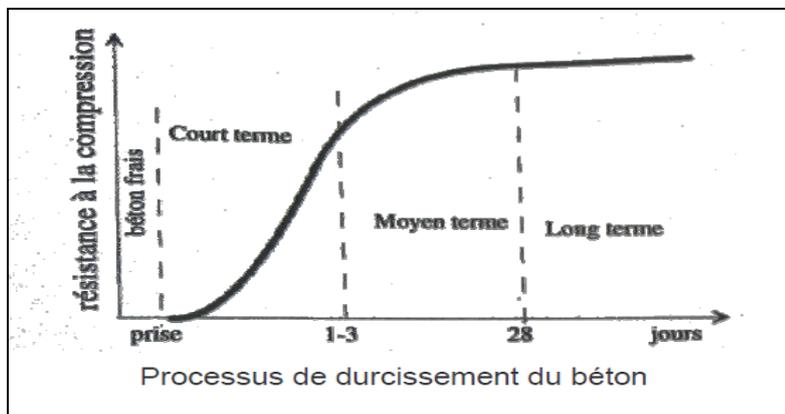


Figure n° 1.4: Processus de durcissement du béton

Le B.A.E.L. considère que la résistance des bétons non traités thermiquement suit approximativement les lois suivantes (fonction générale nécessitant une mesure plus précise pour les applications particulières).



Simulation thermique

En compression à 20°C	En traction à 20°C
$f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83 \cdot j} \cdot f_{c28} \text{ pour } f_{c28} \leq 40 \text{MPa}$	$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \cdot f_{cj}$
$f_{cj} = \frac{j}{1,40 + 0,95 \cdot j} \cdot f_{c28} \text{ pour } f_{c28} > 40 \text{MPa}$	
<p>f_{c28} : résistance à la compression à l'âge de 28 jours</p> <p>f_{cj} : résistance à la compression à j jours</p> <p>f_{tj} : résistance à la traction à j jours</p>	

**Evolution de la résistance en compression et en traction d'un béton B25
entre 0 et 28 jours suivant BAEL 99**

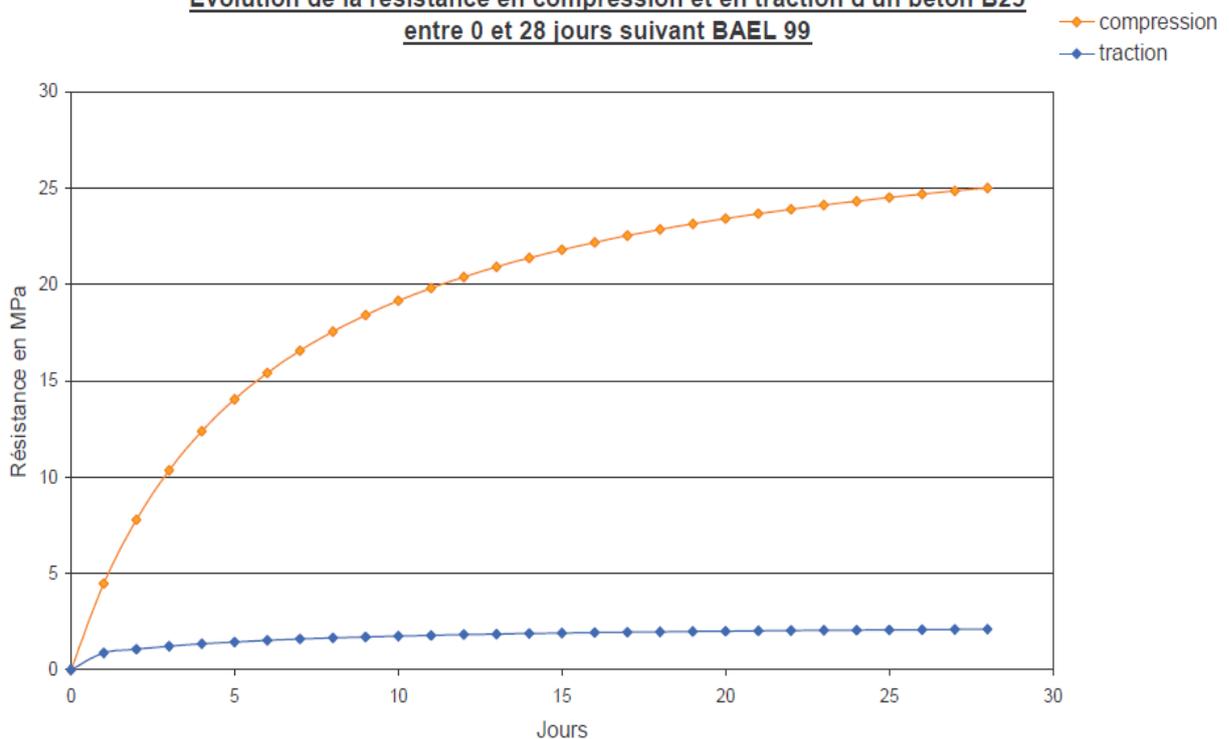


Figure n° 1.5: Evolution de la résistance en compression et en traction d'un béton 25

Le béton résiste environ 13 fois plus à la compression qu'à la traction. Son module d'élasticité est une fonction de sa résistance et des charges qui lui sont appliquées. Ainsi, le B.A.E.L. stipule (article A.2.1, 2) :

« Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on admet, à défaut de mesures, qu'à l'âge de j jours, le module de déformation longitudinale instantanée du béton E est égal à :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ MPa}$$

f_{cj} (exprimé en MPa) désignant la résistance caractéristique à la compression à j jours. »

Ainsi, ce paragraphe prend en compte les contraintes de petite durée d'application. Dans le cas des contraintes de longue durée d'application, « les déformations longitudinales complémentaires dues au fluage du béton sont doubles de celles dues aux mêmes contraintes supposées de courte durée



Simulation thermique

et appliquées au même âge. Cette règle revient à considérer un module de déformation différée E_{vj} à j jours, qui permet de calculer la déformation finale du béton (déformation instantanée augmentée du fluage). Ce module est donné par la formule :

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ MPa}$$

f_{cj} (exprimé en MPa) désignant la résistance caractéristique à la compression à j jours. »

Ainsi, le module d'élasticité du béton sous les contraintes de longue durée est 3 fois plus faible que le module instantané, ce qui conduit à des déformations 3 fois plus importantes.

Cette loi est encore plus approximative que celle sur la montée en résistance du béton.

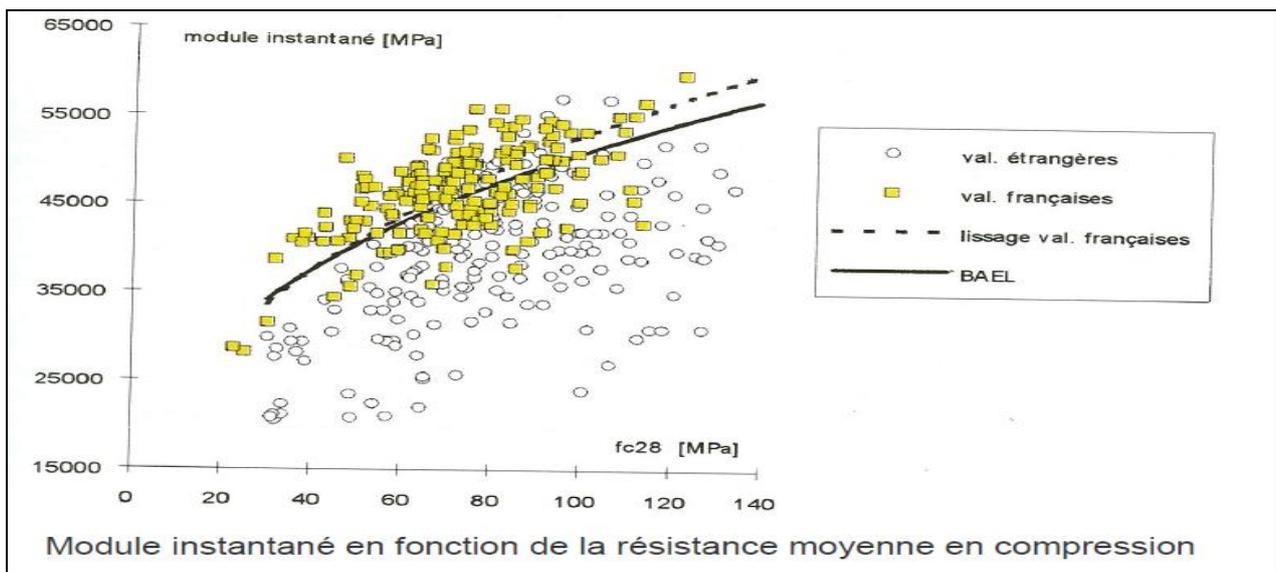


Figure n° 1.6: Module instantané en fonction de la résistance moyenne en compression

1.2. Le béton armé

Comme on a pu le constater dans le paragraphe précédent, le béton a une résistance en traction faible.

Ainsi, sous les efforts de traction et sans précaution particulière, le béton va se fissurer, d'où la nécessité de maîtriser ou d'empêcher la fissuration et d'assurer l'équilibre global.

Pour cela, il existe 2 solutions : le béton armé et le béton précontraint.

1.2.1. Le rôle des armatures

Le concept du béton armé est d'allier le béton à un matériau qui résiste à des efforts de traction : l'acier.



Simulation thermique

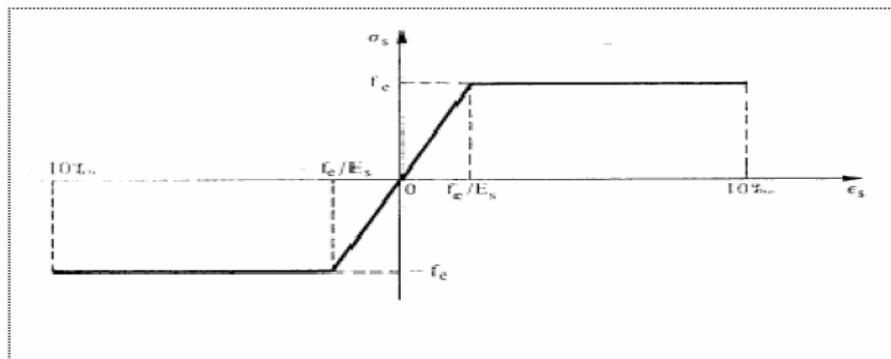


Diagramme déformations-contraintes de l'acier

Figure n° 1.7: Diagramme déformation contraintes de l'acier

La disposition des armatures est réfléchi de manière à reprendre les efforts de traction qui entraînent une fissuration dans l'élément en béton. Par conséquent, les armatures sont disposées de manière à traverser les fissures potentielles. Elles accompagnent la montée en traction et assurent le contact lorsque la limite de résistance du béton à la traction est atteinte (bien avant celle de l'acier), ce sont donc des armatures passives. Le Béton Armé est ainsi microfissuré par définition.

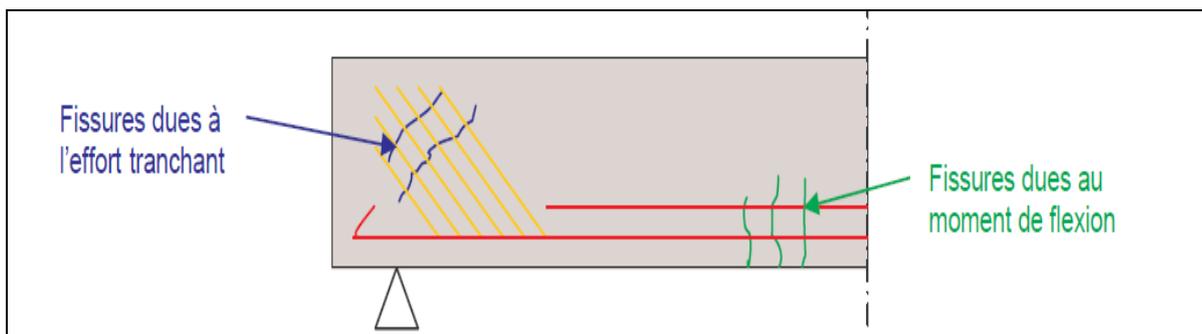


Figure n° 1.8: les fissures potentielles dans l'élément en béton

1.2.2. L'intégration de la fissuration dans les règles de dimensionnement du béton armé:

Le dimensionnement des ouvrages en B.A respecte les règles du BAEL 91 corrigé 99. Dans cette réglementation, la fissuration du béton est intégrée au calcul.

« Les formes et dimensions de chaque élément, ainsi que les dispositions des armatures, sont conçues de manière à limiter la probabilité d'apparition de fissures d'une largeur supérieure à celle qui serait tolérable en raison du rôle et de la situation de l'ouvrage. »

Ainsi 3 types de fissuration sont définis. Le choix est fait en fonction de la destination de l'ouvrage. Selon le degré de préjudiciabilité de la fissuration pour la structure, la limite de la contrainte de traction prise pour effectuer les calculs de dimensionnement des armatures est différente.

- Fissuration non ou peu préjudiciable pour les ouvrages de formes simples, en milieu peu agressif : la contrainte de traction des armatures est limitée à la valeur f_e (contrainte admissible par l'acier en traction et en compression), soit la limite d'élasticité des aciers utilisés.



Simulation thermique

Fissuration préjudiciable pour les ouvrages en milieu moyennement agressif (bord de mer par exemple) : « la contrainte de traction des armatures est limitée à la valeur (MPa) donnée par l'expression ».

$$\xi = \text{Min} \left\{ \frac{2}{3} f_e ; \text{Max} \left(0,5 \cdot f_e ; 110 \cdot \sqrt{\eta f_{tj}} \right) \right\}$$

- Fissuration très préjudiciable pour les ouvrages en milieu fortement agressif (plateforme offshore) ou pour lesquels aucune fissure n'est admise (réservoir ou centrale nucléaire) :

« La contrainte de traction des armatures est limitée à la valeur 0,8 (MPa) ».

1.2.3 La dégradation des bétons d'origine thermique :

Ces dernières années, des incendies dramatiques ont montré que les règles sur la sécurité dans les tranchées couvertes et les tunnels étaient à revoir et ont montré qu'un incendie pouvait provoquer de graves désordres aux bétons des ouvrages de génie civil (incendie des tunnels).

Lors d'un incendie ou d'un choc thermique, l'eau interstitielle se transforme en vapeur et, si cette vapeur ne peut s'échapper assez rapidement, la pression de vapeur devient supérieure à la résistance en traction du béton, ce qui provoque une sorte d'écaillage de ce dernier. Cet écaillage progresse vers le cœur du matériau tant que l'incendie n'est pas maîtrisé et tant que la température du béton reste élevée.

Plus le béton a une perméabilité et une porosité réduites, plus les destructions sont importantes. Par exemple, lors de l'incendie du tunnel sous la Manche, dans la zone du sinistre, les voussoirs de 60 cm d'épaisseur en BHP de classe 60 ont été fortement endommagés. De plus, si la température que subit le béton est très élevée, il se produit une destruction locale du matériau par décomposition de ses constituants et une forte chute du module d'Young. En effet, dès que la température du béton atteint :

110°C, les hydrates de la pâte de ciment commencent à se décomposer ;

à 573°C, la température de fusion du quartz est atteinte ;

à 800°C, le carbonate de chaux (CaCO₃) se décarbonate avec libération de chaux vive, les granulats calcaires perdent une partie de leur cohésion, etc.



Photo n° 01 : béton après un incendie



Simulation thermique

Il faut également se préoccuper de l'effet de l'incendie **sur les armatures de béton armé**, en particulier s'il s'agit d'aciers doux écrouis par traction et torsion ou par torsion seule utilisés entre les années 50 et 80. En effet, une température forte peut recuire les aciers avec une forte chute (de l'ordre de 15 à 18 %) de leur limite élastique. Le même phénomène existe pour les aciers plus récents élaborés par trempe et revenu. Cet effet est sensible si la température des armatures atteint 350°C (300°C pour être prudent, car il dépend aussi du temps de maintien de la température au niveau de l'acier).

En cas d'incendie important, des investigations spécifiques doivent donc être menées aussi bien sur le béton que sur les armatures.



Chapitre 2 : le comportement thermo-physique des matériaux

1. Introduction :

Comportement des matériaux soit le béton ou l'acier fonction de la température plusieurs paramètres ont été dans notre analyse selon les modèles spécifiés par l'Eurocode

Comportement des matériaux à température élevée :

2- Béton :

2.1 Résistance Béton ordinaire :

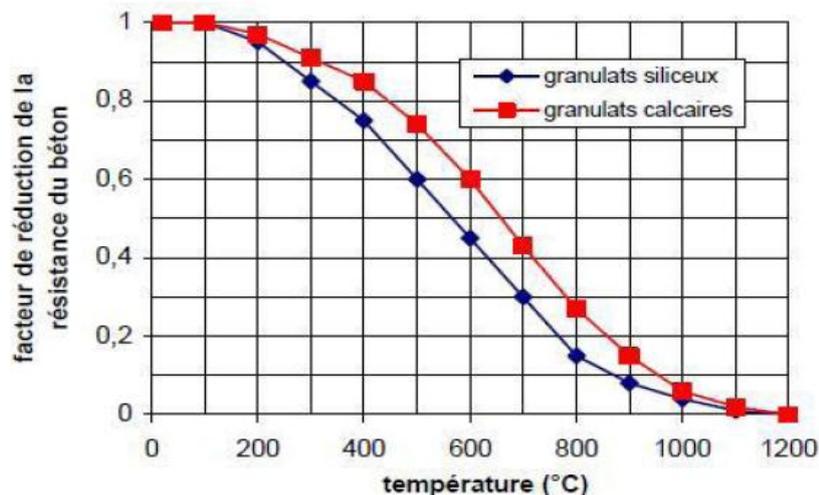


Figure 2.1 : Evolution de la résistance du béton en fonction de la température θ et du type de granulats

Les bétons contenant au moins 80 % en masse de granulats calcaires sont considérés comme des bétons à granulats calcaires

La figure [1] montre que le facteur de réduction de la résistance caractéristique du béton siliceux est moins que celui du béton à base du calcaire, ce signifie que la résistance du béton siliceux est moins de celle du béton à base du calcaire.

2.2 Déformation du béton :

Les propriétés de résistance et de déformation du béton sous contrainte uniaxiale à températures élevées sont obtenues à partir de la relation contrainte-déformation illustrée à la

Figure [2]

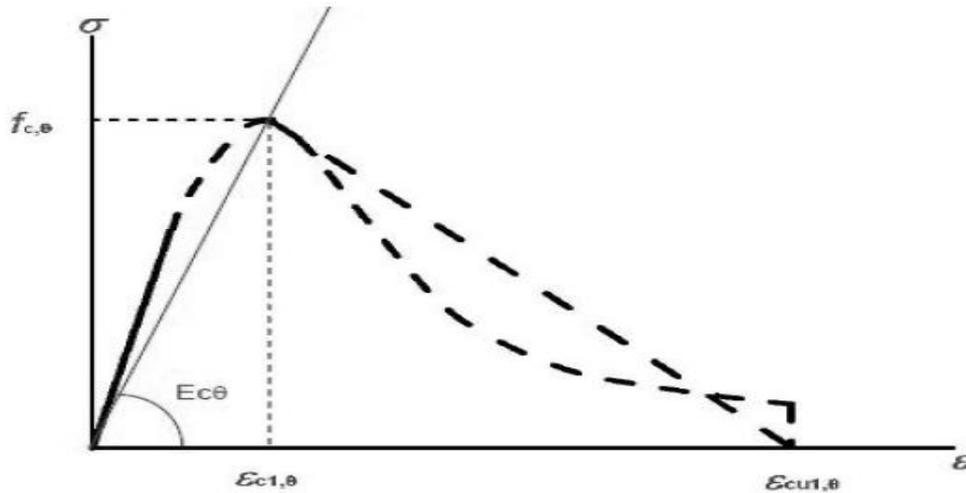


Figure 2.2 : Modèle mathématique de la relation contrainte-déformation du béton en compression aux températures élevées

La relation contrainte-déformation est définie par deux paramètres :

- la résistance à la compression, $f_{c,\theta}$,
- la déformation $\varepsilon_{c1,\theta}$ correspondant à $f_{c,\theta}$

Les valeurs de chacun de ces paramètres sont données dans le tableau [1] en fonction des températures du béton.

Pour les valeurs de température intermédiaires, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Les paramètres spécifiés dans le tableau peuvent être utilisés pour du béton de densité normale réalisé avec des granulats siliceux ou des granulats calcaires (sont considérés comme granulats calcaires ceux contenant au moins 80 % en masse de granulats calcaires).



Simulation thermique

Température du béton θ [°C]	Granulats siliceux			Granulats calcaires		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1 000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1 100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1 200	0,00	-	-	0,00	-	-

Tableau 1.3 : Valeurs des paramètres $f_{c,\theta}$, $\epsilon_{c1,\theta}$ pour béton

2.3 Dilatation thermique du béton

La déformation thermique $\epsilon_c(\theta)$ du béton en fonction de la température est illustrée à la figure [2.3].

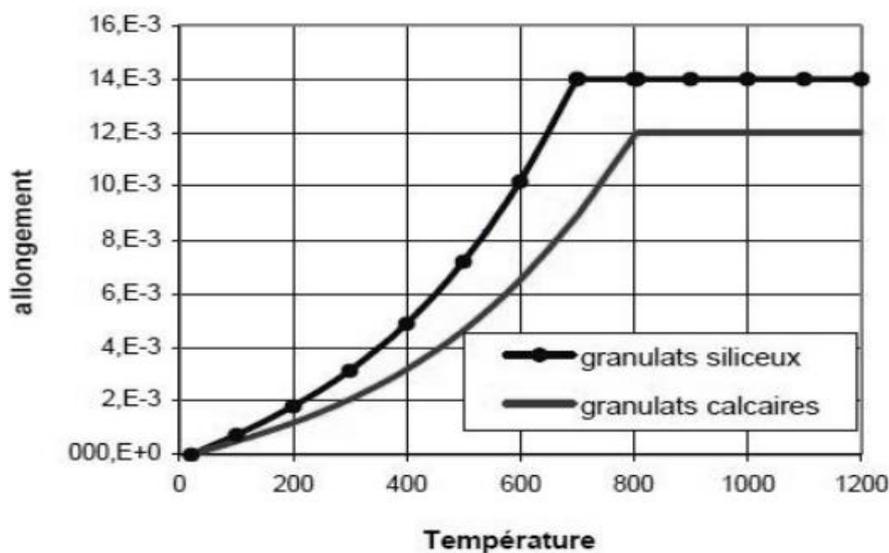


Figure 2.3 : Dilatation du béton en fonction de la température



Simulation thermique

Selon [10] la dilatation du béton à granulats calcaires augmente lentement avec l'évolution de la température jusqu'à atteindre 800 C° où la dilatation devient constante malgré l'augmentation de température.

De la même façon pour le béton siliceux mais avec plus d'allongement qui atteint les 14.E-3 puis devient constant.

2.4 Chaleur spécifique du béton :

La variation de la chaleur spécifique $c_p(\theta)$ du béton en fonction de la température et de la teneur en eau est illustrée à la figure [2.4].

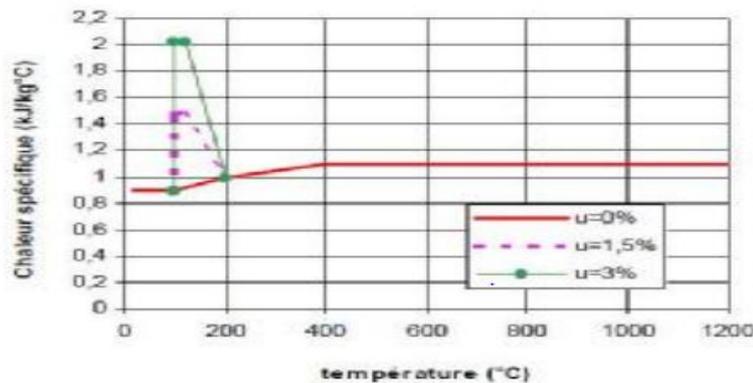


Figure 2.4 : Chaleur spécifique du béton, $c_p(\theta)$ en fonction de la température pour 3 teneurs en eau

Le pic observé entre 100 et 200 °C correspond à la chaleur nécessaire pour évaporer l'eau contenue dans le béton. Puis la chaleur spécifique augmente linéairement jusqu'à atteindre le 1.5 kJ/kg C° à 400°C où elle devient constante.

2.5 Conductivité thermique du béton

La variation des limites supérieure et inférieure de conductivité thermique λ_c du béton, en fonction de la température, est illustrée à la figure [5].

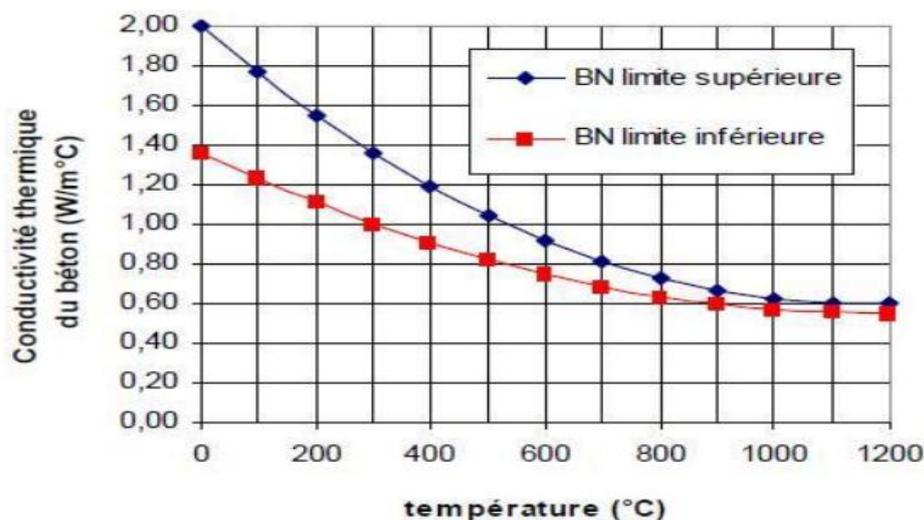


Figure 2.5 : Variation des limites supérieure et inférieure de conductivité thermique pour les bétons normaux (BN) en fonction de la température.



Simulation thermique

La limite inférieure de la conductivité thermique a été obtenue à partir de comparaisons avec des températures mesurées dans des essais au feu de différents types de structures en béton. La limite inférieure donne des températures plus réalistes pour les structures en béton que la limite supérieure qui a été obtenue à partir d'essais sur des structures composites en acier/béton.

Les courbes de conductivité thermique font apparaître à 20 °C une conductivité thermique des bétons de calcaire inférieure d'environ 20 % à celle des bétons de silice [10].

3- Acier :

3.1 Résistance de l'acier :

Le facteur de réduction de la résistance caractéristique de l'acier de béton armé en fonction de la température θ est illustré à la figure [6].

Ce facteur varie selon le type d'acier (laminé à chaud ou à froid) et en fonction de l'allongement des aciers :

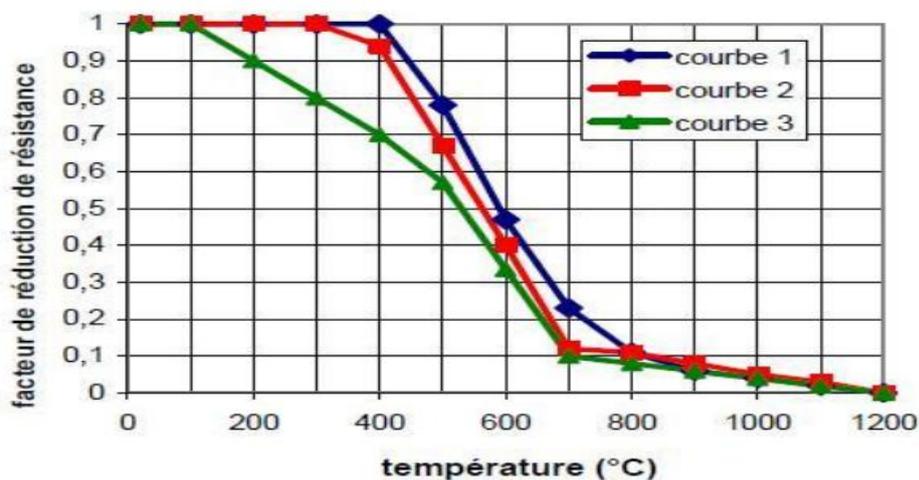


Figure 2.6 : facteur $k_s(\theta)$ de réduction de la résistance caractéristique (f_{yk}) des armatures

Courbe 1 : armatures tendues (acier laminé à chaud) pour des déformations $\geq 2\%$;

Courbe 2 : armatures tendues (acier formé à froid) pour des déformations $\geq 2\%$;

Courbe 3 : armatures comprimées ou armatures tendues pour des déformations $< 2\%$.

La différence entre les courbes 1 ; 2 et 3 est liée au fait que les résultats expérimentaux montrent que le palier de plasticité des aciers disparaît à chaud, et que donc le facteur $k_s(\theta)$ dépend de l'allongement à la rupture.

Pour la résistance de l'acier de précontrainte La diminution de résistance est beaucoup plus rapide.



3.2 Déformation de l'acier

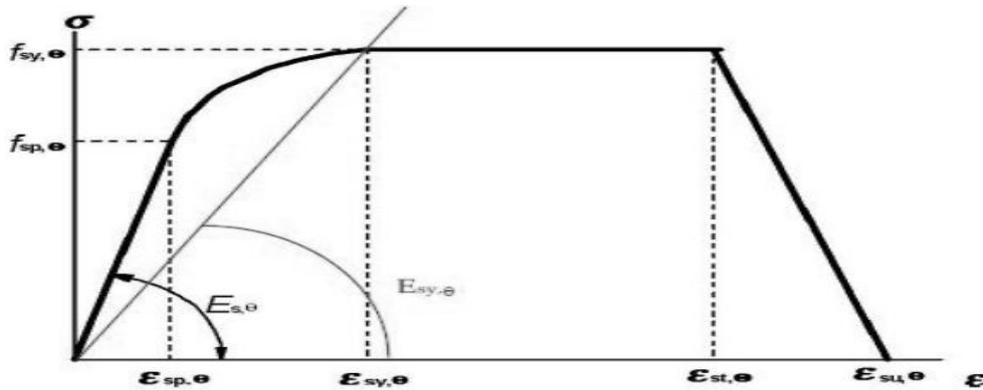


Figure 2.7 : La relation contrainte-déformation

La relation contrainte-déformation régissant le comportement mécanique est définie par les paramètres suivants :

$f_{y, \theta}$ Limite d'élasticité efficace ;

$f_{p, \theta}$ Limite de proportionnalité ;

$E_{a, \theta}$ Pente du domaine élastique linéaire ;

$\epsilon_{p, \theta}$ Déformation à la limite de proportionnalité ;

$\epsilon_{y, \theta}$ Déformation plastique ;

$\epsilon_{t, \theta}$ Déformation limite en élasticité ;

$\epsilon_{u, \theta}$ Déformation ultime.

3.3 Dilatation thermique de l'acier

La variation de la dilatation thermique $\epsilon_s(\theta)$ en fonction de la température est illustrée à la figure [8].

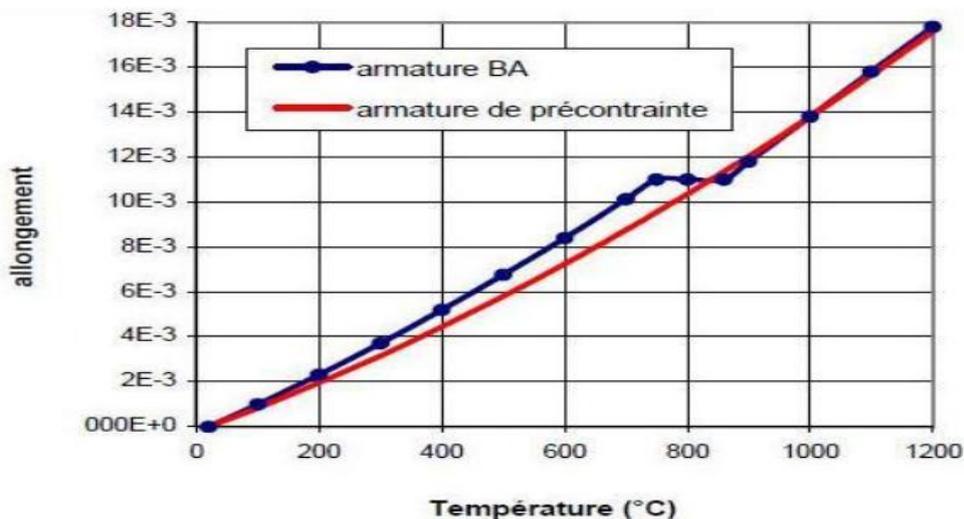


Figure 2.8 : Dilatation thermique de l'acier



Simulation thermique

Nous constatons une diminution de la conductivité thermique en fonction de l'évolution de la température jusqu'à la valeur de 800 C° ou elle présente un pallier.

3.4 Chaleur spécifique de l'acier

Les propriétés thermiques de l'acier ne sont pas définies dans l'Eurocode 2 [10]. Elles ne sont en général pas nécessaires, sauf quand le pourcentage d'acier est important. On peut se référer aux valeurs présentées dans l'Eurocode 3 [11].

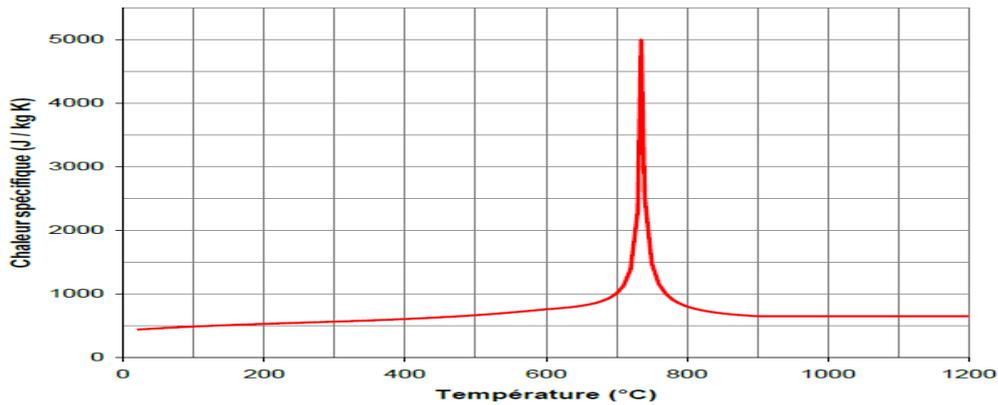


Figure 2.9 : Chaleur spécifique de l'acier au carbone, en fonction de la température

3.5 Conductivité thermique de l'acier

La variation de la conductivité thermique λ_s de l'acier en fonction de la température est illustrée à la figure [10] :

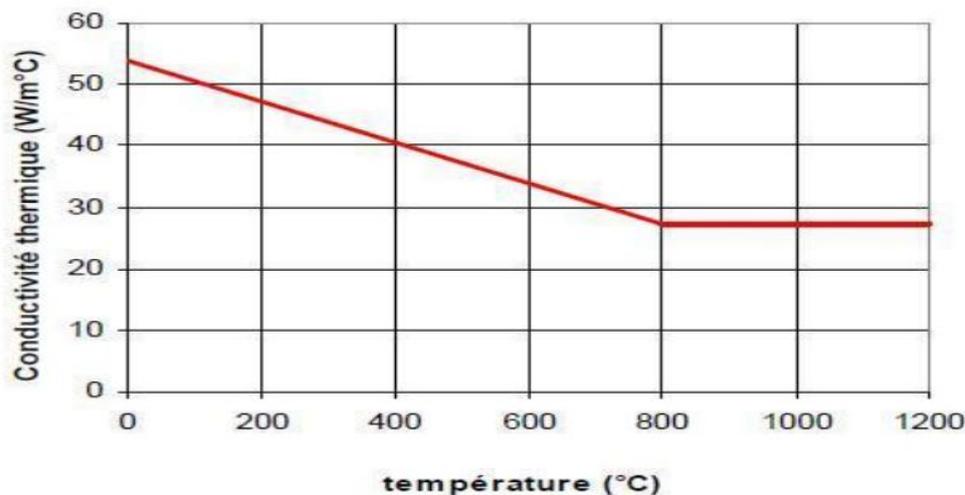


Figure 2.10 : Conductivité thermique de l'acier au carbone en fonction de la température.



4. Comportement thermique d'une construction

4.1 Introduction :

A l'exception de la résilience qui diminue les caractéristiques de résistance des aciers (limite d'élasticité, module d'élasticité) augmente légèrement lorsque la température descend au dessous de la température ambiante. Par contre, au dessus de la température ambiante la plasticité augmente et les caractéristiques de résistance diminuent.

On distingue un seuil important d'environ 500°C en dessous duquel les variations restent faibles, et au dessus duquel l'acier commence à perdre sensiblement ses propriétés de résistance.

4.2 Effet thermique :

L'élévation de température provoque une modification considérable des propriétés mécaniques de l'acier :

A 400°C, la limite d'élasticité de l'acier est ramenée à 60 % de sa valeur initiale. Il est prouvé qu'une structure acier soumise à la chaleur n'assurera plus sa fonction portante après un certain temps et s'écroulera.

La température à laquelle cette situation se produit est appelée température critique T_{cr} . Cette température critique sera différente en fonction de l'importance de la charge initiale et dépendra essentiellement du degré de contrainte admissible et de la nature de cette contrainte. Dans un but de simplification, les valeurs forfaitaires minimales de températures critiques :

- pour les poteaux : $T_{cr} = 470^\circ \text{C}$.

- pour les poutres : $T_{cr} = 550^\circ \text{C}$.

La vitesse d'échauffement d'un élément dépend de :

Caractéristiques thermo-physiques de béton.

La forme géométrique de l'élément et du flux de chaleur qu'il reçoit.

La dilatation thermique augmente linéairement jusqu'à 700°C, point de transformation de la structure cristalline. Mais dès 400°C, les phénomènes de fluage (déformation observée sous l'action d'une charge constante à une température donnée) deviennent prépondérants.

De nombreuses études ont aussi démontré que l'acier a un comportement homogène lors de son exposition à la chaleur.

L'échauffement de l'acier est également proportionnel à la surface échauffée (**S**). Cette notion est aussi capitale et influe directement sur l'architecture. En limitant les surfaces métalliques exposées, on atténue le phénomène de conductibilité thermique.

En utilisant la température de ruine (limite au-delà de laquelle une structure ne peut plus supporter la charge pour laquelle elle a été conçue) déterminée expérimentalement, on peut déterminer le temps pendant lequel la structure assurera sa fonction. Cette notion correspond en fait à la résistance au feu de la structure. Une résistance d'au moins 30 minutes est exigée légalement pour les établissements recevant du public (ERP), mais elle varie en fonction de la nature de l'activité des bâtiments.

Il existe plusieurs moyens d'augmenter la température critique ou de diminuer la température d'échauffement. Il est possible par exemple de :



Simulation thermique

Surdimensionné les éléments.

Multiplier les points d'appuis pour rendre la structure hyperstatique.

L'augmentation de la massivité de l'élément (diminution du facteur de massivité) peut conduire à une réduction de l'échauffement.

4.2.1 Transfert de chaleur (propagation de la chaleur) :

4.2.1.1 Les différents modes de propagation :

L'échange de la chaleur qui se produit entre deux corps qui sont à des températures différentes peut se faire selon trois modes :

Conduction : la chaleur se propage de proche en proche à travers la matière sans qu'il n'y ait transfert de cette dernière. La conduction se produit donc dans les solides, elle correspond à la propagation de l'énergie cinétique d'agitation thermique que possèdent les particules constituant la matière.

Convection : dans un fluide les différences de température produisent des différences de densité pouvant amener des mouvements de la matière, dits mouvements de convection. On a un transfert de matière, c'est pour cela que l'on ne rencontre pas ce moyen dans les solides.

Rayonnement : les corps émettent de l'énergie par leur surface sous forme de radiation. C'est un moyen qui n'a pas besoin du support matériel, on le rencontre donc dans les vides. Tous les corps transparents permettent à la chaleur de se propager ainsi.

4.2.1.2 La conduction : Soient deux parois distantes d'une longueur e , une à la température T_1 et l'autre à la température T_2 . On suppose que $T_1 > T_2$. La chaleur va donc se propager de la face 1 à la face 2.

Le flux thermique Φ qui traverse la surface S est égal à la quantité de la chaleur qui la traverse par unité de temps.

Il vaut donc : $\Phi = Q/t$ (J/s) ou le (Watt) tel que :

Φ est la puissance thermique.

Si on exprime le flux par unité de surface, on obtient la densité de flux δ qui vaut : $\Psi = \Phi / S$ (W/m²)

Le flux thermique qui traverse une section S du milieu de l'instant t est donné par la loi de Fourier : $\Phi = (\lambda/e)S(T_1 - T_2)$

Le coefficient λ est appelé conductivité thermique du milieu. Il s'exprime en (W/m.K)

On peut écrire l'équation ci-dessus sous la forme :

$$T_1 - T_2 = (e/S\lambda)\Phi \dots \dots \dots (1)$$

Avec l'équation (1), on peut facilement déduire la température de n'importe quel point de notre structure.



4.3 Incendie :

4.3.1 Quelques notions sur le feu :

Pour apparaître et se propager, le feu a physiquement besoin de trois éléments :

Une source de chaleur.

Un comburant, généralement l'oxygène.

Un combustible.

Sous l'action d'une source de chaleur qui atteint une température critique dite d'inflammation le feu naît de la combustion entre l'oxygène de l'air ambiant et un combustible solide, liquide ou gazeux

4.3.2 Phases d'un incendie

Un incendie (Feu) réel dans un bâtiment se développe et décroît en fonction de l'équilibre de masse et d'énergie existant dans le compartiment où il se produit Figure 1.

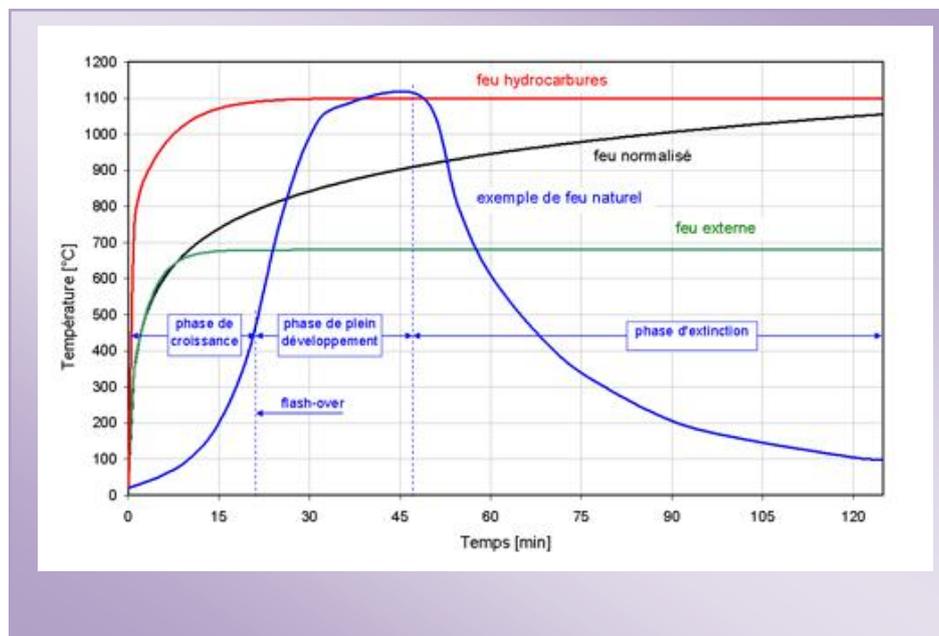


Figure 2.11 : différentes phases d'un incendie

L'énergie produite dépend de la quantité et du type de combustible disponible et de conditions de Ventilation en plus des facteurs tels que l'inertie thermique et le taux de chaleur émis

4.4.3 Température :

Les durées de résistance au feu spécifiées dans la plupart des règles de bâtiment nationales concernent le comportement à l'essai lorsque l'augmentation de température est réalisée selon un courbe temps température d'incendie " conventionnel " (ou " normalisé ") internationalement agréée et définie par :

$$T=345\log_{10}(8t+1)+T_0$$

Avec :

t- temps (minutes)

T₀- température ambiante (°C)

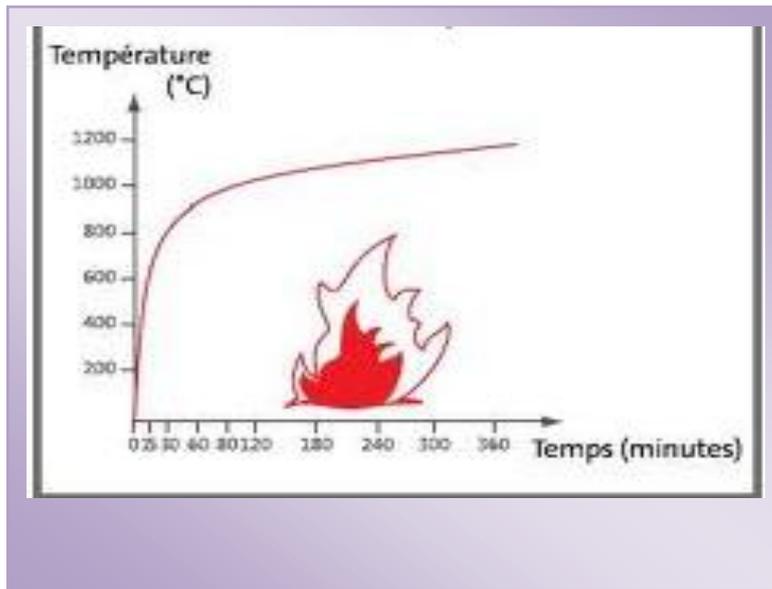


Figure 2.12 : la courbe ISO

4.4 La résistance au feu :

Les éléments de structure tels que poutres, poteaux ou murs doivent satisfaire à des critères de résistance au feu.

La résistance au feu correspond à la durée pendant laquelle les éléments de construction continuent à remplir leurs fonctions malgré l'action d'un incendie. On distingue :

4.4.1 La stabilité au feu (SF) C'est la conservation des caractéristiques mécaniques. Il est difficile d'obtenir des résistances au feu égales ou supérieures à 1/2h pour des profilés nus. On peut modifier la résistance au feu par la composition chimique. Les aciers inoxydables résistent à des températures plus élevées. On peut ajouter du molybdène, du chrome, du nickel ou du vanadium, à des doses importantes.

On peut également procéder à des protections extérieures sur les pièces finies.

4.4.2 Le degré pare-flamme (PF) : C'est l'opposition au passage des flammes.

4.4.3 Le degré coupe-feu (CF) : C'est l'échauffement de la face non exposée au foyer. Le degré de résistance s'exprime par un temps compris entre 1/4 h et 6 heures. En fonction des bâtiments qui sont classés en familles, les exigences de stabilité au feu sont différentes.

4.5 Comportement au feu :

Lorsque l'acier est soumis à une forte température, le module d'élasticité, les propriétés de résistance **Re** (limite d'élasticité) et **Rm** (limite de résistance à la traction) diminuent avec la chaleur.

S'il est incombustible, il est un bon conducteur de chaleur.

La limite d'élasticité est nulle à 1000°C. Ce qui signifie une déformation importante puis un effondrement. La température critique est comprise entre 450 et 800°C selon les types d'aciers.



Simulation thermique

4.6 Facteurs influents le comportement d'incendie : de l'acier sous l'effet d'incendie :

4.6.1 Propriétés thermique de l'acier :

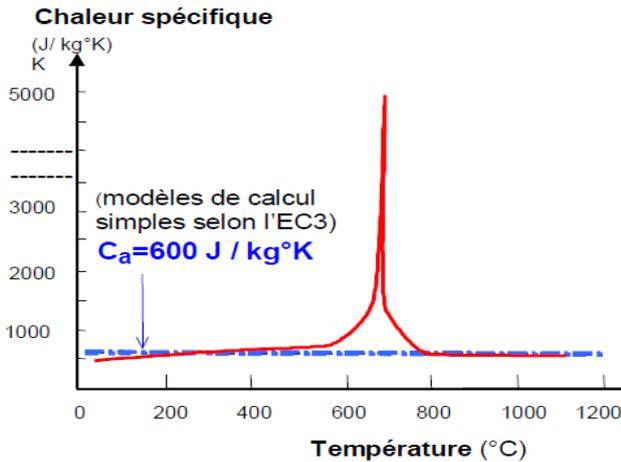


Fig2.13: variation de la chaleur spécifique
De l'acier en fonction de la température

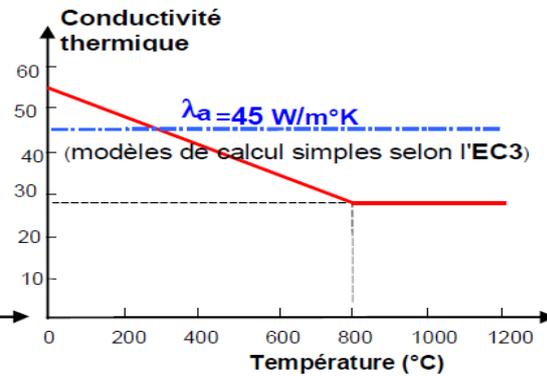


fig2.14:représentation de la variation de
la conductivité thermique

• **La chaleur spécifique C_s de l'acier :** Elle varie plus ou moins avec la température dans la plus grande partie de la plage, comme on le voit dans la Figure3, mais sa valeur subit une modification très importante dans la plage de 700-800°C.

• **La conductivité thermique :** Une version simplifiée de la modification de conductivité avec la température, définie dans l'EC3. L'utilisation de la valeur constante

Sécuritaire de 45W/mK est autorisée des calculs de conception simples.

4.6.2 Propriétés mécaniques de l'acier:

- La masse volumique de l'acier est de $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ et ne varie pas avec la température
- La déformation de l'acier à hautes températures s'exprime par une variation de déformation.
- Pour des températures ambiantes, le coefficient de dilatation est généralement :

$$\alpha = 11.7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}.$$

- Pour des hautes températures la valeur du coefficient augmente et une rupture se produit entre 700 et 800°C.

- la figure5 présente une elongation thermique de l'acier DL/L pouvant être approximer par une fonction linéaire de la température $T(^{\circ}\text{C})$ donnée par :

$$DL/L = 14 \times 10^{-6} (T - 20).$$

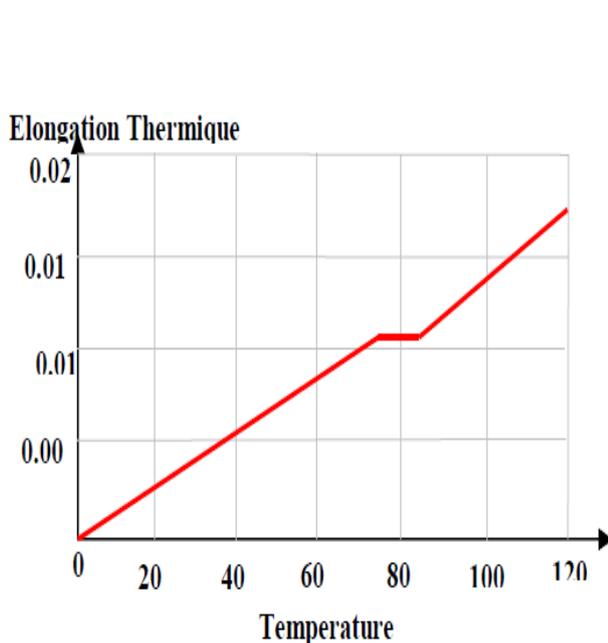


Fig 2.15 : variation de

L'élongation/ température ⁽¹⁾

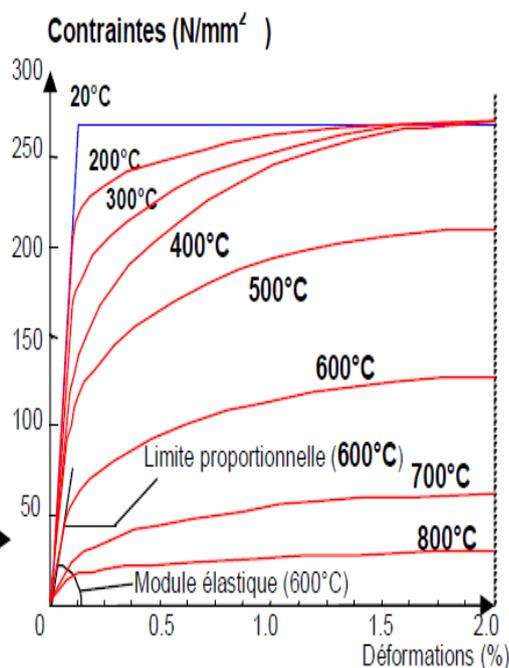


fig 2.16 : réduction contrainte-déformation

fonction de la température pour l'acier S275⁽¹⁾

La diminution du module d'élasticité E est d'une même allure que celle de la réduction de la contrainte limite et la figure 6 donne des courbes de diminution de la contrainte limite et du module d'élasticité de l'acier en fonction de la température jusqu'à 1000°C.

Pour l'acier, on peut voir une perte progressive de résistance et de rigidité au fur et à mesure que leur température augmente. Dès que les températures modérées de l'ordre de 300°C sont atteintes.

Bien qu'il ne se produise aucune fusion avant 1500°C, seule 23% de la résistance à température ambiante ne subsiste à 700°C.

A 800°C cette résistance se réduit à 11% et, à 900°C, à 6%.

4.6.3 Propriétés physiques de l'acier :

Chaque élément a des avantages et des inconvénients. Un avantage indéniable de l'acier est qu'il est incombustible.

Autre avantage de l'acier, il dispose d'une bonne ductilité, c'est à dire une capacité à se déformer et à absorber une énergie sans rupture. Cette caractéristique est principalement employée dans le domaine parasismique.

Cependant l'acier a une forte conductibilité thermique. Cela signifie que sa température augmente rapidement lors d'une exposition à la chaleur.

Lors d'un incendie, l'exposition des structures métalliques peut être le fruit de deux phénomènes: le rayonnement thermique des flammes et la convection, c'est à dire le déplacement des masses des gaz chauds.



Simulation thermique

Tous les matériaux de construction voient leur résistance diminuer sous l'effet d'une augmentation de la température.

A compter de 500°C, l'acier perd ses capacités portantes, la référence étant la capacité élastique de l'acier.

Pour avoir une résistance au feu d'une heure ou plus, un élément d'acier doit normalement être protégé par une enveloppe isolante qui maintiendra sa température en-deçà du point critique.



Chapitre 3 : modélisation thermique

1 Étude de l'influence de l'inertie de local sur le confort thermique :

1.1 Description du locale étudiée

la structure porteuse de la majorité des habitations courantes est de type filaire en béton armé, les toitures sont des toitures –terrasse lourdes, l'isolation thermique, lorsqu'elle existe est de lame d'air entre les deux parois, les planchers bas sur terre pleine ou vide sanitaire, les baies vitrées sont presque toujours constituées d'un simple vitrage avec un cadre en bois.

Le bâtiment simulé est une mono zone de 16 m^2 de surface habitable et de hauteur de 4m construit sur terre pleine et dont les caractéristiques thermiques des parois de constituant sont résumées dans les tableaux suivants.

Les murs extérieurs sont des parois doubles en brique ou parpaing avec lame d'air

La toiture est une dalle à hourdis

Plancher bas est une dalle en béton sur terre pleine

La fenêtre est à simple vitrage d'une épaisseur de 4mm d'une conductance hors résistance superficielles égale à 5 W/m^2 et de facteur de solaire égale à 0.4 avec un cadre en bois de dimension $1.5 \times 1.00 \text{ m}$

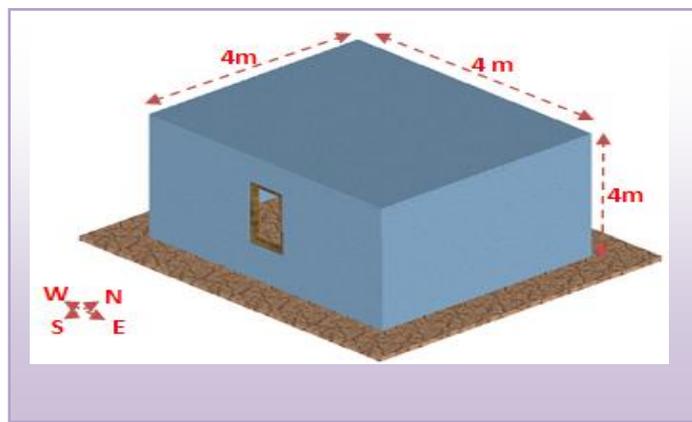


Fig 3.01 LES DIMENSIONS DE LA CELLULE ETUDIÉE



Simulation thermique

a/Cellule d'inertie lourde

Les caractéristique thermo physiques sont regroupés dans le tableau suivant :

Paroi	Matériau	λ (W/m °C)	ρ (Kg/m ³)	Cp (KJ/Kg °C)	e (cm)
Murs extérieurs	Enduit ciment	1.15	1800	1	1
	Brique argile	1.23	1300	0.79	15
	Air	0.14	1	1.23	5
	Brique argile	1.23	1300	0.79	10
	Enduit plâtre	1.26	1500	1	2
Plancher bas	Béton	1.75	2300	0.92	10
	Béton	1.75	2300	0.92	10
Plancher haut	Etanchéité supérieure	0.04	200	0.67	3.0
	Dalle de compression	1.75	2300	0.92	4.0
	HOURDIS DE 20CM	4.80	1300	0.65	20
	Enduit plâtre	1.26	1500	1	1.5

Tableau-8 les caractéristiques thermiques des matériaux constituant l'enveloppe de la cellule1

b/Cellule d'inertie légère



Simulation thermique

Tableau-9 les caractéristiques thermiques des matériaux constituant l'enveloppe de la cellule2

Pour la cellule thermiquement (inertie) légère On utilise le parpaing au lieu de brique argileux, les

Paroi	Matériau	λ (W/m °C)	ρ (Kg/m ³)	Cp (KJ/Kg °C)	e (cm)
Murs extérieurs	Enduit ciment	1.15	1800	1	1
	Brique PARPAING	3.47	1300	0.65	15
	LAME D'Air	0.14	1	1.23	5
	Brique PARPAING	3.47	1300	0.65	10
	Enduit PLATRE	1.26	1500	1	2
Plancher bas	Béton	1.75	2300	0.92	10
	Béton	1.75	2300	0.92	10
Plancher haut	Etanchéité supérieure	0.04	200	0.67	3.0
	Dalle de compression	1.75	2300	0.92	4.0
	hourdis de 20cm	4.80	1300	0.65	20
	Enduit en plâtre	1.26	1500	1	1.5

autres constituants restent comme la cellule lourde,



1.2 Évolution libre a Bechar :

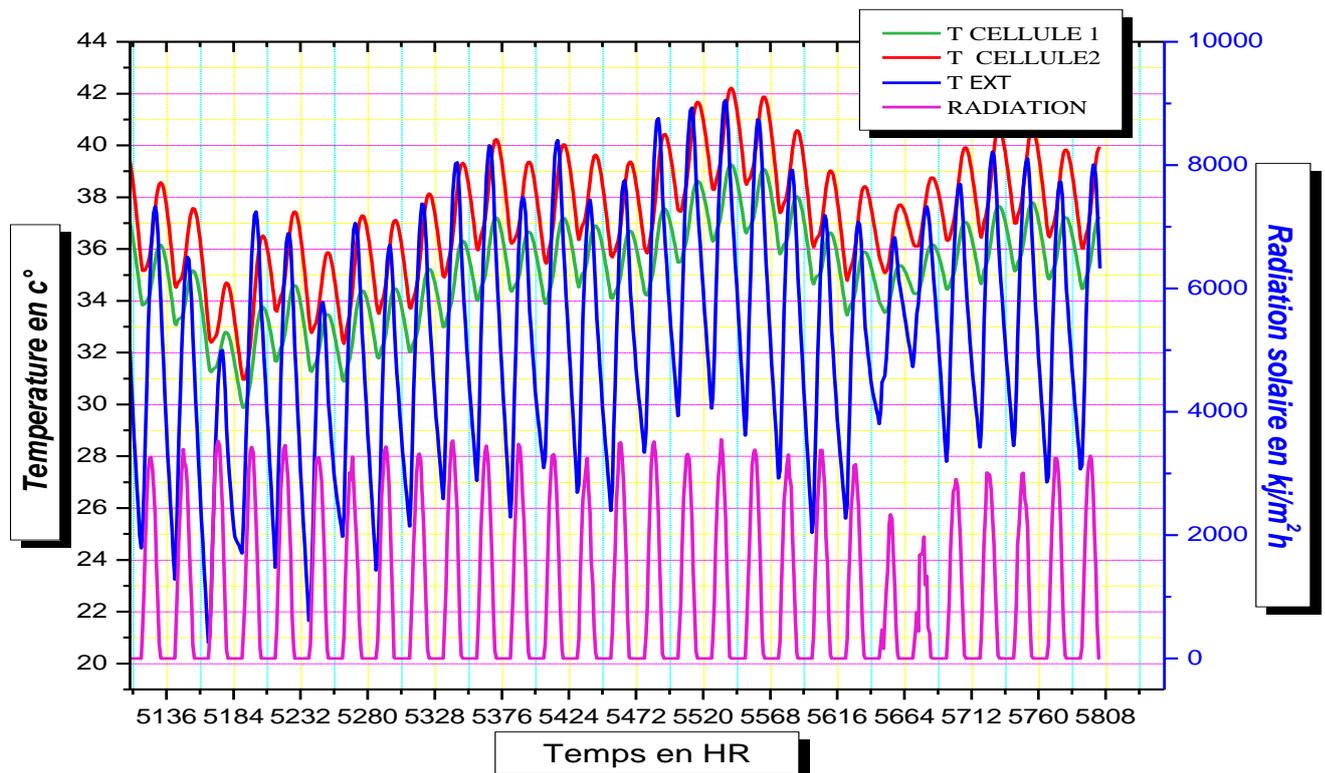


FIG 3.2 ÉVOLUTION LIBRE DE LA TEMPERATURE INTERIEURE POUR UNE INERTIE LOURDE ET LEGERE (BECHAR AOUT 1995)

La figure **Fig. 3.2** présente, l'évolution libre de la température dans la cellule1 pour une inertie lourde et la cellule 2 pour une inertie légère pendant le mois d'aout, et la température extérieure ainsi la radiation solaire de Bechar a 1995

En effet, on constate qu'en moyenne la température extérieure varie de 25 C° à 41C°

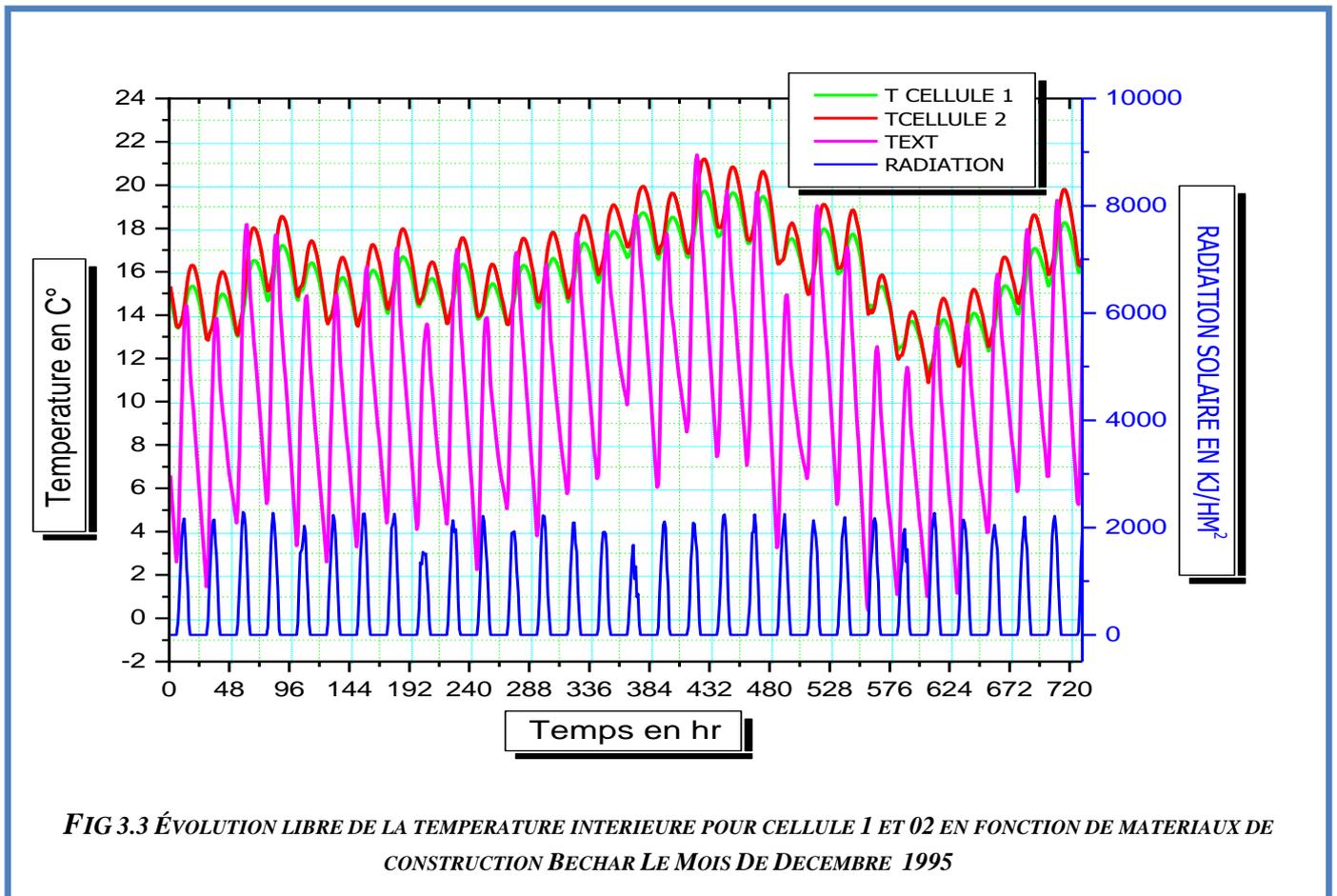
on observe de façon parfaite que plus l'inertie est faible ,plus que les fluctuations de les effets extérieurs de la température intérieure sont importantes au cours d'un mois, on constate une ecart de 5C° pour l'inertie legere et une ecart de 2 C° pour l'inertie lourde

alors que la temperature interieure pour une inertie lourde est assez stable (courbe plus aplatie)par rapport a une inertie legere

on remarque a titre de comparaison a partir de la figure pour le mois d'Aout l'ecart entre la temperature interieure d'une cellule a faible inertie et la temperature exterieure presque nulle , par contre , celle une inertie lourde est de 4C°, ce qui met en evidence la capacite de stockage de cette derniere et de meme pour la nuit .



l'hiver a Bechar :



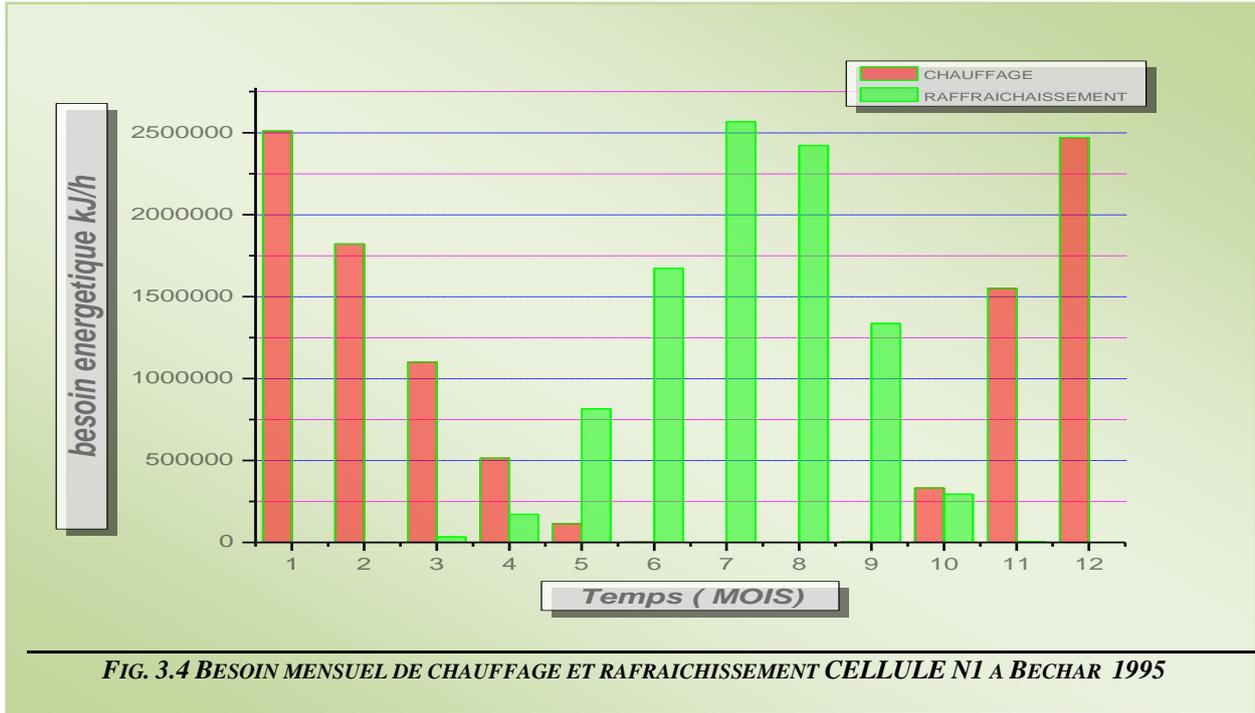
la figure 3.3 représente l'évolution libre de la température intérieure pour une inertie lourde et légère durant le mois de décembre, la température extérieure varie entre 5°C et 15°C, la température intérieure est de 13°C et 18°C pour une cellule légère et de 16°C et 17°C pour une inertie lourde, ou moment où la température extérieure maximale il fait chaud à l'intérieur de la cellule légère mais à la nuit la température intérieure des deux cellules presque la même, cela justifie par le fait que le local reçoit plus d'énergie qu'il n'en dissipe sur l'extérieur et l'inertie lourde joue le rôle de stockage l'énergie de locale.



Simulation thermique

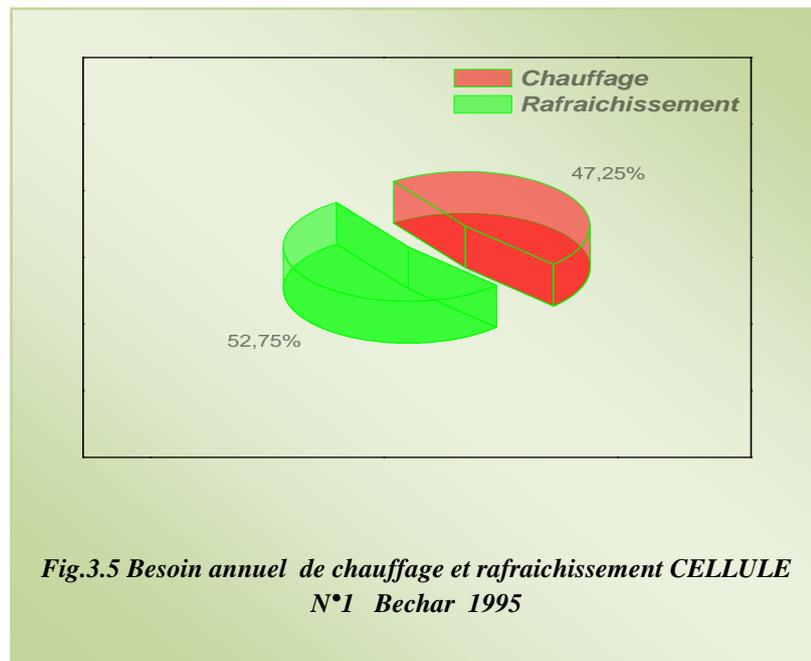
1.3 Les besoin énergétiques : cellule lourde :

La figure 22 représente la répartition des besoins de chauffage et rafraichissement d'une cellule



d'inertie lourde durant l'année 1995 à Bechar, la période e chauffage s'étale 5mois (novembre- mars) et 5 mois (Mai -septembre) pour le rafraichissement

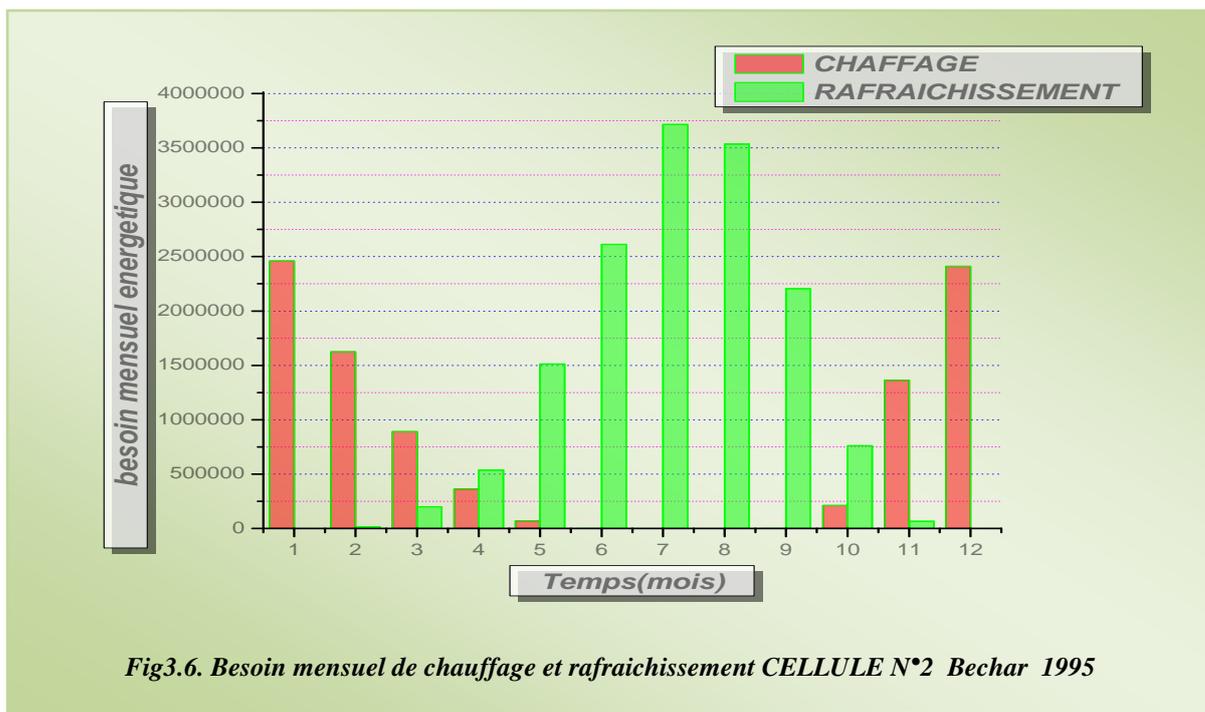
La figure 23 représente les pourcentages des besoins de chauffage et de rafraichissement, on remarque une convergence des besoins et cela justifie par la période 5 mois pour le chauffage et le rafraichissement



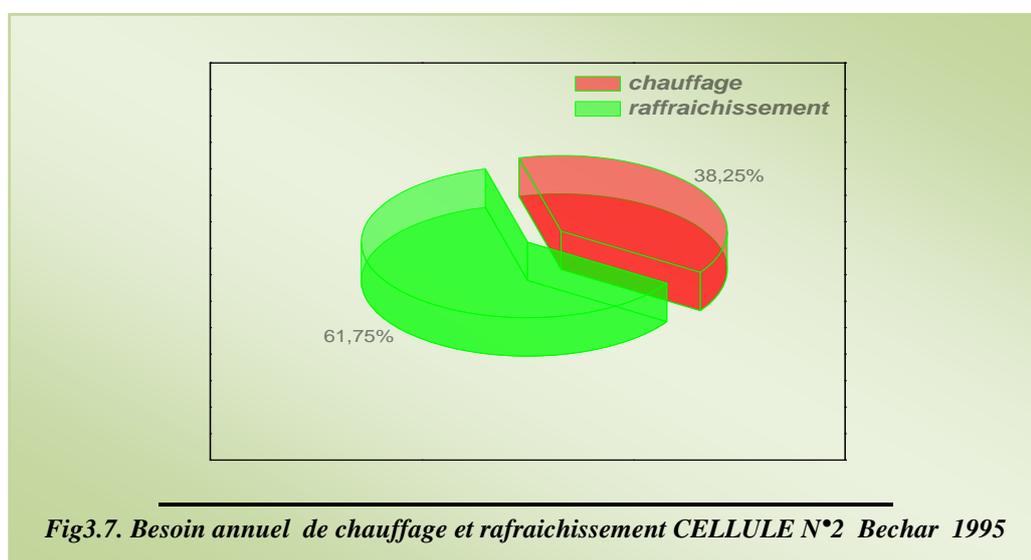
5-4 les besoin énergétiques : cellule légère :



Simulation thermique



La figure 24 représente la répartition des besoins de chauffage et rafraichissement d'une cellule d'inertie légère durant l'année 1995 à Bechar, la période e chauffage s'étale 5mois (novembre- mars) et 6 mois (Mai -octobre) pour le rafraichissement , on constate que l'inertie légère entraine une allongement tangible de la période de rafraichissement par rapport a celle qui est lourde



La figure 25 représente les pourcentages des besoins de chauffage et de rafraichissement d'une cellule d'inertie légère, on remarque une différence de 23% entre les besoins de rafraichissement et de chauffage, on constate que l'allongement de période de rafraichissement influe sur les besoins de rafraichissement.



Simulation thermique

Les besoins annuel des deux cellules

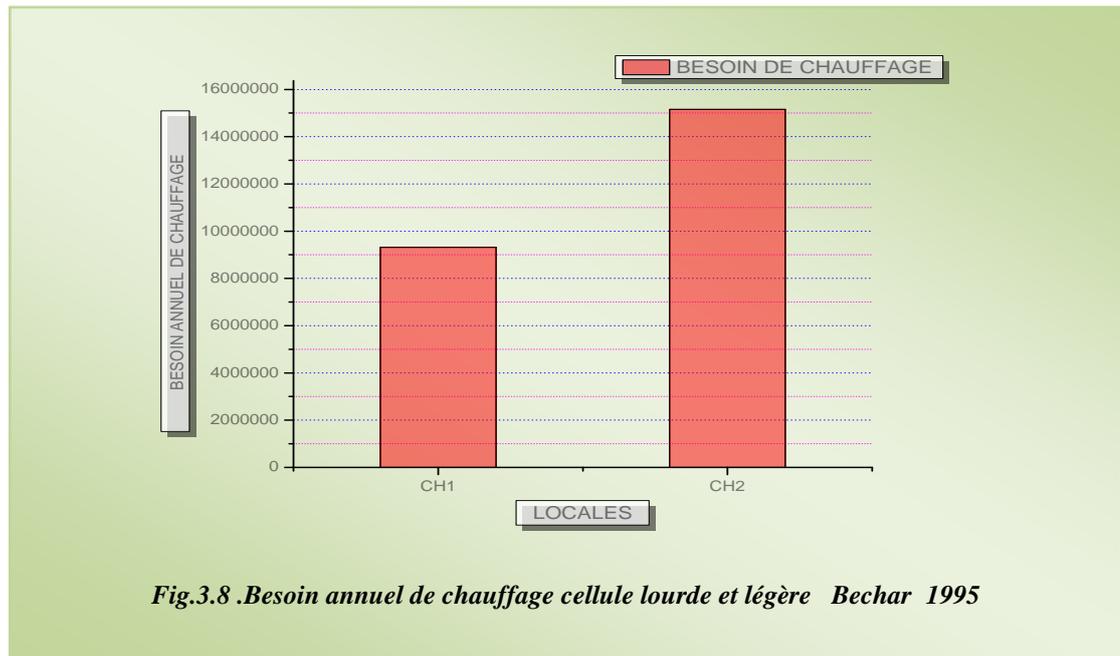


Fig.3.8 .Besoin annuel de chauffage cellule lourde et légère Bechar 1995

La figure 26 représente quant a elle l'influence de l'inertie sur les besoins de chauffage toujours a Bechar et les mêmes donnes climatique, on terme de comparaison on remarque une différence très sensible entre les deux cellules, les besoins sont 45% plus important pour la cellule d'inertie légère dans les cinq mois de chauffage (novembre-mars)

La figure 27 représente la traduction de l'allongement de la période de rafraichissement pour la cellule

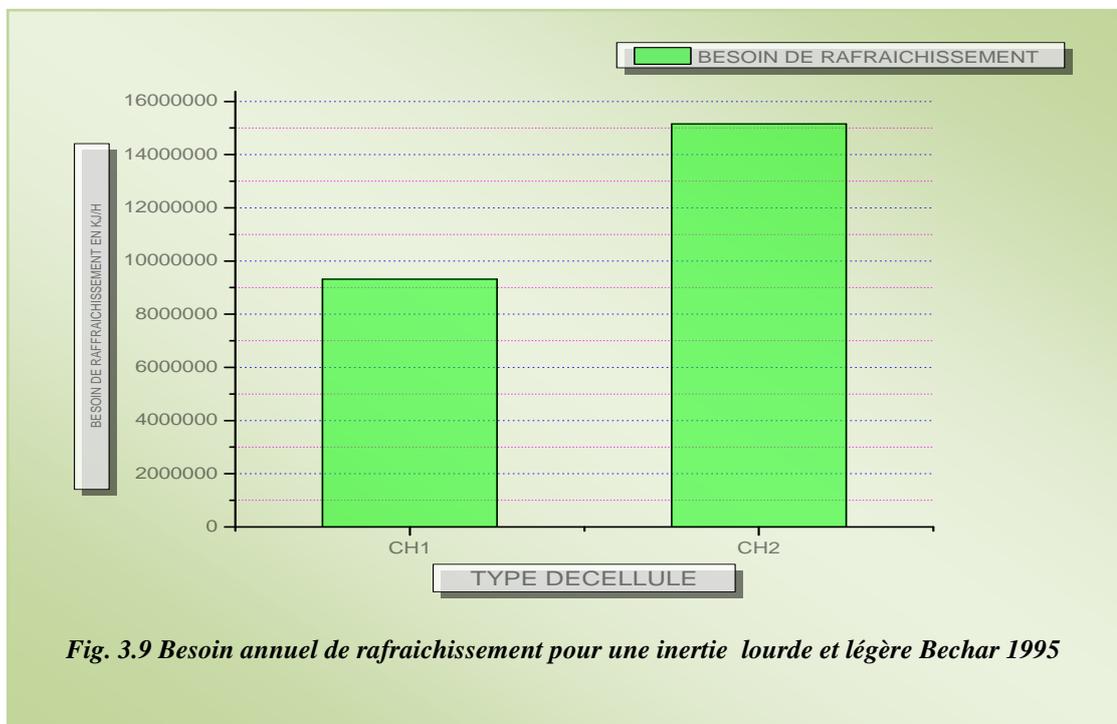


Fig. 3.9 Besoin annuel de rafraichissement pour une inertie lourde et légère Bechar 1995

d'inertie légère a 6 mois au lieu de 5 mois pour une cellule d'inertie lourde ,on remarque les besoins de 30% plus important pour la cellule d'inertie légère dans les six mois de chauffage (novembre-mars).



Simulation thermique

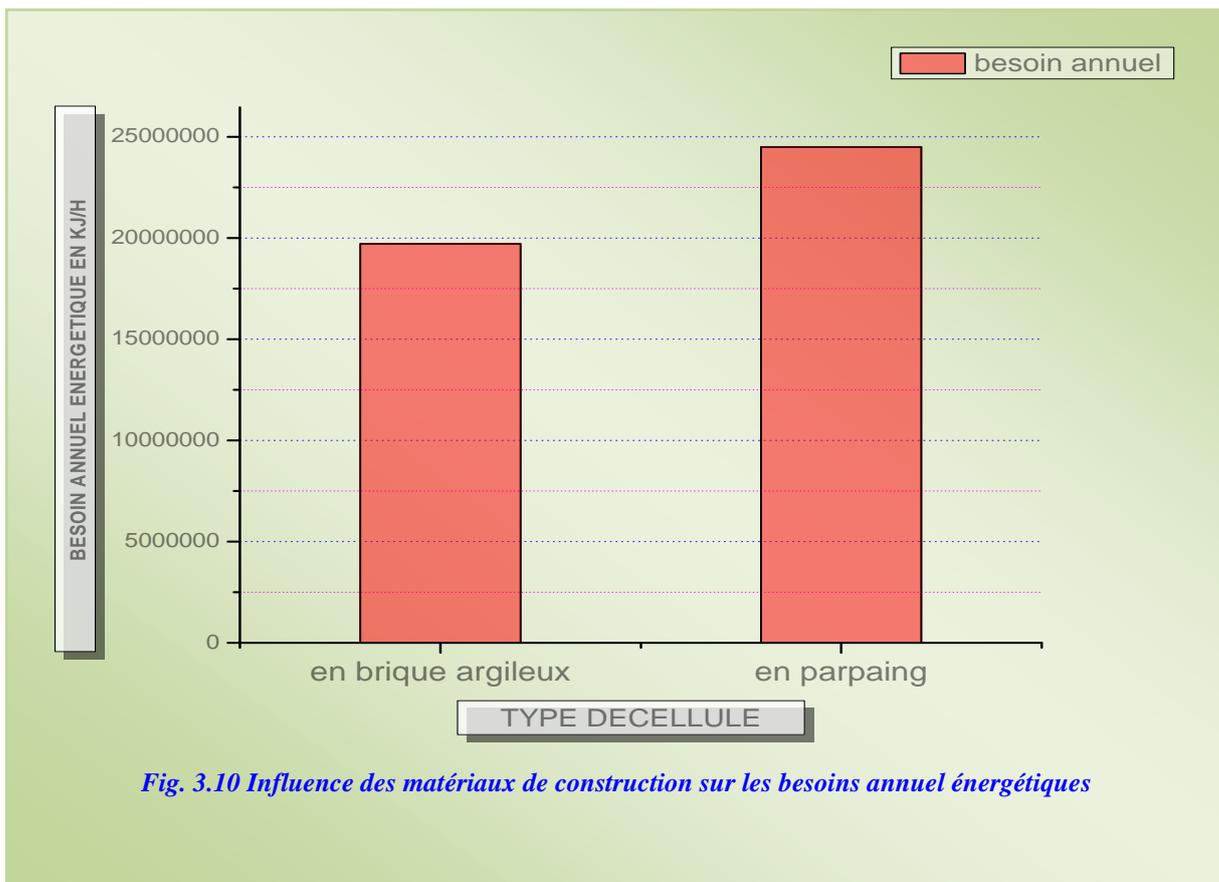


Fig. 3.10 Influence des matériaux de construction sur les besoins annuel énergétiques

La figure 3.10 représente le bilan des besoins énergétiques pour les deux cellules l'une avec inertie lourde et l'autre à l'inertie légère, la différence de 20% dans les besoins globaux montre l'influence des matériaux de construction sur le confort thermique

Enfin on constate que le matériau de construction du local entraîne une amélioration des besoins annuels ce qui réduit incontestablement le coût du conditionnement



2. Étude thermique sous plateforme TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation) :

2.2. Les Outils De Simulations :

Aujourd'hui, il est devenu indispensable, pour concevoir des bâtiments neufs ou les rénover en haute performance, le recours aux outils de simulations.

L'outil de simulation thermique dynamique, permet de modéliser les bâtiments et de mesurer l'impact de chaque paramètre de la construction sur le niveau de dégradation dans le bâti.

2.3. Présentation de TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation)

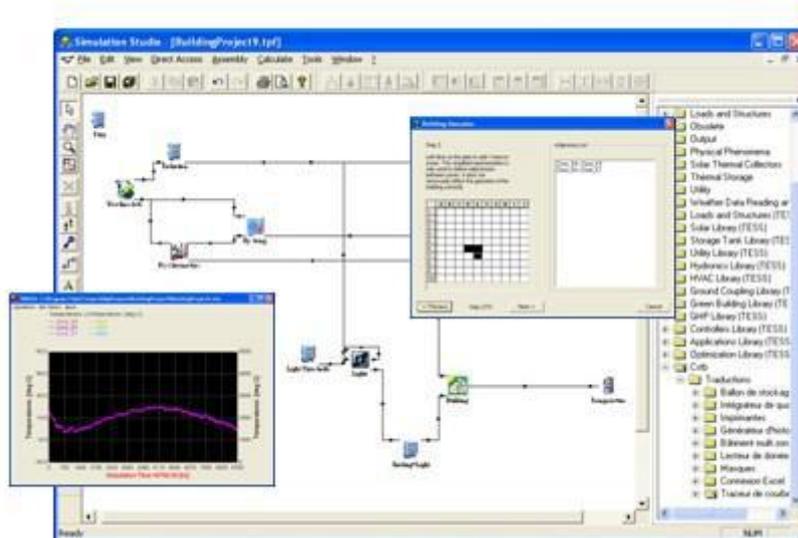


Fig 3.11 : Interface du logiciel TRNYS

TRNSYS est un logiciel de simulation dynamique, il permet le calcul des performances techniques : des bâtiments mono ou multizones des systèmes thermiques.

Ces simulations peuvent être couplées avec les conditions météorologiques, les scénarios d'occupation l'utilisation de différentes formes d'énergie.

TRNSYS évalue le niveau de variation thermique d'un bâtiment par rapport à son environnement climatique et le choix opéré sur son système thermique (type de matériaux, niveau d'isolation, orientation des pièces...).

TRNSYS évalue des systèmes de chauffage et de climatisation des plus simples au plus complexes, comme les systèmes solaires innovants, grâce à une bibliothèque de 50 familles de composants.

Données introduites :

Description du bâtiment et données météo (fournies avec le programme pour certaines villes), description des éléments du système thermique et de leur fonctionnement. Des liens existent avec certains programmes de dessin pour faciliter la saisie des données décrivant le bâtiment.



Résultats :

- Impression des différentes valeurs variables (par pas de temps),
- Visualisation sous forme d'histogrammes,
- Visualisation en temps réel de certaines valeurs de la simulation,
- Consommations mensuelles et annuelles.

Avantage:

- Grâce à son approche modulaire, TRNSYS est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de systèmes thermiques à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées).
- L'accès au code source permet aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.
- Une vaste documentation sur les sous-programmes y compris des explications, les usages usuels et les équations de base.
- Une définition très souple de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

2.4. Données introduites

2.4.1 Sites :

Pour pouvoir remarquer l'influence de choix de zone, nous allons choisir trois sites de différentes natures climatiques dont une est une zone aride, d'où :

- _ Béchar, Algérie.
- _ Ottawa, Canada.
- _ Madrid-Barajas, Espagne.

Après avoir affiché les résultats comparez plusieurs définitions très souples de la période de simulation : choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.

2.4.2 Caractéristique du bâtiment :

Nous allons choisir un bâtiment qui répond au maximum aux conditions utilisées dans les zones arides, pour cela on opte pour une cellule de quatre pièces de 5.00m de longueur, 4.00m de largeur et de 3.5m de hauteur chacune afin d'approcher les logements construits dans ces zones ;

Et aux matériaux suivants :

Mur : les murs extérieurs en double cloisons en brique rouge, un mur sur l'extérieur d'épaisseur 0.15m et le deuxième mur sur côté intérieur de 0.10m d'épaisseur, avec une lame d'air de 0.05m.

Pour les murs de séparation entre les pièces on va utiliser des murs en briques rouges de 0.10m d'épaisseur.

Fenêtre : sur chaque face on va implanter une fenêtre de dimension 1.00x1.20m en verre double.

Plancher : à corps creux en hourdis 0.16m.



2.5 Application numérique

L'application du programme TRNSYS est comme tout autre programme visuel ;

2.5.1 Lancement du programme :

Après avoir installé le logiciel de TRNSYS, en le lance du raccourci comme il figurer dans le (fig.....).



Figure

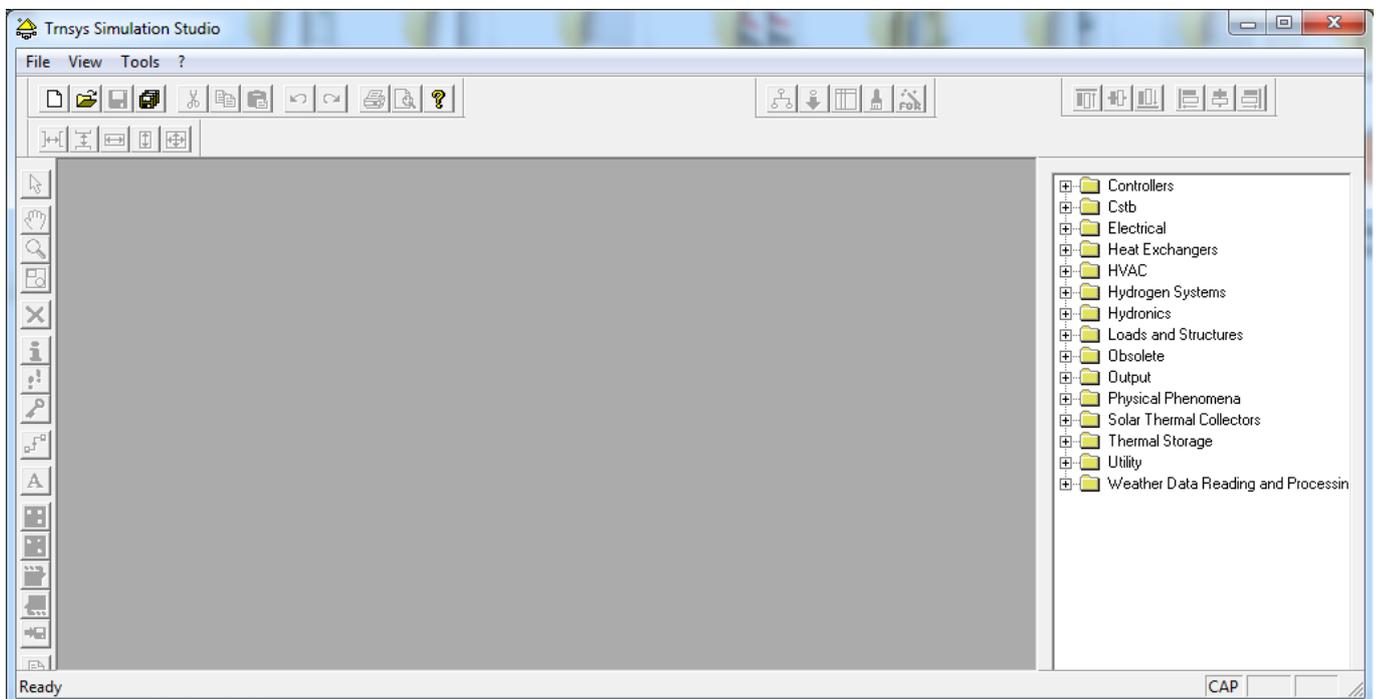


Fig 3.12 : la fenêtre principale

représente la fenêtre principale d'où il y'a le menu principal et les commandes principaux du présent logiciel.



Simulation thermique

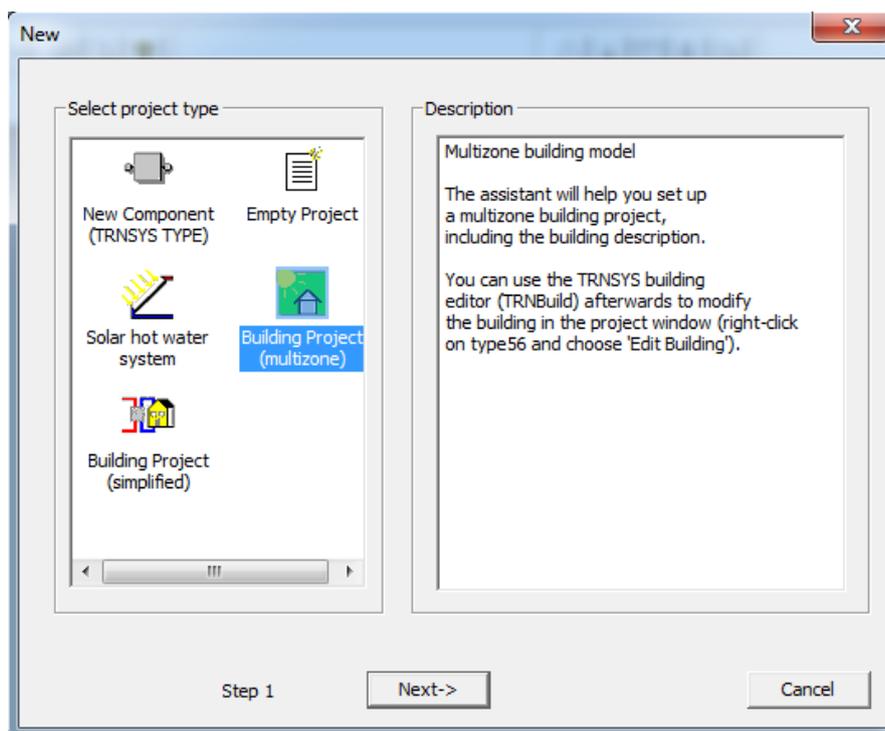


Figure 3.13 : fenêtre de nouveau projet.

En clique dans le menu « **file** » puis sur la commande « **New** » la fenêtre ci-dessus s'apparaitre, Comme nous somme devant un projet de bâtiment nous allons choisis l'icône « **Building Project (multizone)** », et en clique **Next**

2.5.2 Dimensionnement :

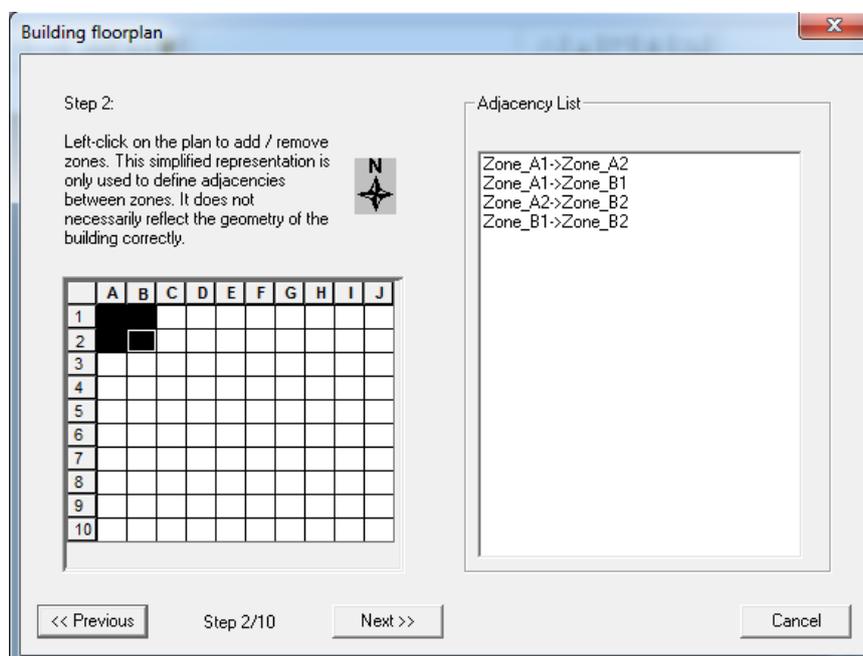


Figure 3.14 : représentation des zones

Cette étape est une simple représentation des zones avec des cliques gauches pour sélectionnés des cellules, et pour définir le voisinage des zones choisis.

Une fois on a sélectionné toutes les zones voulez, la liste des zones voisines ce manifeste sur une liste a droite de la fenêtre, une fois on a terminé cliquer le bouton **Next**.



Simulation thermique

Nb : les zones choisies ne représentent pas forcément la géométrie exacte des zones.

Zone properties

Step 3: Define zone dimensions

Select the zone you want to modify in the plan and edit the values below.

Name:

Zone dimension

Height: [m]

Width: [m]

Depth: [m]

Volume: [m³]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

<< Previous Step 3/10 Next >> Cancel

Figure 3.15 : dimensionnement des zones

Cette fenêtre est pour définir les dimensions des zones tout en sélectionnant la zone à dimensionner, en fait faire l'entrée ou modifier (hauteur, largeur et profondeur) et le volume sera calculé automatiquement.

Zone properties

Step 3: Define zone dimensions

Select the zone you want to modify in the plan and edit the values below.

Name:

Zone dimension

Height: [m]

Width: [m]

Depth: [m]

Volume: [m³]

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

<< Previous Step 3/10 Next >> Cancel

Figure 3.16 : dimensionnement des zones (suite).

En cours de la saisie des dimensions cette étape nous permet de vérifier les dimensions entrées avec leur voisinage avec son affichage automatique de dimension du voisin.



Simulation thermique

2.5.3 Introduction des données climatiques :

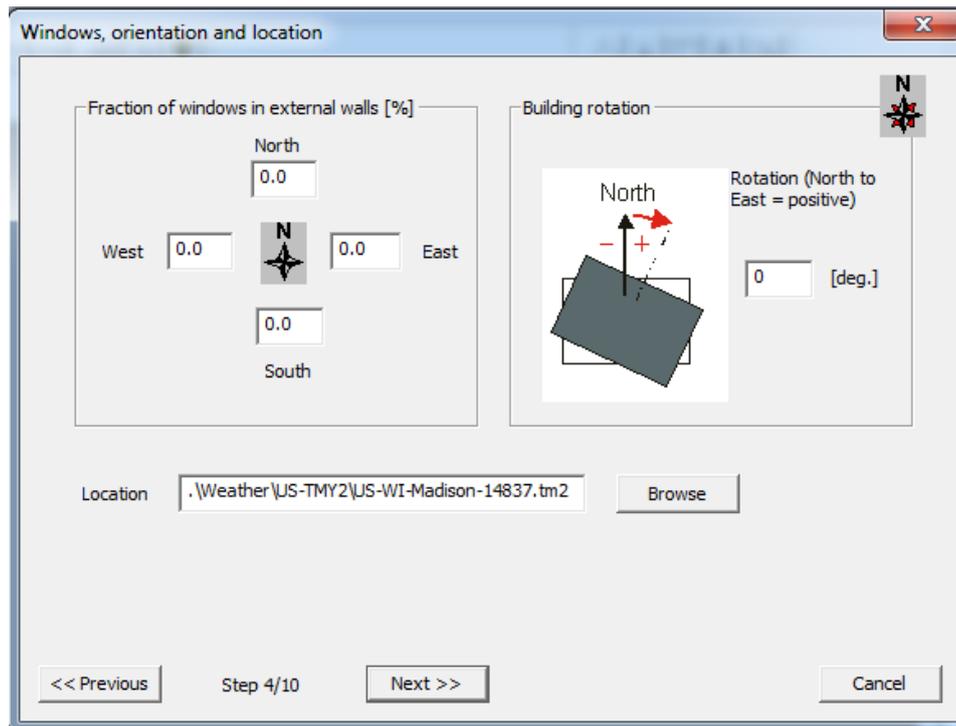


Figure 3.17 : orientation et localisation des zones.

La fenêtre est consacrée à l'orientation de la zone et l'inclinaison des fenêtres, et pour choisir la localité à étudier en cliquant sur bouton Browse...

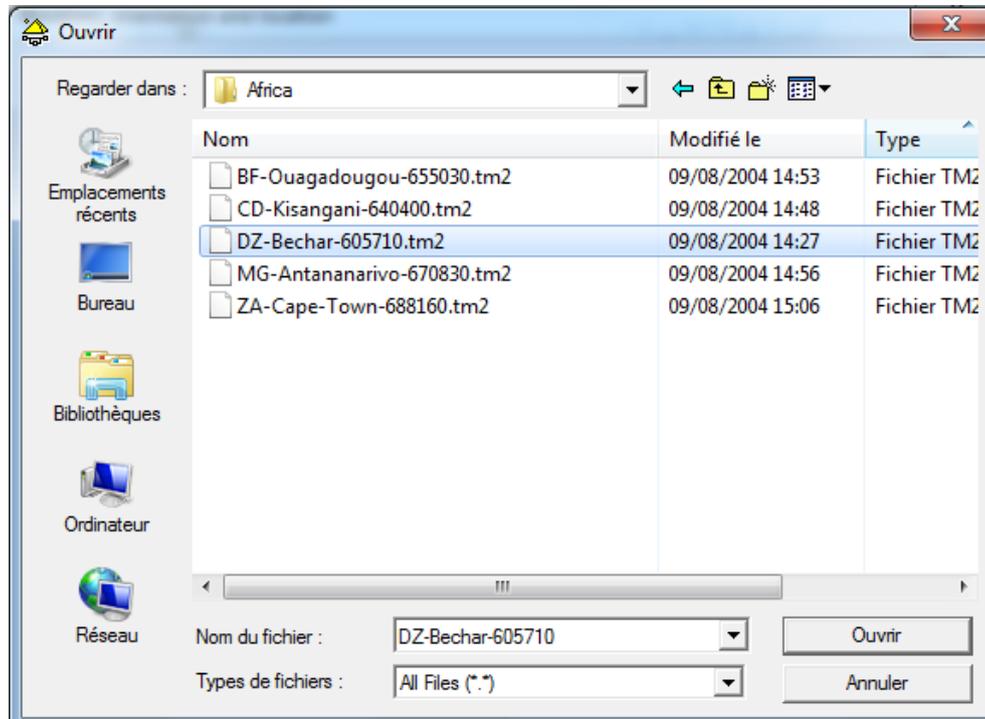


Figure 3.18 : introduction du fichier météo.

En sélection le fichier météo de localité choisie à partir de **Meteonorm**, du TRNSYS



Simulation thermique

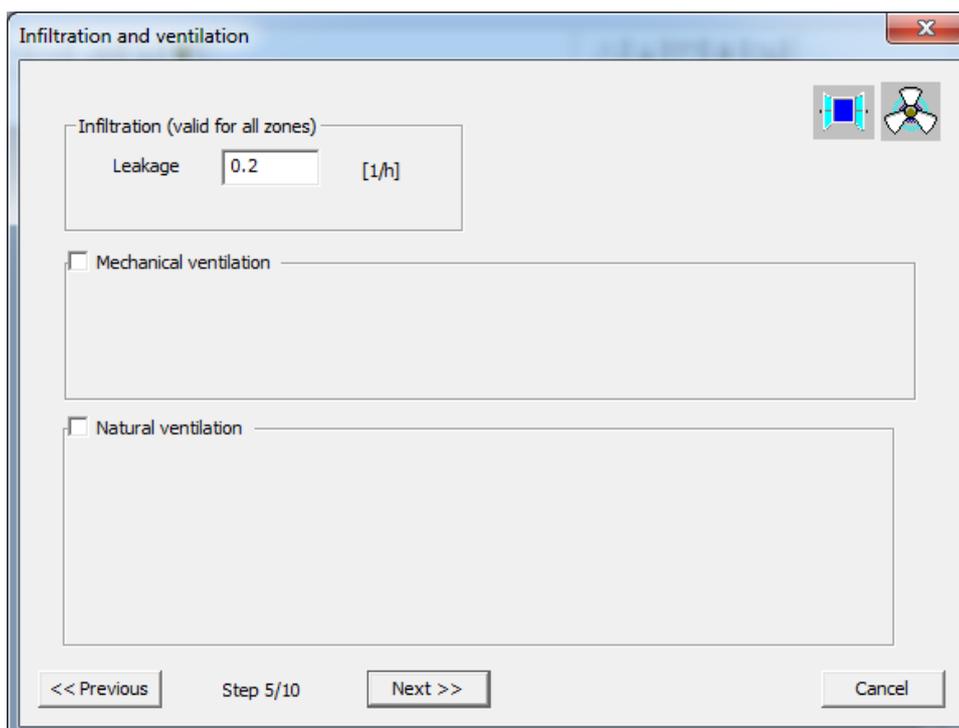


Figure 3.19 : fenêtre infiltration et ventilation.

Nous allons laisser toutes les autres valeurs standard des infiltrations et ventilation jusqu'à l'étape 10/10.

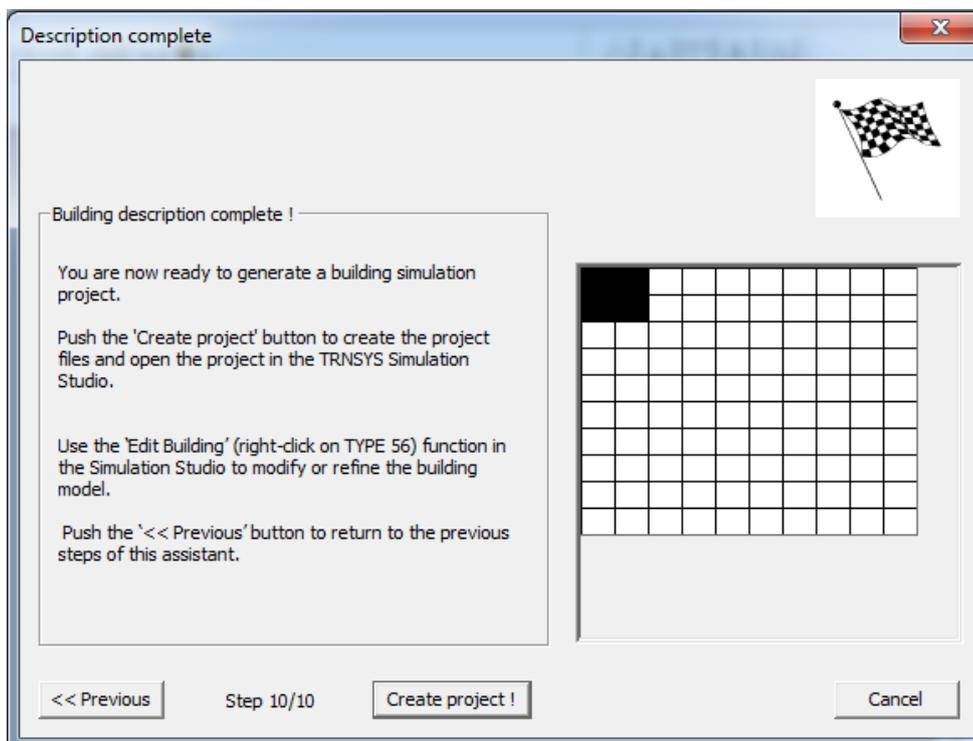


Figure 3.20 : fenêtre de l'achèvement de création du projet.

Après avoir complété la description des zones, en clique le bouton **Create project !** Pour visualisé le projet.



Simulation thermique

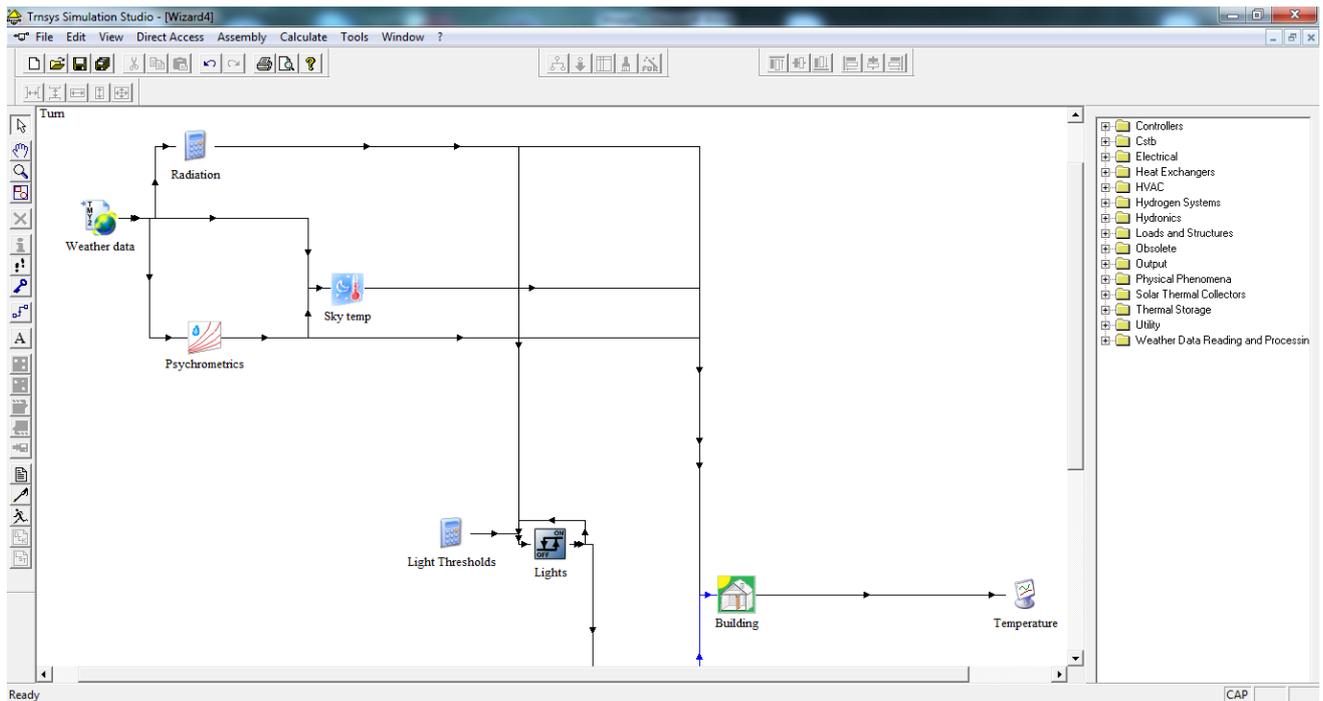


Figure 3.21 : représentation visuel du projet.

La représentation de notre projet s'affiche sous forme d'icônes reliés entre eux par des liens ; les icônes représentent le bâtiment et les autres facteurs intervenants et qu'on effet sur notre système construit. Dans chaque représentation certains liens (les flèches) s'apparaitre en bleu, veut dire que les composants ont besoins à des informations ou instructions pour pouvoir valider les résultats. Et ce avec la bi-clique sur la flèche bleu correspondent.

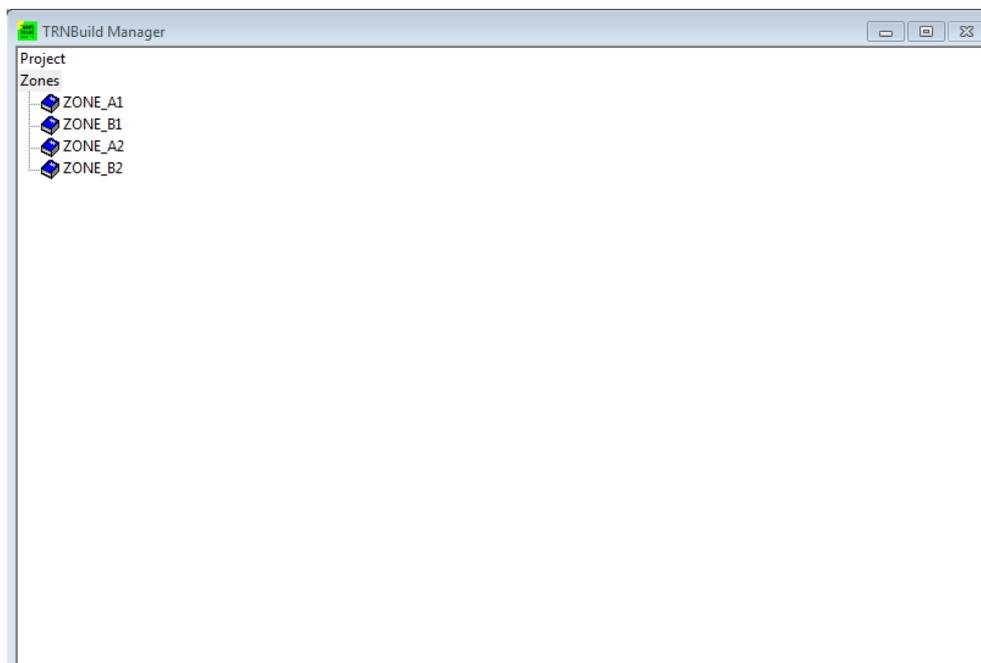


Figure 3.22 : affichage des zones créent.

L'application **TRNBuild** s'apparaitre avec une fenêtre qui affiche les zones construites.

Pour toute modification éventuel dans une zone en matière des matériaux ou d'ajouter des ouvertures ...etc en clique sur la zone a modifié.



Simulation thermique

2.5.4 Définition des matériaux :

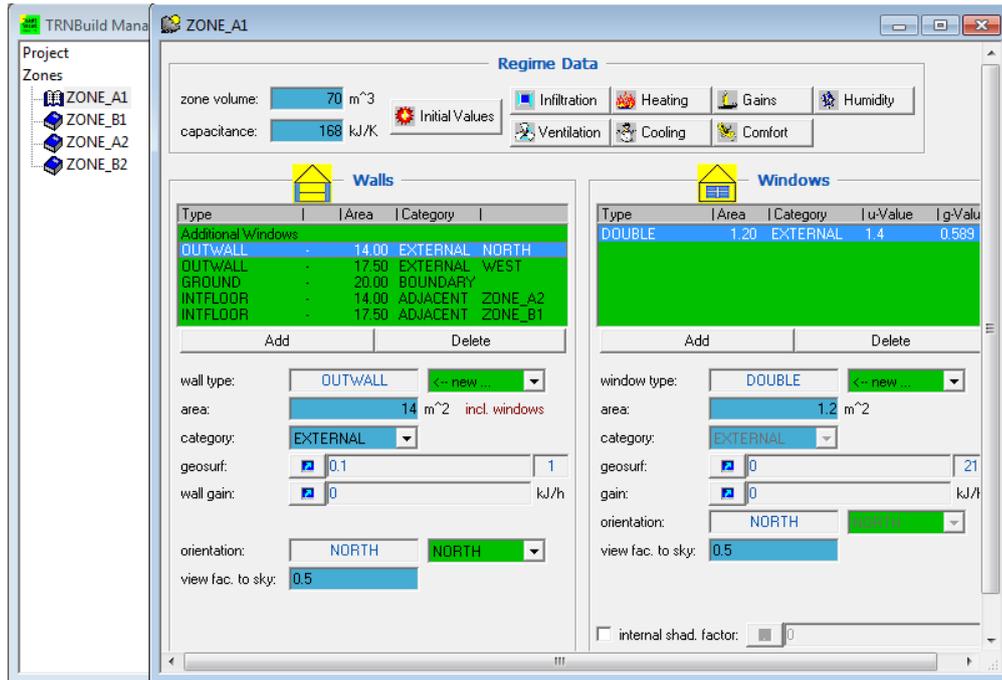


Figure 3.23 : compositions des zones.

Après la sélection d'une zone, une fenêtre au nom de la zone s'affiche avec des données introduites par défaut pour les matériaux et sur la base des données saisi préalablement pour les dimensions de la zone considérée. D'où on peut changer les matériaux de construction, ou ajouter des ouvertures, et d'autres paramètres qui peuvent influer sur les résultats.

2.5.5 Affichage des résultats:

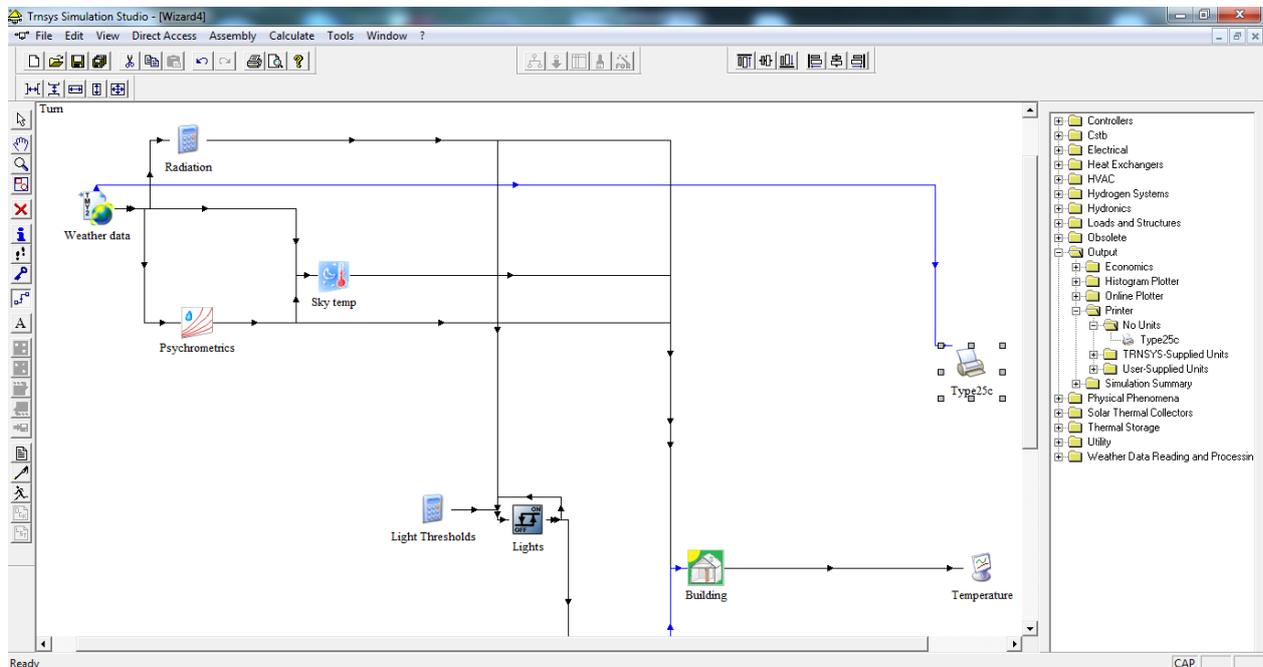


Figure 3.24 : pour afficher les résultats ?

Pour l'affichage des résultats et le choix des variantes à afficher on choisit l'icône **Output** sur la liste qui manifeste à droite de la fenêtre puis la commande **Printer** et **No Units**, et fait glisser l'icône **Type25c** sur la fenêtre d'affichage des icônes du projet.



Simulation thermique

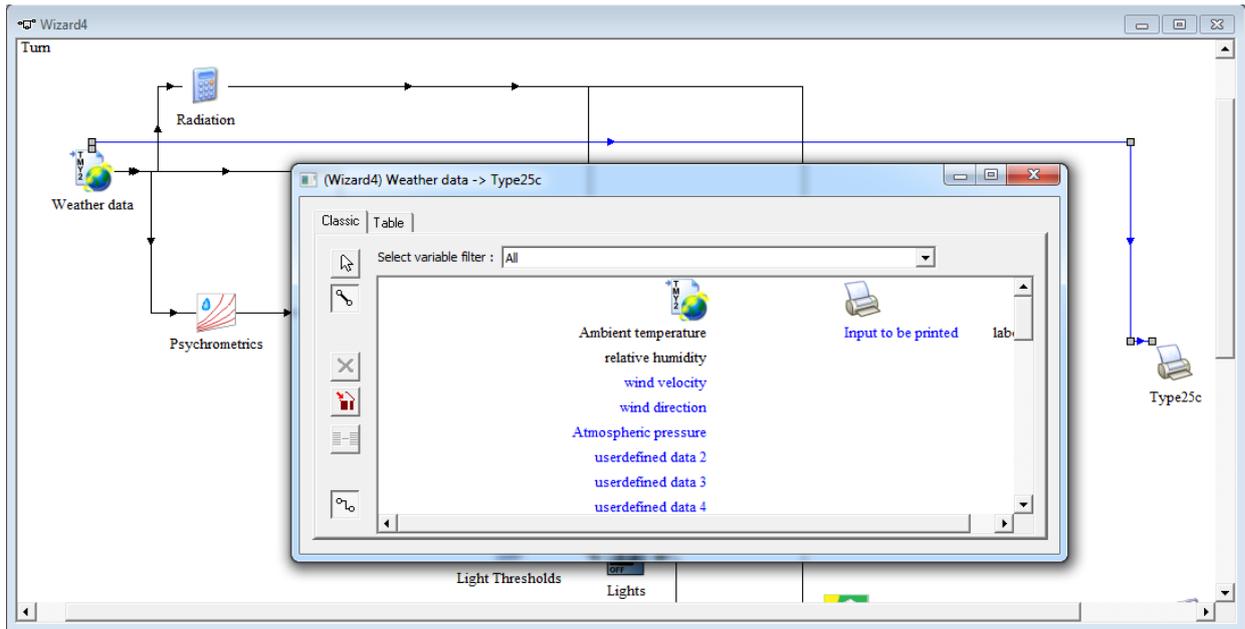


Figure 3.25 : facteurs résultat à afficher.

Cliquer deux fois consécutif sur la ligne bleu relie l'icône **Weather data** et l'icône **Type25c** pour pouvoir choisir les facteurs à afficher (résultats), en relie le facteur à afficher avec **Input to be printed**.

Après avoir introduire toutes les données nécessaires. Appuyant sur la touche F8 du clavier pour lancer la simulation à l'aide de TRNEXE. Pour afficher les résultats de chaque zone.

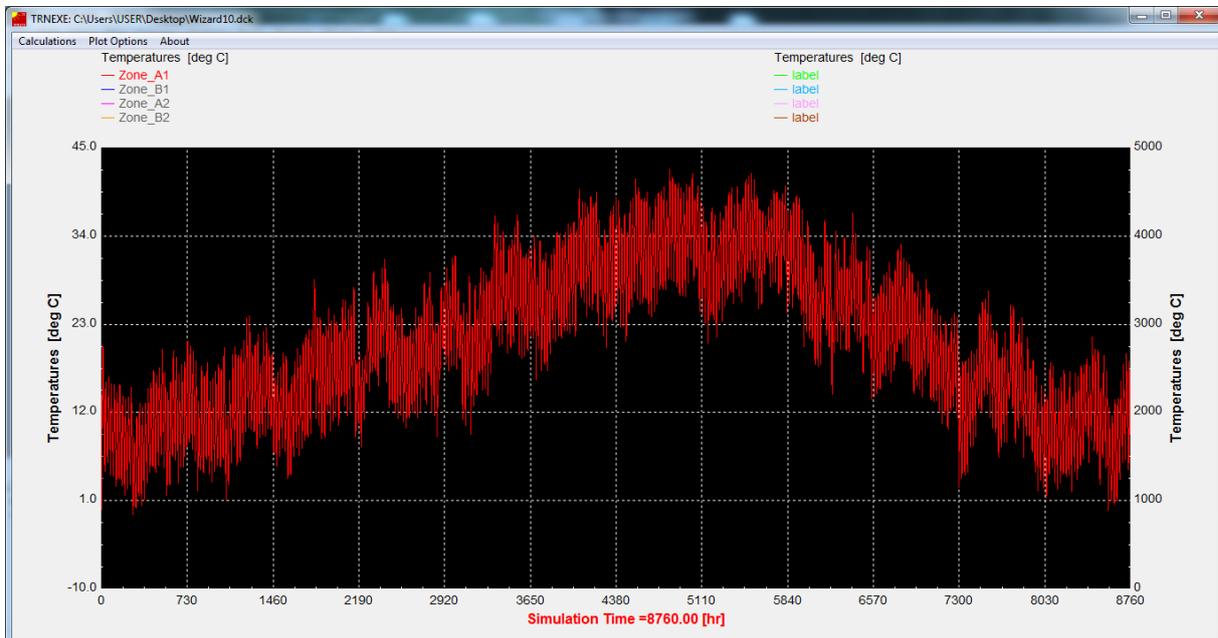


Figure 3.26 : Température annuel à Béchar.

« Le site de Béchar Algérie »

Cette figure représente la variation de température dans le site de Béchar, une zone saharienne considéré comme zone aride, un écart qui dépasse les 40°C entre l'été et l'hiver, une température qui peut atteindre -1°C à l'hiver et 40°C à l'été, il est à signaler que ce fichier météo c'est pour l'année 1997.



Simulation thermique

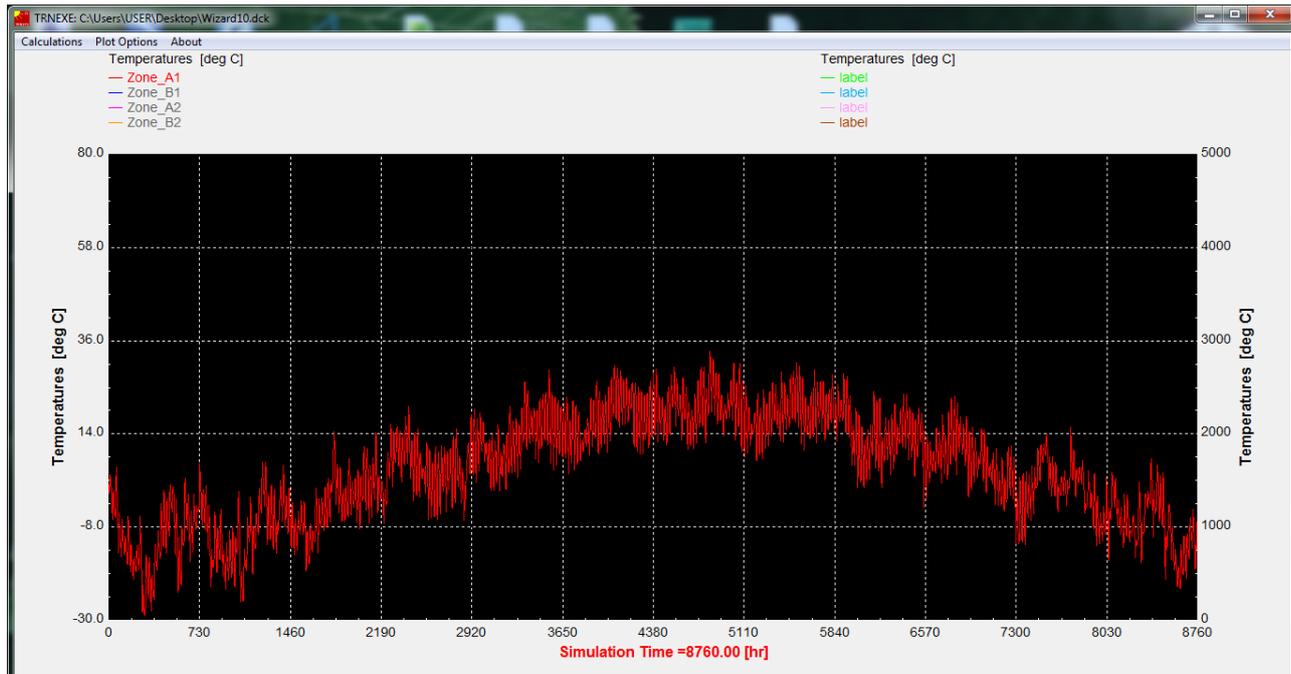


Figure 3.27 : Température annuel à Ottawa.

«Le site d'Ottawa, Canada»

Cette figure représente la variation de température dans le site d'Ottawa à Canada, il se trouve proche du Québec et c'est un site qui est proportionnellement froid, il a un écart qui atteint les 60°C entre l'été et l'hiver. Il s'abaisse jusqu'au -29°C à l'hiver et +34°C à l'été.

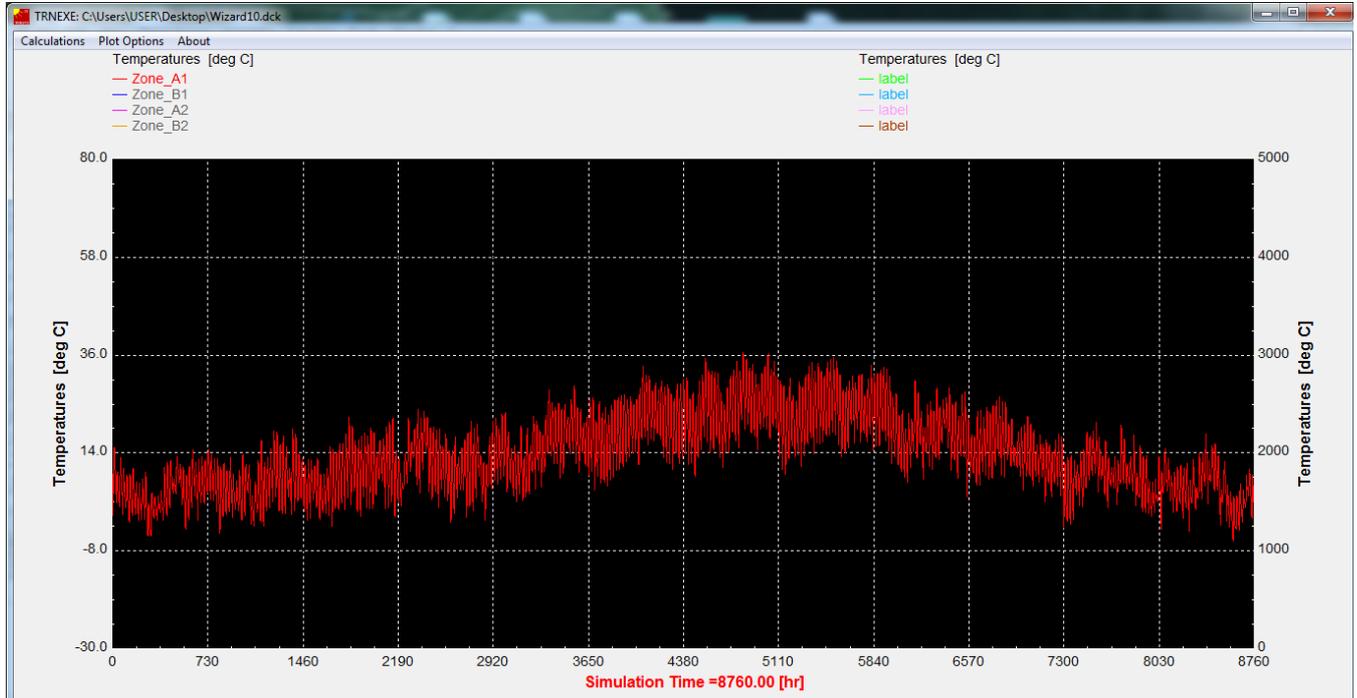


Figure 3.28 : Température annuel à Madrid-Barajas, Espagne.

Ce site se trouve dans la zone du méditerrané qui possède un climat plus au moins stable durant toute l'année, ou l'écart entre l'été et l'hiver, dont à l'été s'atteindre 37°C et -6°C à l'hiver. Soit un écart de 43°C entre les deux saisons.



Simulation thermique

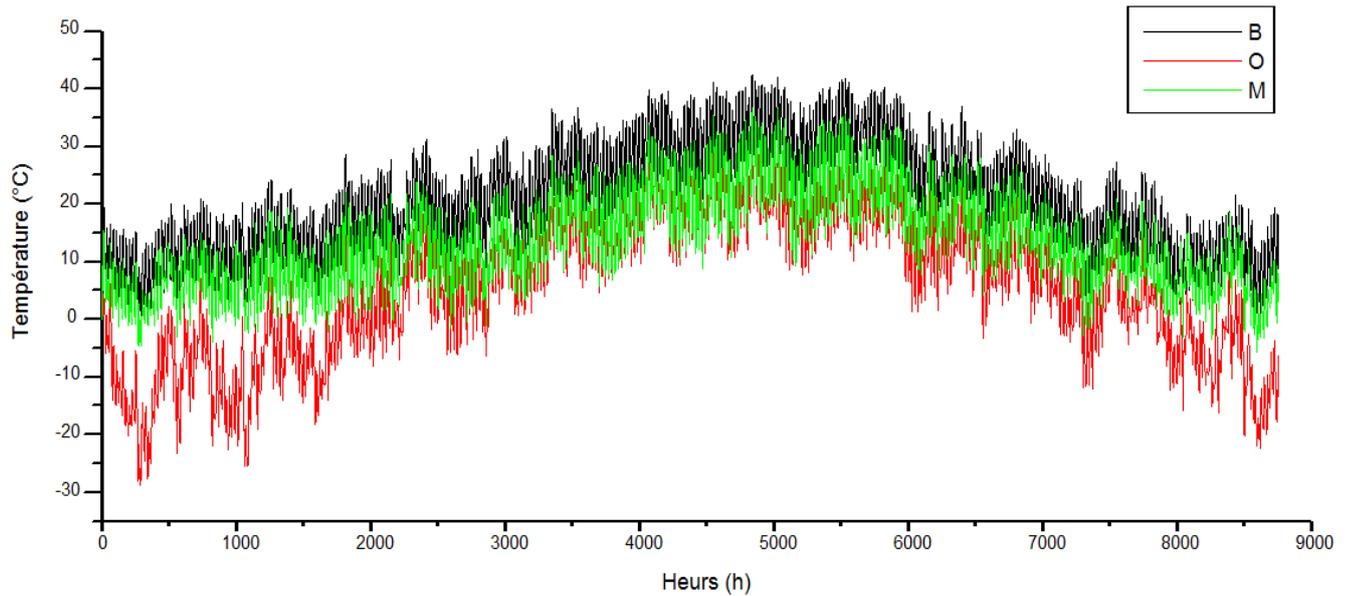


Figure 3.29 : « Superposition des températures des sites»

B : la courbe de variation de température dans le site de Béchar (Algérie) durant toute l'année,

O : la courbe de variation de température dans le site d'Ottawa (CANADA) durant toute l'année,

M : la courbe de variation de température dans le site de Madrid (Espagne) durant toute l'année.

D'après les graphes ci-dessus on remarque nettement la différence thermique entre les trois zones, et que la zone d'Ottawa (CANADA) est la plus fraîche, et que la zone de Béchar (Algérie) la plus chaude « zone aride».

Il est apparu nettement que la zone aride a une température plus élevée que les autres zones (courbe de couleur Noire). On veut déterminer la température ambiante d'un bâtiment courant qui est composé de quatre pièces de différentes orientations (N, S, E et O), avec des ouvertures (fenêtres et portes), et d'un plancher en corps creux, tout en essayant d'approcher au maximum la réalité.



Simulation thermique

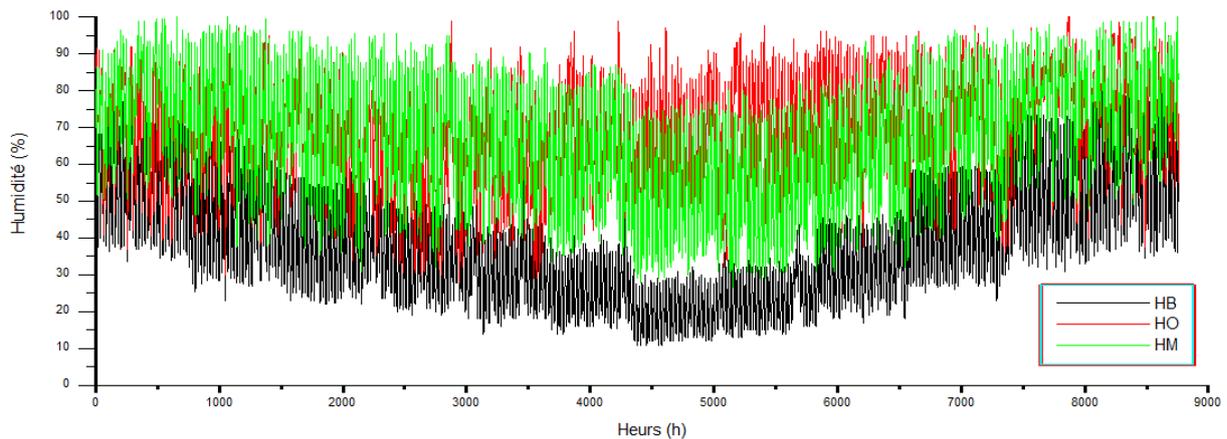


Fig 3.30 : la variation d'humidité dans les sites de : Béchar, Madrid et Ottawa.

D'après ce graph la signification de la zone aride se confirme, car le niveau d'humidité est très bas il s'abaisse jusqu'à 12% au jour de l'été, par contre dans Ottawa l'humidité il est toujours considérable ne diminuer pas a 40% au pleine été, aussi a Madrid dans les jours les plus chauds a l'été l'humidité est au de la de 35% au moyenne.

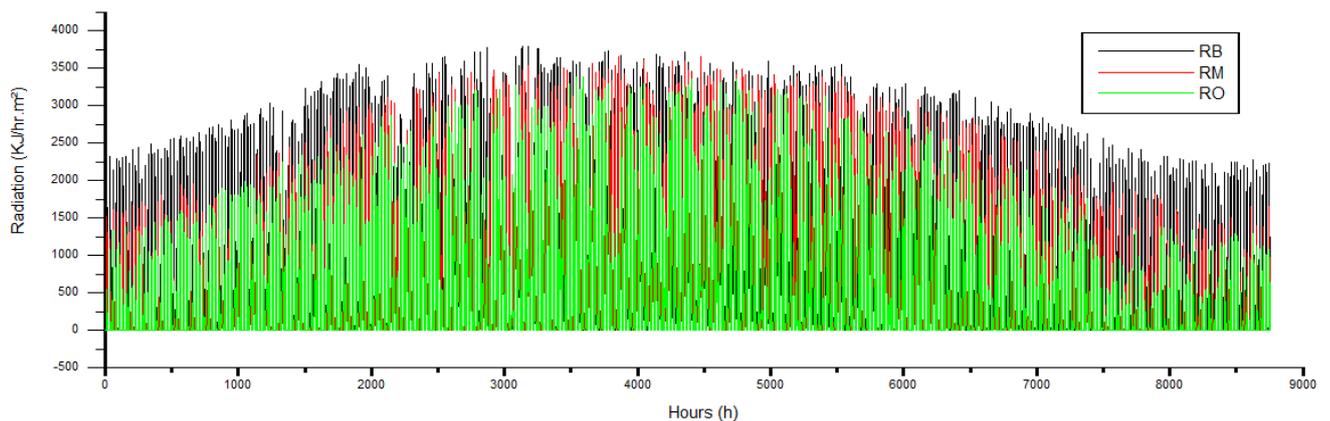


Fig 3.31 : la variation de radiation dans les sites de : Béchar, Madrid et Ottawa.

La radiation en général est très importants dans les zones aride a causes des grands température et du faible pourcentage d'humidité et sa paut atteint 3800 KJ /hr.m², et jusqu'a 3600 KJ /hr.m² a Madrid, et jusqu'a 3400 KJ /hr.m² seulement a Ottawa.



Simulation thermique

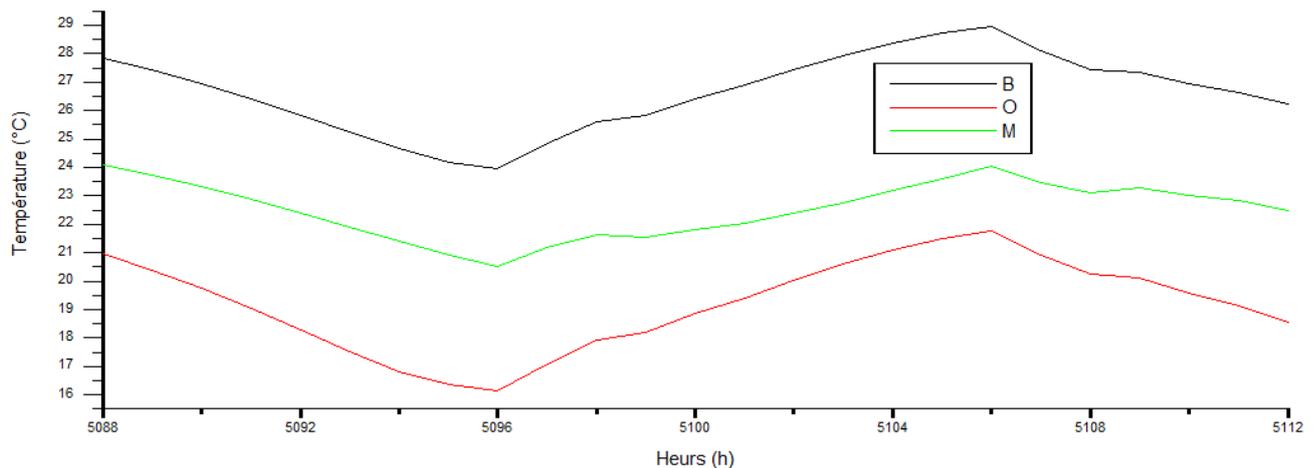


Fig 3.32 : Les différentes variations des températures dans les trois sites dans le premier jour du mois d'Aout.

2.5.6 Interprétation :

La température est une charge qui peut influencer sur les éléments structuraux, et pour pouvoir identifier leur influence d'abord il faut savoir la température ambiante au bâtiment et celui de l'extérieur (site), d'où on a choisis trois sites de différents nature climatiques, le premier dans un milieu aride (saharienne), le deuxième est une zone méditerranéenne et le troisième est un site très froid, et on a prenez le premier jour du mois d'aout pour la comparaison des variations des températures. Ce jour ce trouve au pleine été d'où éventuellement l'écart est très grand.

Après avoir constaté les différents résultats des trois sites, on a conclu que l'écart entre température ambiante et extérieur s'influe pas sur le béton ni sur son comportement mais si le béton a jeune âge sa peut influe sur son caractéristique mécanique.

D'autres éléments interviennent dans le comportement thermique dynamique du bâtiment :

L'installation de chauffage et de régulation

La variation des températures des locaux entre eux, et plus particulièrement la variation des caractéristiques climatiques intérieures des locaux entre eux,

L'occupation du bâtiment et le comportement des occupants.



Chapitre 4 le comportement structurel sous l effet de la température

1. Présentation du projet :

1.1-Introduction :

Le béton armé demeure le matériau le plus utilisé et le plus économique dans la plupart des constructions, il est le plus répandu dans notre pays, du fait que la majorité des ouvrages sont construits en BA.

Ce projet est basé sur des modélisations et des simulations numériques, analytiques des effets provoquant des dégradations dangereuses dans une construction en béton armé composée de quatre pièces, à Adrar qui est considérée comme un milieu aride.

Les dimensions sont :

- La longueur de la construction : $L = 10$ m.
- La largeur de la construction : $l = 8$ m.
- La hauteur : $h = 3.2$ m.

La stabilité de la structure est assurée par un ensemble de portiques auto-stables (poteaux – poutres) en béton armé.

L'infrastructure est caractérisée par des semelles isolées sur un sol meuble, la contrainte du sol est de 1.5 bars, la profondeur d'ancrage est de 1.20m.

Plancher :

Nous avons proposé un plancher en corps creux d'une épaisseur de 20 cm (16+4), dalle de compression et corps creux reposant sur des poutrelles.

Le béton :

Le béton est un matériau constitué par un mélange dans des proportions convenables : ciment, granulats (sables et gravier) et l'eau.

- Le béton est dosé à 350 Kg/m^3
- Le ciment est classé CPA 325
- La résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours est $F_{c28} = 25 \text{ MPA}$.
- La résistance à la traction est déduite à partir de la formule suivante :

$$F_{tj} = 0.6 + 0.06 F_{cj}$$

$$F_{t28} = 2.1 \text{ MPA}$$

- La fissuration est considérée comme peu nuisible :



Simulation thermique

La contrainte de béton :

$$\sigma_b = \frac{0,85 F_{c28}}{\gamma_b}$$

σ_b : Contrainte admissible de béton à l'E.L.U

γ_b : Coefficient de sécurité.

γ_b : 1,5 cas courant.

γ_b : 1,15 cas situation accidentelle.

$$\sigma_b = \frac{0,85 \times 25}{1.5}$$

$$\sigma_b = 14.2 \text{ MPA} = 142 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3}$$

- Contrainte admissible de béton à l'ELS

$$\sigma_{bc} = 0.6 F_{c28}$$

$$\sigma_{bc} = 15 \text{ MPA.}$$

Les armatures :

- On distingue les armatures longitudinales dirigée suivant l'axe longitudinales de la pièce et les armatures transversales disposées dans les plans perpendiculaires à l'axe de la pièce.
- Généralement on utilise pour le béton armé.
 1. Des barres à haute adhérence de classe FeE 400 MPA (pour les armatures longitudinales).
 2. Des treilles soudés (pour la dalle de compression) le module d'élasticité longitudinal de l'acier désigné par E est égale $E_a = 2.10^5$ MPA.
 3. Pour les aciers transversaux on utilise des barres de classe FeE235.

La contrainte de l'acier σ_s est donnée

$$\sigma_s = \frac{F_e}{\gamma_s}$$

γ_s : Coefficient de sécurité.

$\gamma_s = 1.5$ cas courant.

$\gamma_s = 1.15$ cas situation accidentelle.



$\sigma_s = 384$ MPA cas courant.

$\sigma_s = 400$ MPA cas situation accidentelle.

2. Prédimensionnement des éléments structuraux :

2.1--Descente charge :

A Plancher terrasse : (non accessible) (corps creux) :

+ charge permanente :

1-couche en chape en mortier (4cm) 0,04*2000	80 Kg /m ² .
2- Couche d'isolation thermique en sable ou tuf (7,5cm) 2200*0,075	165 Kg/m ² .
3- couche en mortier (2,5cm) 0,025 x 2000	50 Kg /m ² .
4- Corps creux + Dalle de compression (16+4)	275 Kg /m ²
5- Enduit en ciment (1,5 cm)1800*0,01	<u>27 Kg /m²</u>
	G =597 Kg /m²

+ charge d'exploitation:

$$P = 100 \text{ Kg /m}^2.$$

	G(Kg /m ²)	P(Kg /m ²)	Etat	q _u =1,35G+ 1,5 P
				q _s = G+P
Plancher terrasse	597	100	ELU	955,95
			ELS	697

2-2- prédimensionnement des poutres :

Selon les Règles de BAEL91 :

La section de la poutre est déterminée par les formules (1) et (2).

$$\frac{L}{15} < h_t < \frac{L}{10} \dots\dots\dots (1)$$

$$0.4h \leq b \leq 0.8h \dots\dots\dots (2)$$

D'après le RPA/version 2003; les poutres doivent respecter les dimensions suivantes :

$$b \geq 20\text{cm}$$

$$h \geq 30$$

$$\frac{h}{b} \leq 4.$$

Poutres principales :L = 5,00m

$$\frac{5,00}{15} \leq h \leq \frac{5,00}{10} \Rightarrow 33 \leq h \leq 50 \text{ cm on prend } h = 45\text{cm et}$$



Simulation thermique

b: $18 \leq b \leq 36$ on prend $b = 25$ cm

Vérification des conditions imposées par le RPA99 :

1. $b = 25$ cm > 20 cm.....condition vérifie
2. $h = 45$ cm > 30 cm..... condition vérifie
3. $\frac{h}{b} = 1,8 < 4$ condition vérifie

Donc la section retenue pour la poutre principale est (25 x 45) cm²

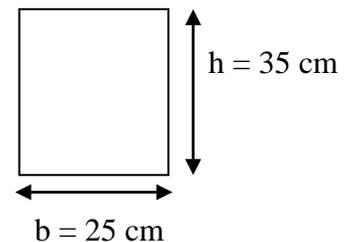
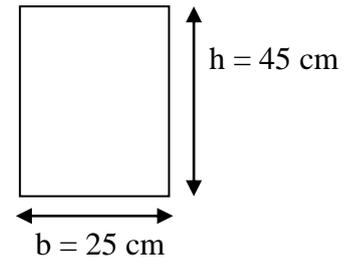
Poutre secondaire : L = 4,00 m

$$\frac{4,00}{15} \leq h \leq \frac{4,00}{10} \implies 26 \leq h \leq 40 \text{ cm on prend } h = 35 \text{ cm et } b = 25 \text{ cm.}$$

Vérification des conditions imposées par RPA 99 :

1. $b = 25$ cm ≥ 20 cm.....Conditions vérifie
2. $h = 35$ cm ≥ 30 cm.....Conditions vérifie
3. $\frac{35}{25} = 1.40 < 4$Conditions vérifie

Donc la section retenue pour la poutre principale est (25 x 35) cm²



2-3 prédimensionnement des poteaux :

Les poteaux sont pré dimensionnés en compression simple, en choisissant les poteaux les plus sollicités de la structure

Leur prédimensionnement doit respecter les trois conditions suivantes :

- a. Conditions de résistance.
- b. Conditions de stabilité.
- c. Conditions imposée par le RPA 99.

a. Conditions de résistance :

On sait que :

$$B_r \leq \frac{K \cdot B \cdot N_u}{\theta(\sigma_c \cdot b_r / 0,9) + 0,85(A/B_r)\sigma_s}$$

D'après BAEL 91. On Prend $A/B_r = 1\% = 0,01$ avec

B_r : Section Net du béton ; ($B_r = (a-2)(b-2) \text{ m}^2$).

θ : Facteur correcteur pour la durée d'application des charges $k = 1$, les charges étant appliquée généralement après 90 jours.

σ_{bc} = résistance de calcul du béton en compression à l'état ultime.

$$N_u = 1,35 N_g + 1,5 N_q .$$

N_g : Effort normal du aux charges permanentes.

N_q : Effort normal du aux charges d'exploitations.

IL se calcul en appliquant la loi de digression des charges d'exploitations.

β : Coefficient qui dépend de l'élanement du poteau.

$$\beta = 1 + 0,2 (\lambda / 35)^2 \text{ avec } \lambda \leq 35.$$

Pour toute les armatures participe on Prend $\lambda = 35 \implies \beta = 1,2$

$\sigma_s = f_e / \gamma_s = 348$ Mpa : résistance de calcul des aciers à L'ELU.



$$\sigma_{bc} = 0,85 * (f_{c28} / \gamma_b)$$

f_{c28} : résistance à la compression de béton.

$\gamma_b = 1,5$ coefficient de sécurité du béton.

$$\beta N_u = Br * \sigma_{bc} / 0,9 + 0,85 * A * f_e / \gamma_s$$

$$Br \geq \beta N_u / \sigma_{bc} / 0,9 + 0,85 * f_e / 100 * \gamma_s$$

$$Br \geq \beta N_u / \sigma_{bc} / 0,9 + 0,85 * \sigma_s / 100$$

$$Br \geq 1,2 * N_u / (15,74 + 2,96)$$

$$Br \geq 1,2 * N_u / (15,74 + 2,96)$$

$$Br \geq N_u * 0,0064$$

$$N_u = \Sigma q_i = q_1 + q_2 + q_3$$

Ou : q_1 : Poids de la poutre principale.

q_2 : Poids de la poutre secondaire

q_3 : Poids de la poutre du plancher

q_4 : Charge d'exploitation

$$q_1 = b * h * \rho_b / ((L_0 + L_1) / 2)$$

$$q_1 = 0,25 * 0,45 * 2500 / ((5,00 + 5,00) / 2) = 562,50 \text{ kg}$$

$$q_2 = b * h * \rho_b / ((L_2 + L_3) / 2)$$

$$q_2 = 0,35 * 0,25 * 2500 / ((4,00 + 4,00) / 2) = 546,87 \text{ kg}$$

$$q_3 = G_p * S_p$$

$$S_p = \frac{1}{4} (L_0 + L_1) + (L_2 + L_3)$$

$$S_p = (5,00 + 5,00) / 2 * (4,00 + 4,00) / 2 = 20,00 \text{ m}^2$$

$$q_3 = 597 * 20,00 = 11940 \text{ kg}$$

$$q_4 = G_p * S_p$$

$$q_4 = 100 * 20,00 = 2000 \text{ kg}$$

b: Largeur de la poutre considérée.

h: Hauteur de la poutre considérée.

ρ_b : masse volumique du béton.

S_p : surface du plancher.

b. Conditions de stabilité de forme :

On sait que

$$\lambda = l_f / i \leq 35, \quad l_f = 0,7 * l_0$$

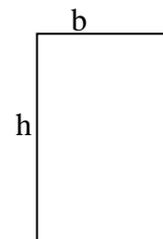
$$q_u = 1,35 * (q_1 + q_2 + q_3) + 1,5 q_4$$

$$q_u = 1,35 * (562,50 + 546,87 + 11940) + 1,5 * 2000$$

$$N_u = 1,15 * q_u = 23709,14 \text{ kg}$$

$$Br \geq N_u * 0,0064$$

$$B_r \geq 151,73 \text{ cm}^2$$





$$b=h=25\text{cm}$$

$$B_r=25^2=625\text{cm}^2$$

I : moment d'inertie de la section du poteau

B : section du béton.

λ : l'élanement.

Critère de flambement :

$$L_f=0,7 \cdot l_0=0,7 \cdot 350= 245 \text{ cm}$$

$$\lambda=3,16 \cdot l_f/b=3,16 \cdot (245/25)= 30.96 < 35 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée}$$

Vérification des conditions imposée par le RPA 99 :

a. $\text{Min}(h, b)=25 \geq 25\text{cm}.$

b. $\text{Min}(h, b)=25 \geq h_e / 20=3,50/20=0.175\dots\dots\dots \text{condition vérifiée}$

c. $1/4 < b / h < 4\dots\dots\dots \text{condition vérifiée}$

Donc la section retenue pour Le poteaux est (25 x 25) cm²

2-4- Planchers à corps creux :

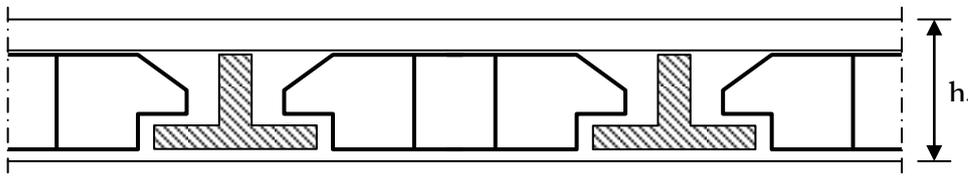


Fig 4.1 : Dalle à corps creux.

Les planchers sont constitués de poutrelles préfabriquées associées aux corps creux. Pour le Prédimensionnement de la hauteur des poutrelles en utilisera la formule empirique suivante : $L/25 \leq h_t \leq L/20$

L : la portée de la poutrelle mesurée à nu des appuis

$$L=4,00\text{m}, \quad 400/25 \leq h_t \leq 400/20$$

$$16 \leq h_t \leq 20 \quad \text{on prend } h_t = (16+4) \text{ cm} = 20\text{cm}$$

Avec : 4 cm = épaisseur de la table de compression

16 cm = épaisseur du corps creux.

Étude des planchers

Études des planchers à corps creux : plancher d'étage courant

Études des poutrelles :

a/dimensions :

$$h_t = 20 \text{ cm.}$$

$$h_0 = 4 \text{ cm.}$$

$$b_0 = 12 \text{ cm.}$$

$$h_t-h_0 = 16 \text{ cm.}$$

$$b = 60 \text{ cm.}$$

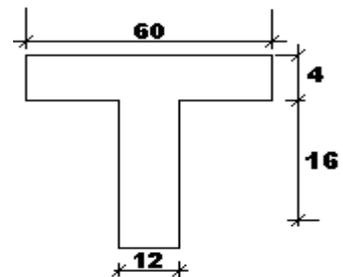


Figure 4.2 : Dimension de la poutrelle



Simulation thermique

Evaluation des charges:

Les charges sur poutrelles sont évaluées comme suite :

Terrasse : $G = 597\text{kg/m}^2$; $P = 100\text{kg/m}^2$

Les charges sont récapitulées dans le tableau suivant :

	Terrasse [kg/ml]
ELU	$(1,35 \times 597 + 1,5 \times 100) \times 0,6 = 573,57$
ELS	$(597 + 100) \times 0,6 = 418,2$

Tableau : évaluation des charges sur les poutrelles

Condition d'application de la méthode forfaitaire :

BAEL 91(art 8.6.22.10)

Pour la détermination des moments fléchissent et des efforts tranchants.

On utilise la méthode forfaitaire et pour cela les conditions suivantes doivent être vérifiées.

1-deux fois la charge permanente doit être supérieure ou égale à la charge d'exploitation

($2G \geq P$).

$2G+P=972 > 150\text{kg/m}^2$ condition vérifiée.

2-les moments d'inertie des sections transversales sont les mêmes dans les différent travées.....CV.

3-le rapport entre deux portées successives doit être compris entre 0,8 et 1,25 $0,8 \leq \frac{L_i}{L_{i+1}} \leq 1,25$

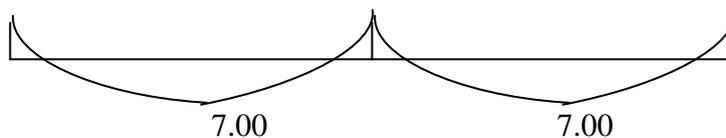
4,00/4,00=1..... condition vérifiée

4-la fissuration est considérée comme peu nuisible.

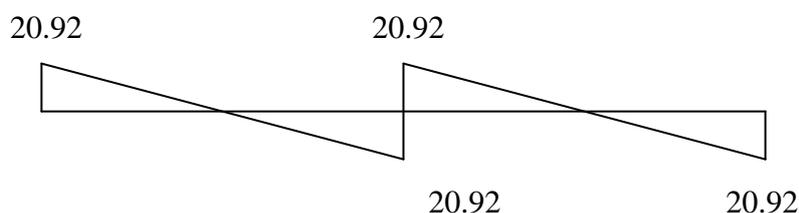
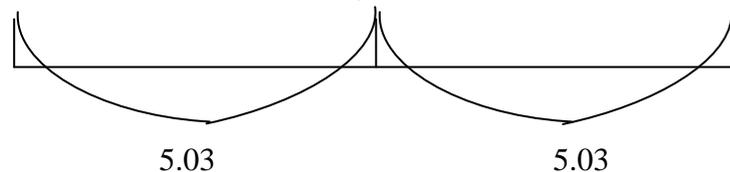
Remarque : La méthode forfaitaire applicable de la type 1 et n'est pas applicable de la type 2.3 la

condition $0,8 \leq \frac{L_i}{L_{i+1}} \leq 1,25$ n'est pas vérifiée, donc on va utiliser «la méthode des trois moments ».

ELU 13.99 13.99 13.99



ELS 10,17 10,17 10,17





Simulation thermique

Dans cette phase on utilise la température comme un facteur de comparative enfin de déterminer l'influence de la température sur le ferrailage des sections des éléments structuraux. En béton BHP

Les données obtenir d'après l'étude précédente :

	section (cm)	ferrailage (cm)	façonnage
poteaux	(25x25)	A=1,875	4T12
poutre principale	(25x45)	A=3.375	3T14+2T12
poutre secondaire	(25x35)	A=2.625	3T14+2T12
Semelle	S=90	A=7,92	8T12
		A=16,30	16T12

Tableau (4.1) : les sections de différent élément structurent

3. Etude d'un bâtiment en trait compte l'effet de la température :

Sous plateforme de SAP2000 on fait les étapes suivantes :

- **Etape1** :affectation la temperature :

define ⇒ **static load case name**

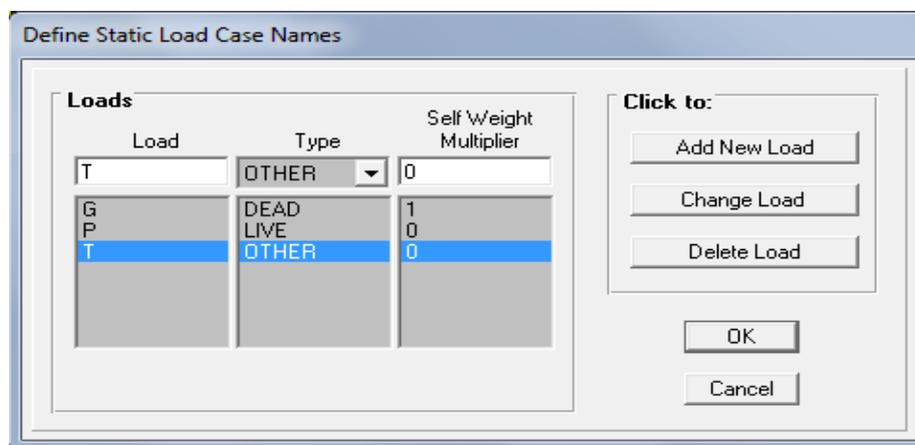


Figure (4.3) : entré la charge statique



Simulation thermique

➤ Etape2 : les combinaisons :

Define ⇒ load combinations.

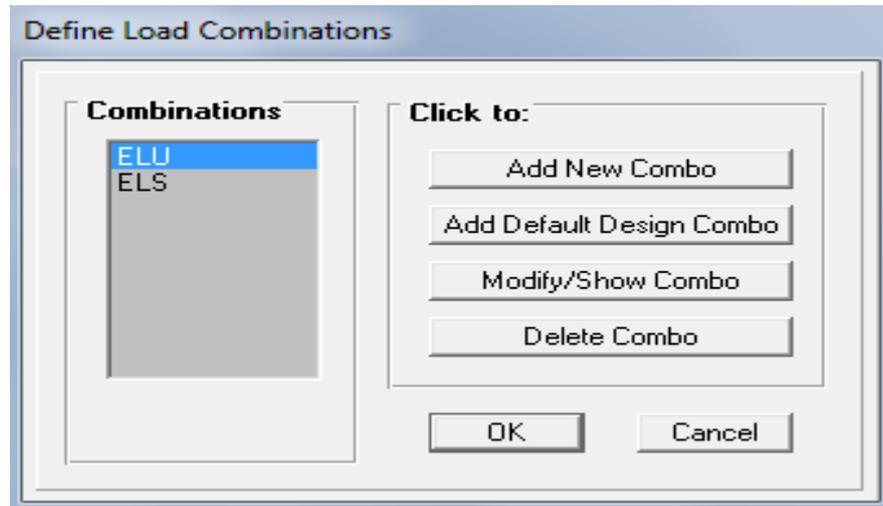


Figure (4.4) : Pour additionner nouvelle combinaison

Et cliquer pour additionner nouvelle combinaison (add new combination)

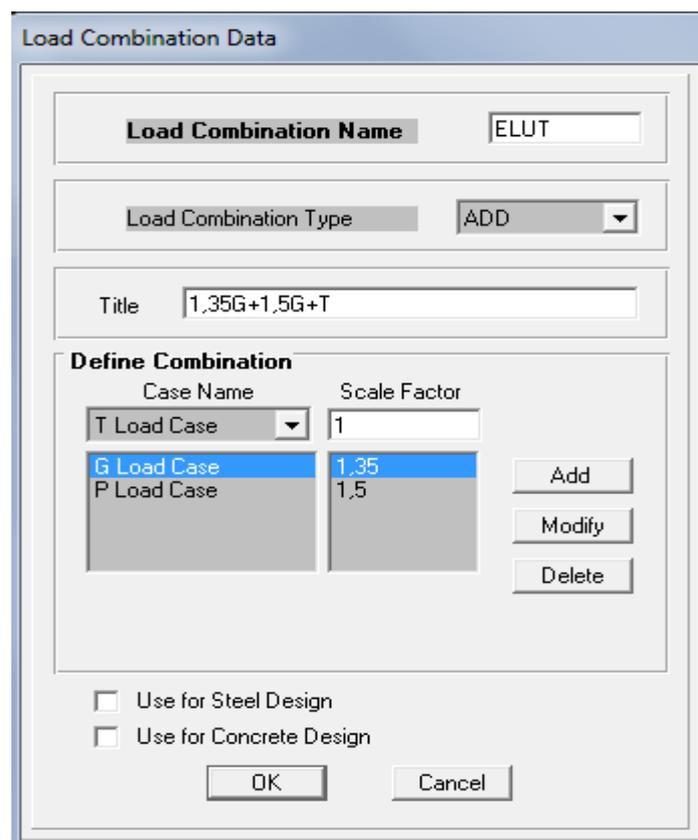


Figure (4.5) : les combinaisons



Simulation thermique

Click in add ⇒ ok

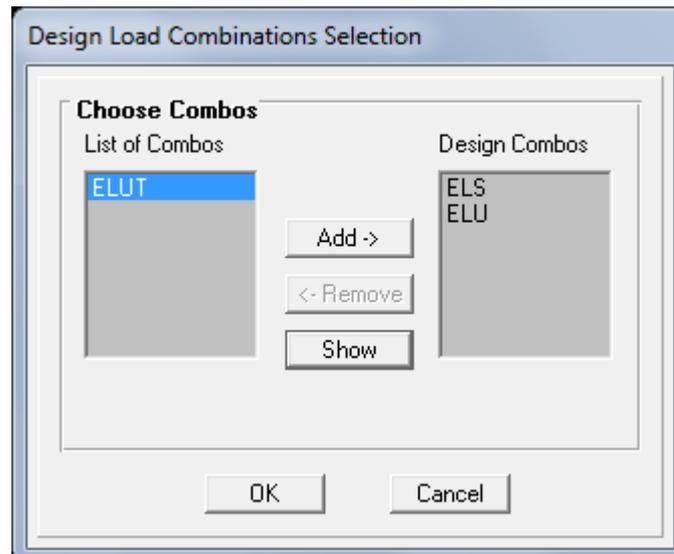


Figure (4.6) : les combinaisons de ferrailage

Click ⇒ ok

➤ Etape 3 : le gradient thermique :

Sélectionner l'objet ⇒ Assign ⇒ frame staticloads ⇒ température.

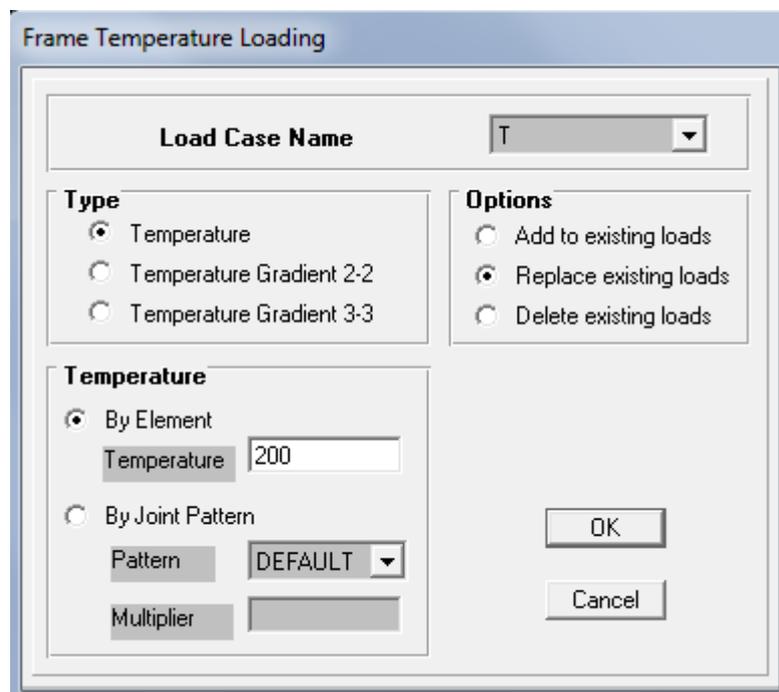


Figure (4.7) : le gradient thermique



- **Etape4** :run analysis
- **Etape5** : design ⇒ select design combinations selection

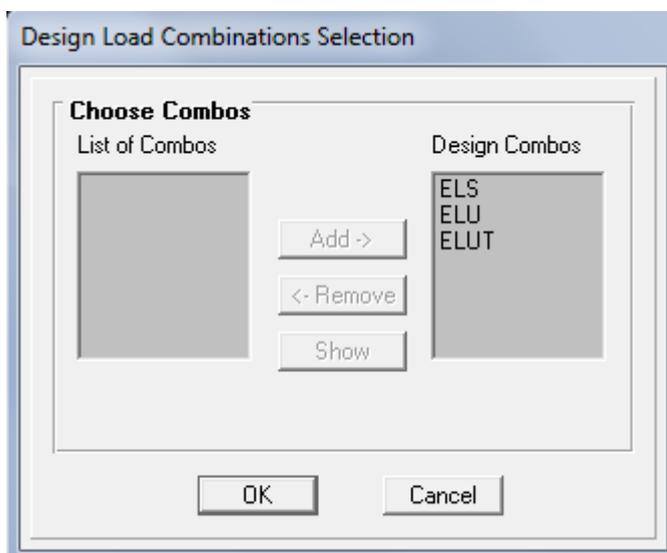
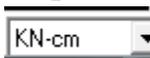


Figure (4.8) : select la combinaison pour afficher les résultats

- **Etape6** : design ⇒ start design/check of structure avec deviation l'unités en KN-cm



4. Les résultats de sections de ferrailage obtenus par SAP2000 :

		sans température	avec température					
		ordinaire	T=200	T=400	T=600	T=800	T=1000	T=1200
poteaux	1	9	52,68	O/S	O/S	O/S	O/S	O/S
	2	9	9	27,15	49,4	O/S	O/S	O/S
	3	9	9	9	18,22	28,47	38,57	49,14
poutre principale	1	2,15	3,33	4,19	5,15	6,53	7,93	9,38
	2	4,58	4,69	4,8	5,52	7,05	8,62	10,23
	3	4,19	4,19	4,54	6,42	8,36	10,38	12,46
poutre secondaire	1	0,41	0,41	0,88	1,26	1,65	2,03	2,42
	2	0,28	0,53	0,95	1,37	1,79	2,22	2,65
	3	0,3	0,54	0,97	1,4	1,83	2,27	2,7
Semelle	1	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97	4,97
	2	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11	5,11

Tableau (4.2) : les sections de ferrailage obtenues par SAP2000



Simulation thermique

Interprétation des résultats :

Le tableau ci-dessus montre les sections de ferrailage des différents éléments structuraux tels que les poteaux ; poutre principales ; chaînage et semelle

D'après les résultats obtenus par les différentes modélisations sous sap2000 on peut remarquer clairement l'influence négative de la température sur les sections optimales de ferrailage de béton BHP

On n'observe que la section de ferrailage augmentée suivant le gradient thermique allant de 200 °C jusqu'à 1200 °C

Les réactions demeurent constantes et inchangées devant la variation thermique ; qu'ils nous montrent la justification de la nature de la charge de température (la charge de la température n'est pas une charge statique)

Les signaux de sap 2000 pour les poteaux les plus sollicités de OS dans les cas des températures élevées plus de 600 montrent que ces sections de béton seront non valables devant cette charge de compression supportée.

Le tableau suivant présente l'écart ($\Delta\%$) en fonction de la température :

$$\Delta\% = \frac{s_0 - s_1}{s_0}$$

Avec S_0 : est la section initiale

S_1 : est la section après l'exposition du bâtiment à température

	température						
	T<200	T=200	T=400	T=600	T=800	T=1000	T=1200
poutre principale	2,15	3,33	4,19	5,15	6,53	7,93	9,38
$\Delta\%$		55	95	140	204	269	336
poutre secondaire	0,28	0,53	0,95	1,37	1,79	2,22	2,65
$\Delta\%$		89	239	399	539	693	846

Tableau (4.3) : Les résultats de sections de ferrailage obtenus par SAP2000 en fonction d'écart (Δ)



Simulation thermique

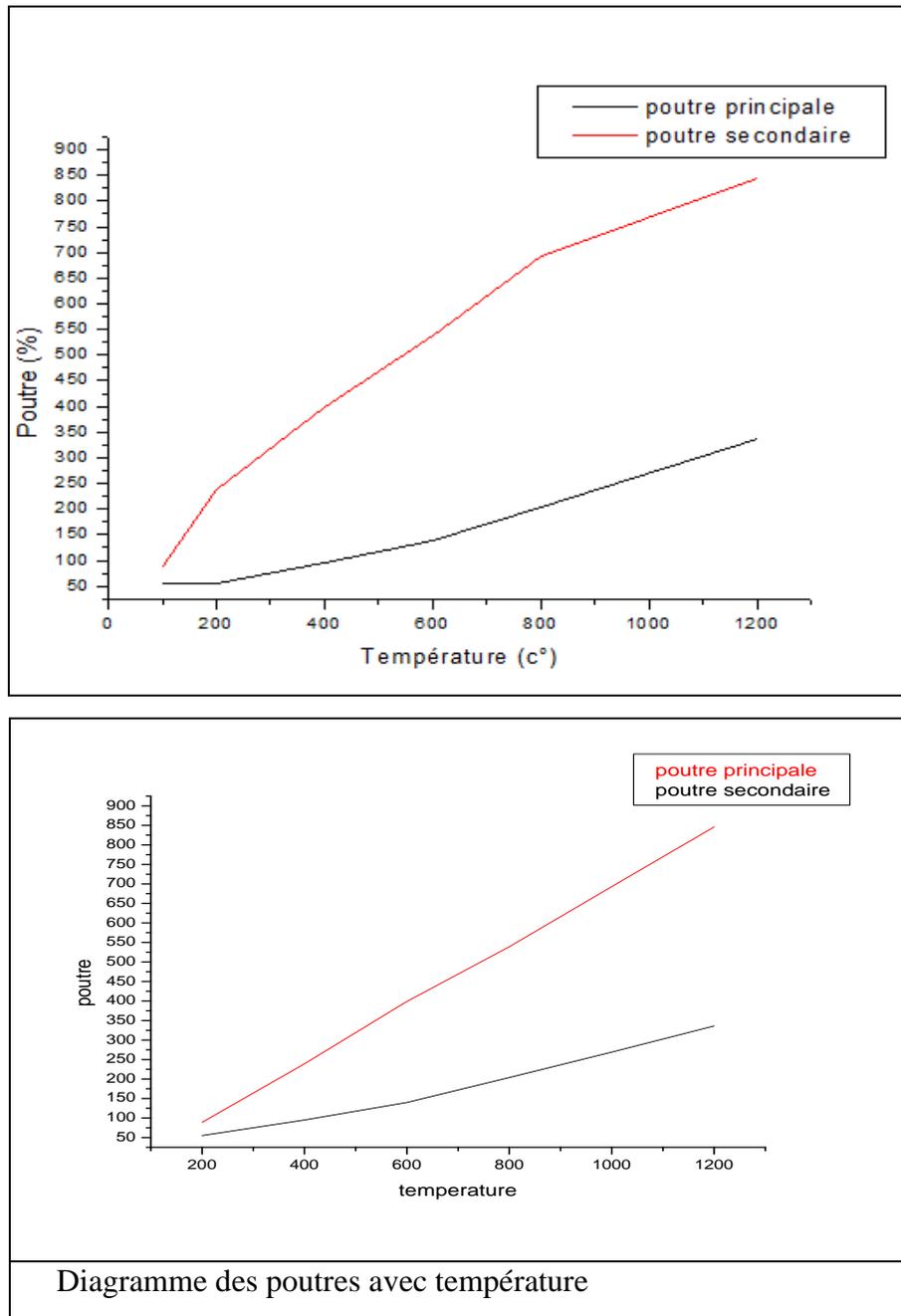


Figure (4.9) : Diagramme du pourcentage de chargement en fonction de température

- **Interprétation des résultats**

Le tableau représente la variation relative de ferrailage de béton BHP dans les sections afin que vous remarquiez lorsque la température est inférieure ou égale à 400 le changement relatif était lent, Mais à l'arrivée de la température au-dessus de 400 noter que l'augmentation est accélérée.



CONCLUSION

Une température forte peut recuire les aciers avec une forte chute (de l'ordre de 15 à 18 %) de leur limite élastique. Le même phénomène existe pour les aciers plus récents élaborés par trempe et revenu. Cet effet est sensible si la température des armatures atteint 350°C (300°C pour être prudent, car il dépend aussi du temps de maintien de la température au niveau de l'acier).

En cas d'incendie important, des investigations spécifiques doivent donc être menées aussi bien sur le béton que sur les armatures.

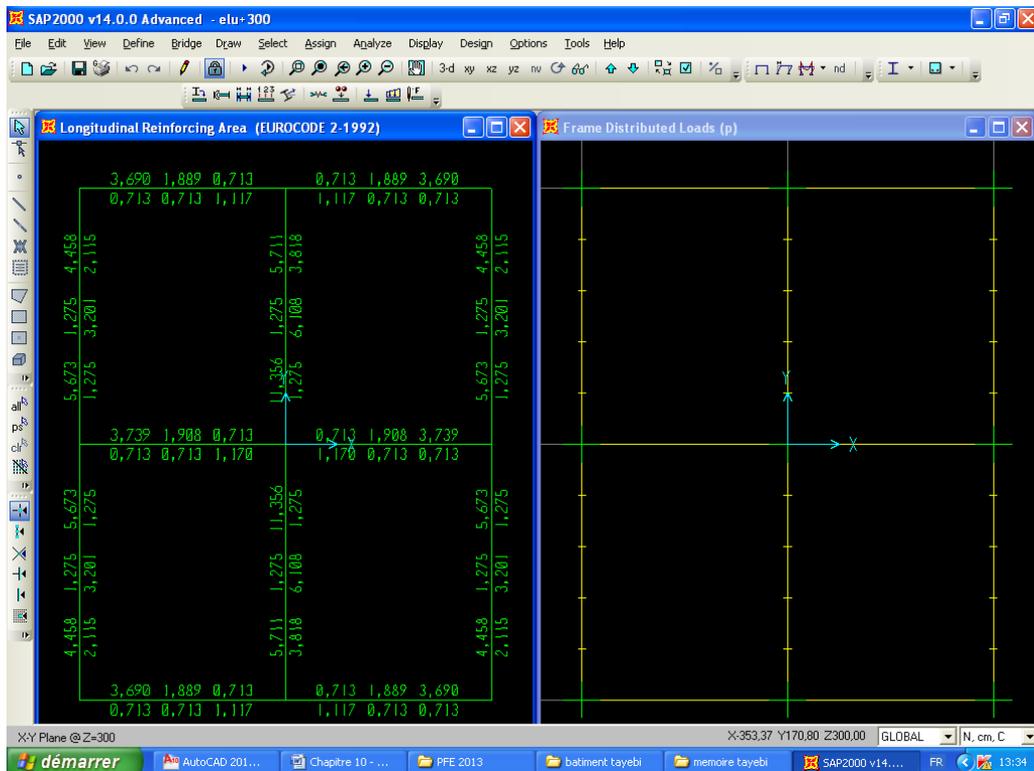
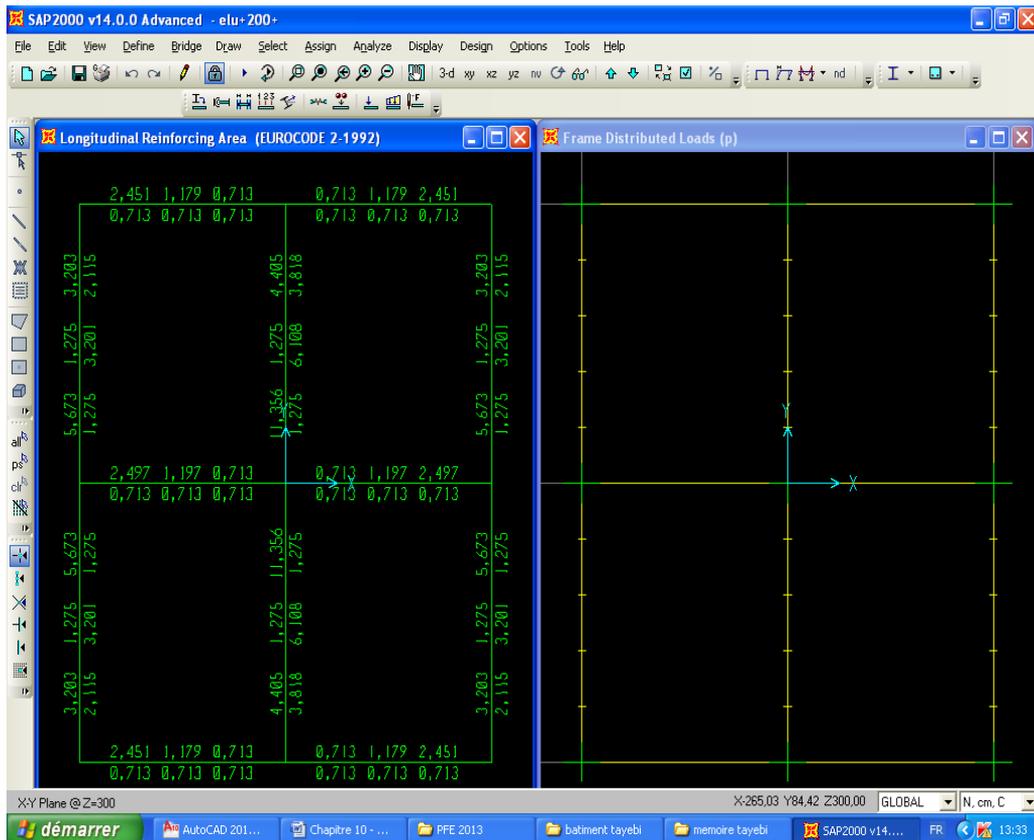


Référence :

- ✓ BAEL 91 ; jean PERCHAT, Jean ROUX ; 1998 ; édition Eyrolles
- ✓ BAEL 99 ; jean PERCHAT ; 1999 ; édition Eyrolles
- ✓ Guides STRRES « Reprise des bétons dégradés » ; une édition de syndicat national des entrepreneurs spécialiste des travaux de réparation et renforcement des structures (strres), juin 2008.
- ✓ Le site <http://www.crai.archi.fr>, la modélisation thermique des bâtiments ; KHECHRAM Aymen ; école national supérieur d'architecture de Nancy ; 2009.

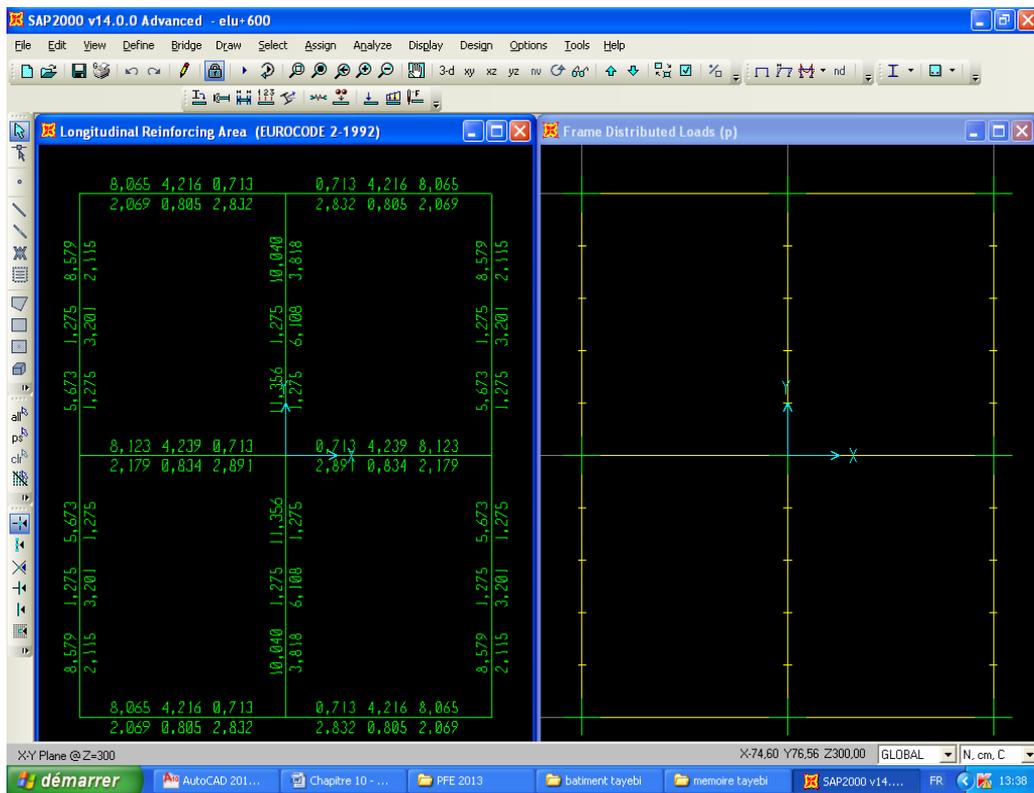
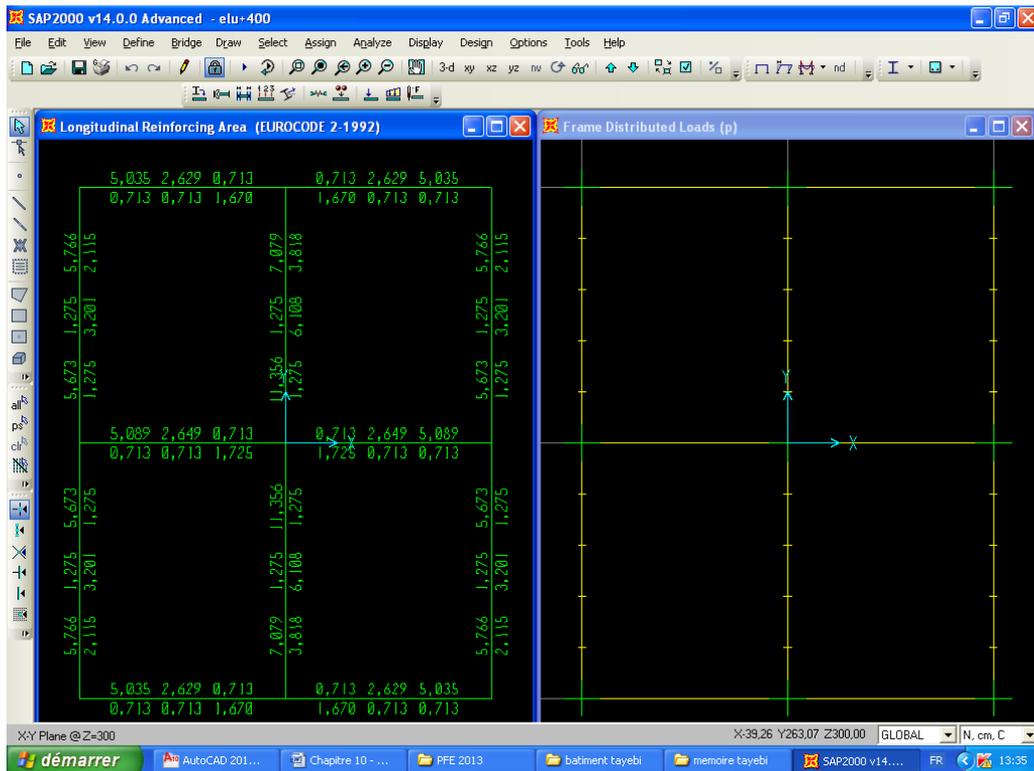


Simulation thermique





Simulation thermique





Simulation thermique

