

CHAPITRE VII

LE CHAUFFAGE DE L'AULA PALATINA DE TREVES⁽³⁵⁷⁾

Ce chapitre est la relation d'une autre étude de F. Kretzschmer⁽³⁵⁸⁾ sur le chauffage de l'Aula Palatina de Trèves (fig. 322). Nous avons cru utile de la résumer également dans les quelques pages qui suivent.

Peu de temps après l'expérience de Saalburg, on découvrit, en 1952, lors de travaux de rénovation, que l'Aula Palatina de Trèves conservait encore sur une hauteur de 8 m (mur occidental) des *traces de « tubulature »*. Ce fait intriga fort F. Kretzschmer car cela semblait contredire les conclusions qu'il avait tirées de l'expérience de Saalburg, à savoir, d'une part, que les murs « tubulés » ne chauffaient pas et servaient uniquement à empêcher les condensations de vapeur sur les murs et, d'autre part, qu'on ne retrouve de « tubulature » que dans les bains. Or, dans ce cas, manifestement il ne s'agissait pas de bains et la « tubulature » y avait été placée pour chauffer, sinon à quoi eut-elle pu servir ?

N'ayant pas de réponse de nature archéologique, F. Kretzschmer entreprit alors, par le calcul, de rechercher dans quelle mesure l'apport du chauffage mural était nécessaire pour maintenir la température de l'Aula Palatina dans des limites acceptables en fonction, bien sûr, des variations de la température extérieure.

Au point de départ de ses calculs, il considère que la « tubulature » murale était réellement chauffante. Pour cela, elle devait être traversée régulièrement et partout par les gaz chauds, contrairement à la « tubulature » de Saalburg. Cela n'était possible que si la « tubulature » fonctionnait comme un radiateur, c'est-à-dire que les derniers *tubuli* des rangées verticales (séries) devaient être reliés entre eux par une tuyauterie horizontale⁽³⁵⁹⁾.

Méthode :

La figure 323 montre un schéma où on a rangé de gauche à droite le parcours des gaz chauds (en abscisses = quantités de chaleur). En ordonnées, les températures de ces gaz. La température d'entrée des gaz chauds est t_e . Une quantité Q_1 de chaleur passe à travers la *suspensura* et entre dans la salle par le sol. Il y a une chute de température des gaz pendant le passage des gaz dans la chambre de chaleur, jusqu'au $t_{\bar{u}}$. $t_{\bar{u}}$ est la température des gaz chauds lorsqu'ils passent de l'hypocauste dans la « tubulature ». La température n'est évidemment pas partout égale dans la chambre de chaleur ; on la désigne par la quantité t_{mh} qui est obtenue comme le montre la figure 323 ($t_{mh} = 1/2(t_e - t_{\bar{u}})$). A partir de là, les gaz entrent dans les murs creux, ils donnent une quantité de chaleur Q_2 et leur température tombe de $t_{\bar{u}}$ à t_a . C'est au point t_a que débute les cheminées obliques qui traversent le mur pour déboucher à l'air libre (fig. 323). A cet endroit le schéma montre une température Q_3 .

Toute cela doit ensuite être traduit en chiffres. Malheureusement, si les dimensions et les matériaux sont connus, il reste encore deux inconnues : la quantité de chaleur fournie au départ et le rapport entre Q_1 et Q_2 .

On ne sait exactement comment fonctionnait le feu dans l'Antiquité, à porte fermée ou ouverte ? Cela influençait considérablement les températures des gaz chauds à l'entrée de la chambre de chaleur. Ne pouvant répondre à cette question, F. Kretzschmer, pour résoudre son équation à deux inconnues, préfère donner une valeur théorique au rapport :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \varphi$$

De là, il entreprend tous ses calculs en donnant à C toutes les possibilités de valeurs qui se trouvent entre $\varphi = 0$ et $\varphi = 1$.

$\varphi = 0$ est une valeur limite où il n'y a que le sol qui chauffe.

$\varphi = 1$: le sol et les murs participent au chauffage de la même façon.

C'est entre ces deux valeurs, propose F. Kretschmer, qu'a dû se trouver la réalité.

F. Kretschmer nous livre ensuite les résultats de ses calculs (voir fig. 324, 325, 326 et 328) : toutes ces figures montrent les mesures faites dans le domaine des possibilités théoriquement admissibles entre le rapport $\varphi = 0$ et $\varphi = 1$. Le domaine de la réalité (théoriquement admissible) est, dans chaque figure, représenté par une zone hachurée qui seule nous intéresse.

Il a fallu également choisir une date (en hiver) pour fixer les conditions de départ des températures extérieures (+ 4°) et intérieures (+ 15°) qui allaient être prises en considération pour les calculs.

Dans ces conditions, on a besoin d'une quantité de chaleur dans le bâtiment de $Q = 580.000$ Kcal/h.

Dimensions de la surface à chauffer (fig. 327) :

— surface du sol de l'abside :	286 m ²
— surface de la nef longitudinale :	<u>1.530</u>
	1.816 m ²
On enlève 10% pour les pilettes d'hypocauste	— <u>180</u>
— Surface du sol chauffant efficacement	1.636 m ²
— Partie tubulée du mur ouest	450
— Partie tubulée du mur est	450
— Mur sud chauffé par l'extérieur	215
— Mur nord de l'abside laissé hors de considération	<u>0</u>
Toute la surface murale chauffée :	1.115 m ²

La pièce a 29 m de hauteur ; volume total : $J = 52.700$ m³. Pour les figures 324, 325, 326 et 328, les signes des formules sont chaque fois expliqués.

Il faut ajouter : V_B = température de la surface du sol

V_W = température de la surface chauffante du mur.

$QO = Q_1 + Q_2 + Q_3$ = chaleur totale dégagée par le feu en Kcal/h.

$H = 4.700$ Kcal/kg = capacité de chauffage du bois de chêne brûlé.

Pour évaluer le résultat de ses calculs, F. Kretschmer doit trouver une valeur de φ entre les limites $\varphi = 0$ et $\varphi = 1$ et correspondant à la façon dont on faisait le feu dans l'Antiquité. Ceci ne peut se faire que si une ou plusieurs données déterminantes desquelles dépend φ sont connues, soit *par expérimentation*, soit *par les écrits antiques*.

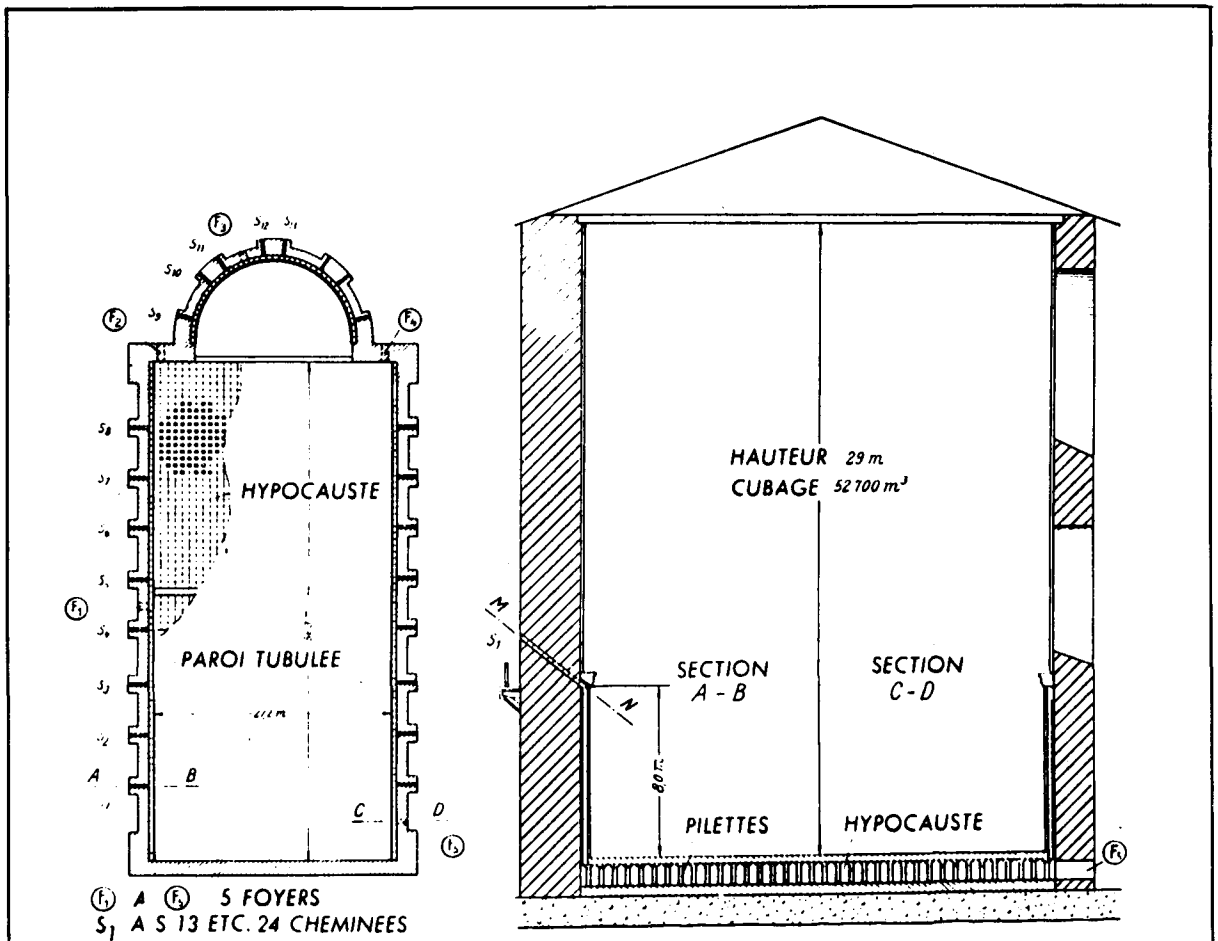


Fig. 322 : Aula Palatina - Trèves* (D).

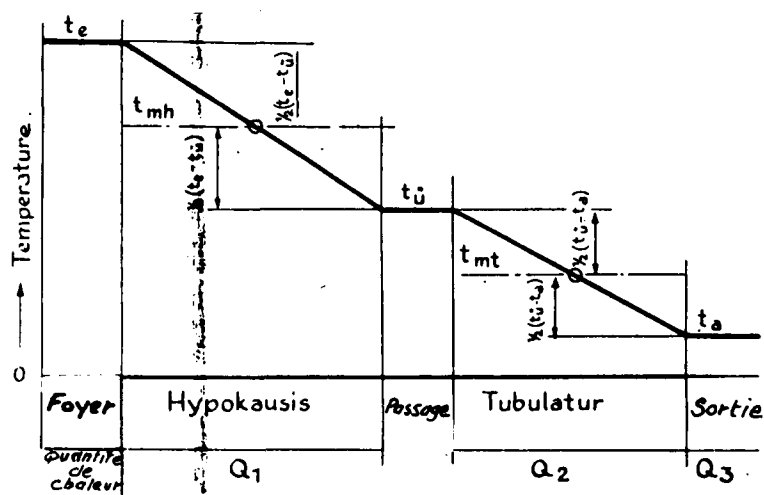


Fig. 323 : Aula Palatina - Trèves* (D).

Aula Palatina

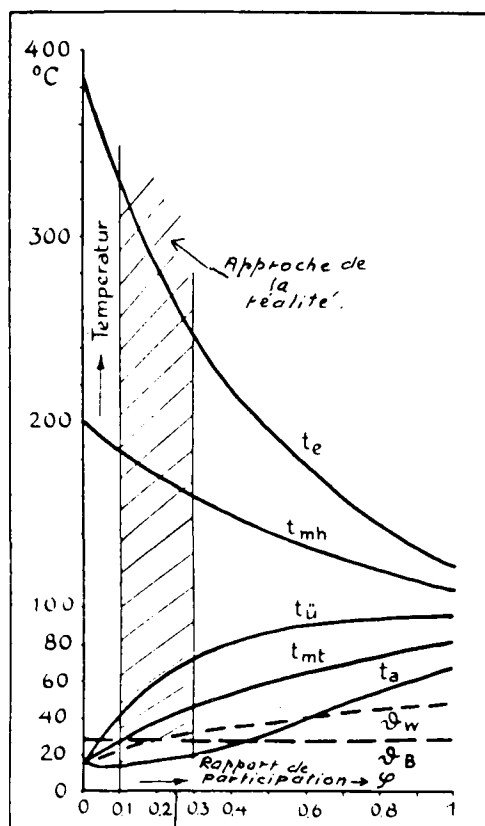


Fig. 324 : Les températures.

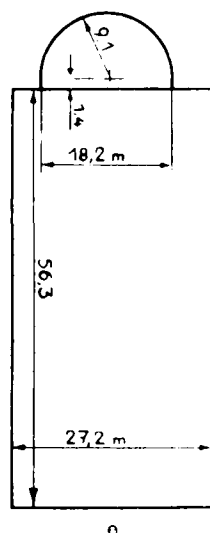


Fig. 327 : Dimensions du monument.

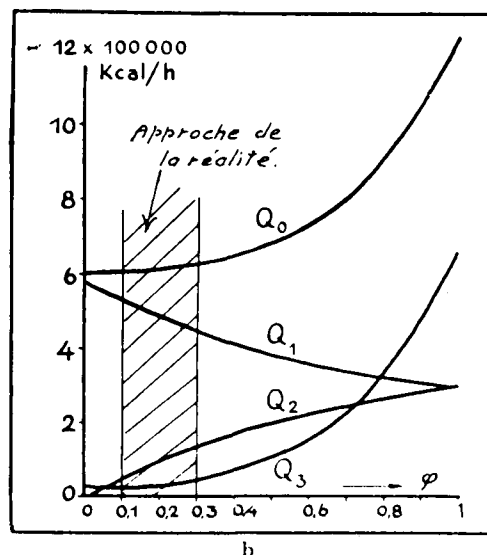


Fig. 325 : Les mélanges de chaleur.

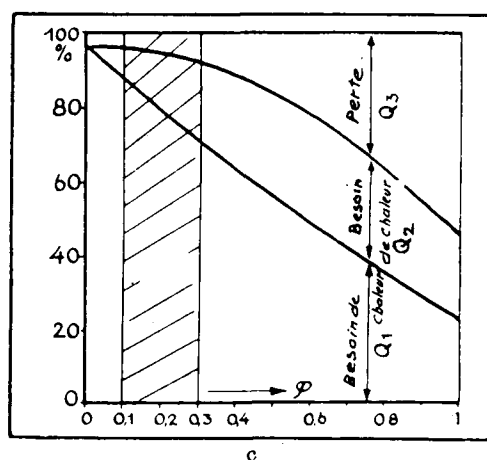


Fig. 326 : Bilan de chaleur.

Aula Palatina

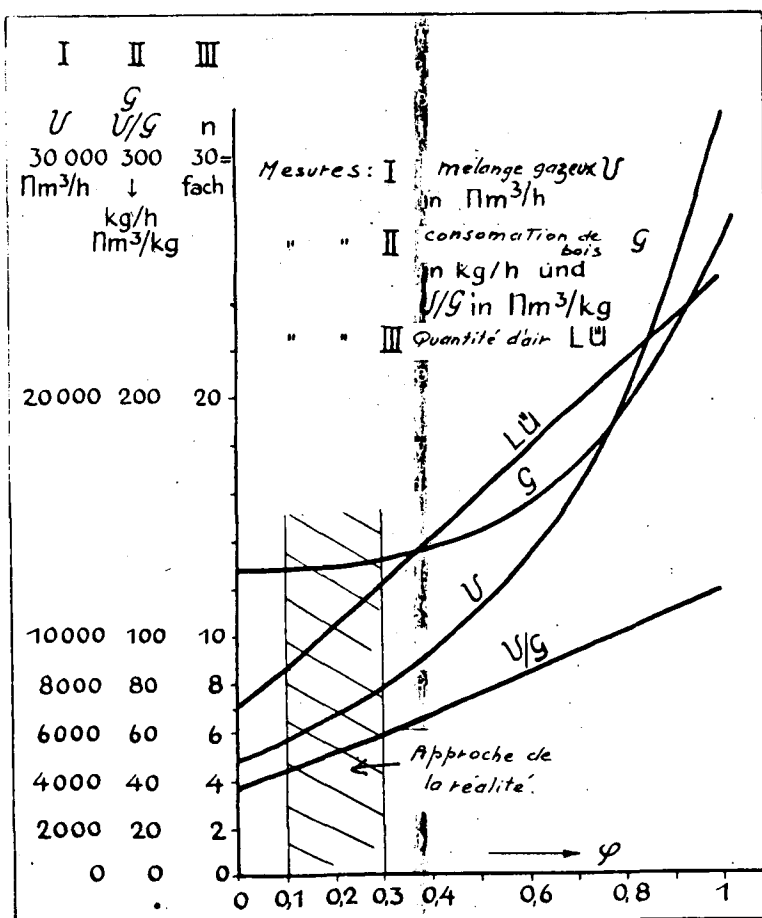


Fig. 328

Heureusement, dit-il, nous pouvons puiser aux deux sources. Tout d'abord, il se base sur un *texte de Statius*⁽³⁶⁰⁾ qui décrit la façon dont on fait un feu sous le sol d'une salle de jeu de balle. Ce dernier préconise peu de tirage et une quantité pas trop excessive de fumées (voir figure 328) avec une température de cheminée (ta, fig. 323) basse. Ces conditions se retrouvent plus dans la partie gauche que droite des figures 324 et 328.

Il reprend ensuite un texte de *Martia*⁽³⁶¹⁾ où on chauffe un sol de marbre par un feu modéré. L'autre source à laquelle se réfère F. Kretzschmer, est l'*expérience de Saalburg*. Si l'on compare les mesures des figures 324 et 328 avec celles de Saalburg, on remarque une équivalence dans la région graphique qui va de $\varphi = 0,1$ à $\varphi = 0,3$.

Pour établir cette comparaison, c'est la quantité de CO₂ et la quantité d'air qui ont été particulièrement déterminantes.

La figure 329 (tableau) nous montre les chiffres de comparaison entre Saalburg et l'Aula Palatina.

Nature de la mesure		Saalburg	Aula Palatina calculé pour C = 0,1... 0,3
quantité de CO ₂ dans la fumée		2,6... 1,4%	2... 1,5%
quantité d'air en surplus		7,4... 16 u.	8,6... 12 u.
Degré d'efficacité		90%	96... 92%
Perte de chaleur des fumées	Q ₃	10%	4... 8%
Température dans le praefurnium	te	320°... 220°	348°... 248°
Temp. moyenne dans la ch. de chaleur	t _{mh}	120°... 90°	184°... 159°
Température de passage de la chambre de chal. vers les « tubulatures »	t _ü	40°... 60°	40°... 61°
Température à la sortie des cheminées	ta	15°... 22°	13°... 19°
Température murale	V _W	19°... 30°	21°... 32°
Température des sols	V _B	25°... 35°	27°

Fig. 329

Il est à remarquer que les calculs donnent pour l'Aula Palatina des températures, dans la chambre de chaleur, plus élevées que celles relevées à Saalburg. Cela est normal si on tient compte du fait que, dans l'Aula, la surface du sol à chauffer est beaucoup plus grande.

A la suite de ce qui précède (témoignages et expérience), F. Kretzschmer considère qu'il faut admettre comme vraisemblable le rapport :

$$\varphi = 0,1 \text{ à } 0,3$$

ce qui veut dire, en d'autres termes, que de toute la capacité de chauffage, le sol reprend 10/11° à 10/13° ou 91 à 77% du chauffage, les murs reprennent 1/11° à 3/13° ou 9 à 23% du même chauffage.

La participation des murs « tubulés » au chauffage n'est pas vraiment considérable mais les calculs montrent qu'on ne peut vraiment s'en passer. Ils ont une capacité de chauffe de 9 à 23% de l'ensemble.

Pour une fonction moyenne de $\varphi = 0,2$ (fig. 325), on a une capacité de chaleur du sol de 480.000 Kcal/h. Le sol a 1.636 m² de surface, ce qui veut dire que l'hypocauste fournit par m² :

$$Q_1 = \frac{480.000}{1.636} = 294 \text{ Kcal/m}^2$$

Le besoin de chaleur moyenne d'un tel bâtiment doit se situer aux environs de 18 Kcal/m³. dans ce cas, 1 m² de surface du sol peut chauffer un volume en m³ de 294 : 18 = 16 m³ ou une colonne d'air de 16 m de hauteur sur 1 m² de base, cette hauteur est la hauteur limite. Cette hauteur limite peut varier en fonction d'autres composantes. Si l'on n'en tient pas compte, trois possibilités se présentent :

- 1) si un bâtiment est plus bas que cette hauteur limite, la capacité de chauffe du sol dépasse le besoin de chaleur. On doit donc, dans ce cas, ou chauffer parcimonieusement, ou obtenir une chaleur excédentaire qui peut être utilisée pour des pièces annexes.
- 2) si la hauteur du bâtiment est égale à cette hauteur limite, on n'a pas de chaleur excédentaire.
- 3) si la hauteur du bâtiment dépasse cette hauteur limite, il faut ajouter un chauffage mural supplémentaire.

Cette notion de hauteur limite pour un chauffage par le sol est importante. Et des bâtiments chauffés sur une telle hauteur n'existent pas (ou plus ?) en dehors de l'Aula Palatina de Trèves. C'est pourquoi, elle apparaît comme un cas unique.

Malgré sa hauteur de 30 m, l'Aula, d'après la figure 326, n'exigeait pas un chauffage mural ne dépassant guère, en moyenne 15%. Cela semble peu mais il ne faut pas oublier qu'il y avait 1.115 m² de surface murale chauffante. La grande surface compensait le peu de chaleur émise.

C'est pour cela qu'il paraît inexplicable, à première vue, que l'on ait « tubulé » les murs sur une hauteur de 8 m seulement, contrairement aux thermes où toute la surface murale était « tubulée » et même, dans certains cas, les voûtes.

Cette dernière constatation renforce F. Kretzschmer dans son opinion, à savoir que la « tubulature » des thermes ne chauffait pas, sinon, dans bien des cas, elle eut apporté une quantité de chaleur excédentaire⁽³⁶²⁾.

Les cheminées

L'Aula Palatina de Trèves est, dans le nord de l'Empire, le seul bâtiment conservé jusqu'à hauteur des cheminées (entre 8 et 10 m). On ne sut, pendant très longtemps, si les cheminées se prolongeaient jusqu'au toit (29 m) ou si elles sortaient à cet endroit à l'air libre. L'expérience de Saalburg, selon F. Kretzschmer, a tranché la question. Selon lui, les cheminées traversaient obliquement le mur et débouchaient à l'air libre à 10 m au-dessus du sol (fig. 322 - coupe verticale). En effet, elles fournissaient à cet endroit, une température $t_a = 13$ à 19° (fig. 324) par rapport à une température extérieure de $+ 4^\circ$ Celsius et un tirage de 1 mm WS⁽³⁶³⁾. Ce qui est plus que n'exige un feu de bois antique sans grille et avec passage d'air par-dessus.

F. Kretzschmer suppose que ces cheminées ne se terminaient pas de la façon dont on les trouve dans leur état actuel, par un simple trou, mais par une structure qui protégeait contre le vent. Parce qu'un vent d'une force moyenne de 1,5 mm/sec qui vient obliquement contre le mur, provoque déjà une pression de 1,5 mm WS et élève le tirage dans la cheminée de 1 mm WS.

L'Aula Palatina est un monument remarquable, les surfaces murales et les surfaces fenestrées sont séparées par de fins « piliers ». Ce qui est exceptionnel, c'est que cette élégance dans la construction ne descend pas jusqu'à la base mais commence seulement au tiers de la hauteur totale à cause de la « tubulature ». Ici se répète une caractéristique que l'on retrouve souvent. Aux thermes impériaux de Trèves, par exemple, les bains chauds, y compris le *caldarium*, montrent une surface de murs larges et fermés avec, à l'exception de l'abside centrale, des fenêtres hautes. Ces murs aveugles étaient nécessaires à l'installation des « tubulatures ». Les parties « tubulées » du bâtiment sont donc peu en relief et montrent à l'extérieur un aspect sombre et morne : il suffit de se référer aux palais de Constantin à Arles ou à la laideur des thermes de Pompéi.

* * *

NOTE

Impressionné par les quantités énormes de bois nécessaires pour chauffer l'Aula Palatina, nous avons demandé à une firme de chauffage à air chaud de calculer quelle devrait être la capacité d'un générateur à air chaud pour chauffer un tel bâtiment et quelle en serait la consommation (fuel) pour y maintenir une température intérieure de 15° Celsius avec une température extérieure de $+ 4^\circ$.

Calcul du nombre de Kcal (1 Kcal = 1.000 calories) nécessaires pour compenser les pertes de chaleur dues aux murs, aux fenêtres, etc...

$\Delta t = 11^\circ$ (différence entre la température intérieure et la température extérieure)

k = coefficient spécifique de conductibilité de chaque élément de construction (ex. : k = 6 pour les vitres).

Pour arriver à une température intérieure de 15° , il faut :

$$k \times \Delta t$$

Exemple : vitres : k = 6 ; donc $6 \times 11 = 66$ (coefficient de perte calorique par m^2 pour les vitres).

Pertes à compenser : vitres	: 1122 m^2 x 66 =	74.052 Kcal
murs	: 1318 x 5 =	6.950
	88 x 4 =	352
sol	: 1686 x 21 =	35.406
plafond	: 1686 x 31 =	<u>52.266</u>
		188.906 Kcal.

Volume du local : $1686 \times 29 = 48.894 m^3$.

Kcal nécessaires pour amener le volume d'air à une température de $+ 15^\circ$:

$$48.894 \times k(0,306) \times \Delta t = 164.577 \text{ Kcal.}$$

Il faut donc pour amener le local à une température de $+ 15^\circ$, en compensant les pertes caloriques :

$$188.906 + 164.577 = 353.483 \text{ Kcal/heure.}$$

Il faut encore multiplier ce nombre par un coefficient de perte calorique qui est dû à l'appareil de chauffage lui-même et qui est de 1,25 :

$$353.483 \times 1,25 = 441.854 \text{ Kcal/h.}$$

Ce chiffre est, à peu de chose près, celui auquel a abouti F. Kretzschmer dans ses calculs. Pour chauffer l'Aula Palatina avec des moyens modernes, il faudrait employer un générateur d'une capacité de 500.000 Kcal/h. Cependant, cet appareil ne peut renouveler le volume total d'air du local qu'une fois par heure, ce qui, selon le technicien consulté, est insuffisant pour une température de 15° . Il faut, dans ce cas, employer un générateur de 1.000.000 de Kcal/h. Pour arriver à la température voulue ($+ 15^\circ$), il faudrait mettre cet appareil en marche 8 à 10 heures à l'avance en fonctionnant la moitié du temps. Ensuite, lorsque le local serait à la température voulue et grâce au thermostat, il devrait fonctionner un quart d'heure environ par heure.

Consommation en fuel : un appareil de 1.000.000 Kcal consomme 142 litres de fuel à l'heure (capacité maximum) ce qui donne, au taux actuel : ($\pm 15 F$ l litre de fuel de chauffage) (janvi. 84).

$$142 \times \pm 15 = 2.130 \text{ francs à l'heure}$$

Générateur à bois

Cela est intéressant puisqu'il s'agit du même combustible que celui employé dans l'Antiquité. Cependant, il faut tenir compte du fait que les moyens modernes de chauffage utilisent d'une façon très différente les kilocalories produites par le bois (isolation, etc...)

$$1 \text{ kg de bois donne } 4.000 \text{ Kcal/h.}$$

A l'Aula Palatina, un générateur d'un million de kilocalories exige :

- a) pour le préchauffage : 250 kg de bois par heure
- b) pour maintenir le local à la température voulue, il est important, pour cet appareil, contrairement aux générateurs à mazout, d'être en fonctionnement continu. Cependant, la consommation peut être estimée raisonnablement en la situant aux environs de 125 kg de bois par heure (c.-à-d. la moitié de ce qu'il faut pour le préchauffage). Nous sommes loin du « *Ignis languidus* » de Statius !

- (357) *Aula Palatina*, *op. cit.*, voir note 103.
- (358) F. KRETZSCHMER, *Die Heizung der Aula Palatina in Trier, Ein Versuch ihrer Deutung und der Aufklärung ihrer Betriebsweise*, dans *Germania*, 33^e an., (1955), heft 3, pp. 200-210.
- (359) Cette liaison horizontale n'est pas, semble-t-il, une supposition ; elle aurait été retrouvée à plusieurs reprises au cours de fouilles. A *Carnuntum* (Altenbourg*, Autriche), par exemple, ville pour laquelle nous citons la référence de F. Kretzschmer, dans *RLIO*, 6, (1905), pp. 87-88 ; &, (1907), 33 p. (voir aussi fig. 272).
- (360) STATIUS (*Silvae*, I, 5, 58) : « ... ubi languidus ignis inerrat aedibus et tenueum volvunt hypocausta vaporem ».
- (361) MARTIAL (*Epigr.*, VI, 42, 15) : « ... Et flamma tenui calentophitae ».
- (362) Après ce passage, F. Kretzschmer a calculé la consommation de bois des cinq *praefurnia* de l'aula. Voir à ce sujet, p. 34.
- (363) 1 mm WS = voir page 175.