

# Récherche et application de la maçonnerie armée en Belgique

---

Par ir. O. Pfeffermann  
Belgique

## 1. Introduction

Dans la période de 1974 à '78 on a effectué en Belgique une recherche importante concernant la "Maçonnerie armée". Cette recherche a été exécutée dans le cadre du C.S.T.C. (Centre Scientifique et Technique de la Construction) en collaboration avec :

- le Centre de Recherche de l'Industrie du Fer (C.R.I.F.)
- l'Union des Agglomérés du Ciment de la Belgique (U.A.C.B.) et le Groupement National de l'Industrie de la Terre Cuite (G.N.T.)

Les essais ont été effectués par :

- La Katholiek Universiteit van Leuven (K.U.L.)
- La Rijks Universiteit van Gent (R.U.G.)
- La firme Bekaert Cockerill de Hemiksem (Anvers)
- La station d'experimentation de Limlette du C.S.T.C.

## 2. Programme de recherche

La recherche comportait deux volets :

- 2.1. - Etude des propriétés mécaniques
- 2.2. - Etude des propriétés physiques

2.1. L'étude des propriétés mécaniques comportait des :

- essais de compression centrée et excentrée
- essais de flexion verticale
- essais de flexion horizontale

Les murs étaient du type simple et creux (un mur de parement, un creux rempli ou non d'isolant et d'un mur porteur à l'intérieur). Comme matériau on a choisi les produits représentatifs du marché belge.

C.a.d. : - briques en terre cuite

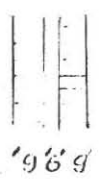
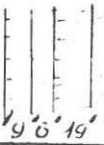
- blocs de béton lourd

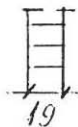
- blocs de béton léger

L'interprétation de ces essais a déjà donné lieu à de multiples publications (1), (2) et (3) pour cette raison nous ne nous en occuperons pas dans le cadre de cette étude. Nous nous arrêterons ici pour analyser :

## 2.2. Les essais physiques des mêmes types des murs que dans le programme des essais des propriétés mécaniques.

Tableau n° 1

	Type du mur	Armature	Type d'essais			
			résistance au feu	Conduc- tibilité thermi- que	Cor- ro- sion	Retrait
	1. <u>Murs creux</u>  1.1. En briques pleines	H1	F1		K1 K2	
<i>Idem</i>	1.2. En blocs de béton	H1	F2		K2 E	
	1.3. Briques pleines (9 cm) et perforées (19cm)	H1		T1 T2	A C	
<i>Idem</i>	1.4. Briques pleines (9 cm) et blocs creux de béton (19 cm)			C1		

	Type du mur	Arma- ture	Type d'essais			Retrait
			résis- tance au feu	Conduc- tibilité thermi- que	Cor- ro- sion	
	<b>2. Murs simples</b>  2.1. Briques perforées (19 cm)	H <sub>2</sub> +V	F5		B	
<i>Idem</i>	2.2. Idem	H <sub>3</sub> +V	F6		K6	
<i>Idem</i>	2.3. Blocs creux de bé- ton	H <sub>2</sub> +V	F7		K7 D	
<i>Idem</i>	2.4. Blocs pleines en argile expansée	H <sub>2</sub>	F10			
<i>Idem</i>	2.5. Blocs pleines en béton cellu- laire	H1 H1 non armé H1				K1 K2 K3 K4

## Remarques

### 1. Armatures

- Armatures horizontales (H), sont du type prefabriquées (MURFOR) (Fig 1 ) formée de deux fils longitudinaux reliés avec une diagonale. Les armatures de qualité BE50 sont protégées contre la corrosion. L'espacement des armatures a été de 25 cm (H1), 15 cm (H2) et respectivement de 10 cm (H3).

- Armatures verticales (V)

Il s'agit de barres  $\varnothing$  12 de qualité BE50 logées dans les évidements des blocs en béton ou des briques en terre cuite (Fig. 2).

2. Mortier

En general le mortier a été de qualité C300 (300 Kg ciment par m<sup>3</sup> de sable) donnant une résistance moyenne en compression de 9,5 N/mm<sup>2</sup>.

Pour le mur en blocs cellulaires on a ajouté au mortier submentionné un adjuvant (35 Kg ADYTONG par m<sup>3</sup>) agissant comme reteneur d'eau lui conférant une meilleure adhérence.

3. Les briques et blocs

La resistance moyenne des matériaux utilisés est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau n° 2

Nature du matériau	Dimensions nominales (cm)	Résistance	
		Moyenne à la compression N/mm <sup>2</sup>	Ecart-type N/mm <sup>2</sup>
Blocs creux en béton lourd	39 x 19 x 19	18	1,5
	39 x 14 x 19	16	2,4
Blocs pleins en béton lourd	39 x 9 x 19	25,1	2,7
Briques perforées	29 x 14 x 14	9,9	1,3
	29 x 19 x 14	15,4	1,0
	19 x 9 x 6,5	15,7	1,2

Nature du matériau	Dimensions nominales (cm)	Résistance	
		Moyenne à la compression N/mm <sup>2</sup>	Ecart-type N/mm <sup>2</sup>
Briques avec évidements	29 x 14 x 9	27,1	2,1
Blocs pleins en béton cellulaire (Ytong)	49 x 24 x 24	3,5	0,4
Blocs pleins en béton d'argile expansée (Argex)	39 x 14 x 19	4,1	0,6

Nous passerons maintenant en revue les différents essais.

#### 4. Essais de résistance au feu

Les essais ont été effectués suivant les prescriptions belges NBN 713-020 et ISO 834. La résistance à l'incendie d'un mur est définie par le temps durant lequel le mur soumis à un "feu normalisé" répond néanmoins simultanément à 3 critères :

1. La stabilité sous l'action de son poids ainsi que d'une charge additionnelle (dans notre cas 7 N/mm<sup>2</sup>).
2. Etanchéité aux flammes est en liaison avec l'ouverture des fissures et est effective tant qu'un fil de coton ne s'embrase pas lorsqu'on le place sur la face du mur opposé au feu.
3. Isolation thermique, l'augmentation de la température de la surface du mur du côté opposé au feu devait être en moyenne inférieure à 140°C sans jamais dépasser 180° en aucun point.

Les murs essayés avaient une dimension de  $\pm 2,30 \times 3,40$  m (largeur x hauteur) et ont été maçonnés au laboratoire et ensuite conservés au moins 28 jours avant l'essai proprement dit. Cet essai avait lieu dans un four dont le mur à essayer constituait un des parois.

Dans le four on a ensuite réalisé un feu normalisé dont la température moyenne répondait à la loi :

$$t - t_0 = 345 \log (8 \tau + 1)$$

où  $\tau$  - est le temps en minutes.

Des thermocouples ont été placés sur les faces des murs ainsi que sur les armatures.

Voici les caractéristiques des murs essayés :

Tableau n° 3

Essai Nr.	Briques ou Blocs			Mortier		Armatures	
	Type	Dimension mm	Resist. moyenne N/mm <sup>2</sup>	Type	Resist. moy. en compré- sion	Horizon- tales	Ver- ti- cales
F1	Briques pleines	190 x 90 x 65	15,30	C300	N/mm <sup>2</sup> ± 9,5	Prefab	-
F2	Blocs pleins en bé- ton	390 x 190 x 90	23,20	C300	± 9,5	Prefab	-
F5	Briques perfo- rées	290 x 140 x 140	16,60	C300	± 9,5	Prefab	Ø 14/ 15 cm
F6	Briques perfo- rées	290 x 190 x 140	21,20	C300	± 9,5	Prefab	-
F7	Blocs en bé- ton	390 x 190 x 140	15,80	C300	± 9,5	Prefab	Ø 14/ 20 cm
F10	Blocs pleins en ar- gile expan- sée	390 x 190 x 190	6,50	C200 G100	11,80	Prefab	-

Les mortiers mentionnés ont comme composition :

C300 - 300 Kg ciment/m<sup>3</sup> de sable

C200 - G100 - 200 Kg ciment + 100 Kg de chaux grasse/m<sup>3</sup> de sable.

Les armatures étaient du type préfabriqué (voir fig. 1) d'une qualité BE50.

Le tableau ci-dessous donne les résultats des essais :

Tableau n° 4

Es-sai n°	Description	Armatures	R.F. mur armé	R.F. mur non armé	Critère non satisfait du mur armé
F1	mur creux en briques	horizont.	154 min.	--	stabilité mécanique
F2	mur creux en blocs béton	horizont.	67 min.	--	stabilité mécanique
F5	briques perforées	horizont. vertical	212 min.	243 min.	isolation thermique
F6	briques perforées	horizont.	309 min.	Argile de Boom 353 min. Argile d'Ypres >360 min.	isolation thermique
F7	blocs béton	horizont. vertical	182 min.	--	isolation thermique
F10	Mur en blocs d'argile expansée	horizont.	>360 min.	> 360 min.	---

Le tableau indique la résistance au feu des différents murs ainsi que le critère "non satisfait" du mur armé.

Parallèlement nous avons indiqué des résultats des essais sur des murs non armés de même genre effectués en Belgique (1). Il est à ce propos intéressant de figurer les résultats de ces essais sur deux diagrammes (1), de résistance au feu de différents murs non armés.

Le premier (Fig. 3) se réfère aux murs en briques de terre-cuite le deuxième aux murs en blocs de béton. (Fig 4)

Les conclusions de la recherche sont les suivantes :

1. Pour les murs armés uniquement d'une armature horizontale préfabriquée la résistance au feu n'a été influencée que très légèrement. La résistance au feu de ces murs reste encore très supérieure à celle exigée par les prescriptions. Un effet positif des armatures est la diminution de l'ouverture des fissures ce qui est très favorable pour les critères de stabilité et d'étanchéité aux flammes.
2. Pour les murs simples : F5 - F6 - F7, le critère non satisfait a été l'isolation thermique. Cela s'explique de deux manières :
  - Comme nous l'avons mentionné plus haut les autres critères (stabilité et étanchéité aux flammes) sont plutôt stabilisés sous l'action des armatures.
  - Grâce aux armatures la température sur la face non échauffée monte plus rapidement qu'au cas des murs non armés. Le critère de l'isolation thermique est ainsi atteint plus rapidement.

Pour les murs armés horizontalement et verticalement ce phénomène est plus accentué qu'au cas des murs armés uniquement d'une armature horizontale type préfabriqué.
3. En schématisant la différence de comportement entre les murs non armés et les murs armés on obtient le diagramme (fig. 5). On constate que la déformation horizontale des murs non armés est généralement jusqu'à environ 60 minutes supérieure à celle des murs armés. Après ce délai la déformation du mur armé est plus importante que celle du mur non armé. Cette déformation



est rendue possible grâce à la présence des armatures.

4. Pour les murs creux le critère non satisfait à été la stabilité mécanique. On n'a pas effectué en Belgique des essais au feu sur de pareils murs non armés. Ainsi on n'a pas des valeurs sur l'éventuelle influence des armatures. Les prescriptions belges exigent pour les murs extérieurs une résistance au feu de min. 60 minutes. Les murs essayés satisfont donc à cette exigence.

Le fait que le critère de la stabilité est atteint pour ces types de murs s'explique par l'effet bimétal.

Nous avons une paroi chaude et une autre froide ou relativement froide. Les dilatations différentielles sont assez grandes amenant à des déformations importantes (et donc des excentricités de charge).

#### 5. Essais de conductibilité thermique

Il s'agit d'un essai de comparaison entre un mur creux armé d'une armature horizontale préfabriquée et un autre mur non armé.

Les murs étaient composés (fig. 6) (de l'intérieur vers l'extérieur) d'un mur en briques perforées de 14 cm d'épaisseur, un vide d'air de 6 cm d'épaisseur et d'un mur de briques pleines apparentes de 9 cm d'épaisseur.

Les essais ont été réalisés dans une chambre chaude-froide (Cold box - hot box) dont le mur à essayer constitue la séparation. La chambre chaude était équipée d'un corps de chauffe électrique à convection naturelle disposé en opposition vis-à-vis du mur testé. On mesure à l'aide des thermostats le flux de chaleur qui passe à travers le mur.

Dans les deux cas on a trouvé pour le coefficient de conductibilité thermique global la valeur de  $1,77 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

Le flux de chaleur a été de  $31,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  pour une différence de température de  $\Delta t = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Pour une épaisseur totale de 29 cm le coefficient  $\lambda$  pour le mur creux sera  $\lambda = \frac{q \cdot d}{\Delta t} = 0,475 \text{ W/m K}$ .

### Conclusion

La chaleur transmise par les armatures est vite dissipée au contact avec l'air frais. La transmission de la chaleur par convection de l'air du creux reprend ainsi le supplément d'énergie du pont thermique.

Il est bien entendu que ces conclusions ne sont valables que pour les armatures d'un diamètre relativement faible et préfabriquées.

### 6. Bibliographie

1. De weerstand bij brand van muren in metselwerk - Herpol, Minne, Vandeveld - Rijks Universiteit van Gent.
2. Rapport de recherche concernant la "Maçonnerie armée" Pfeffermann, Bâty - C.S.T.C. 1982.
3. La maçonnerie armée - Recherche, Calcul, Mise en oeuvre Pfeffermann, Bâty - Revue du C.S.T.C. - Septembre 1980

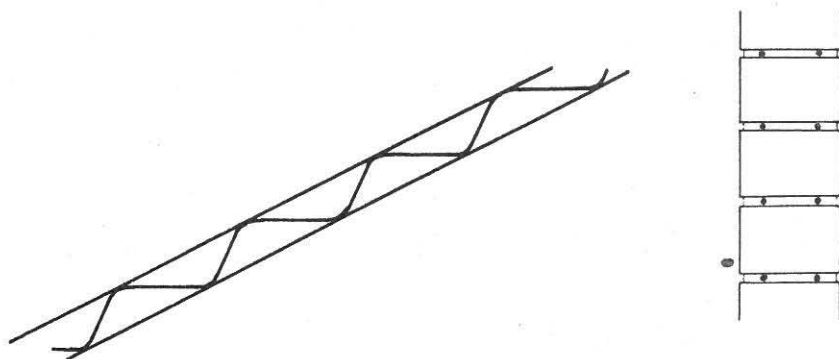


Fig.1.

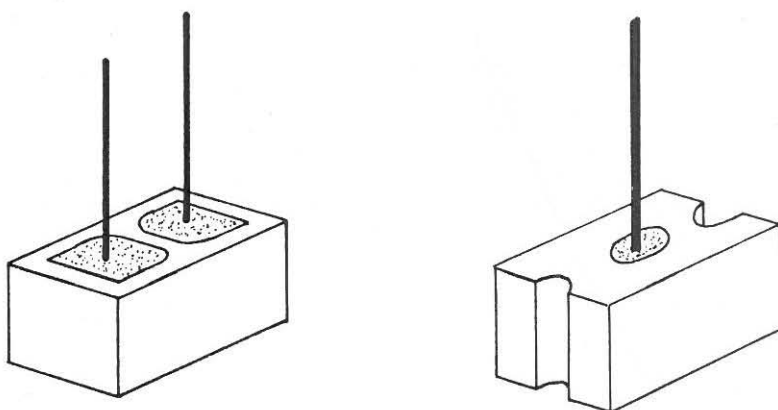
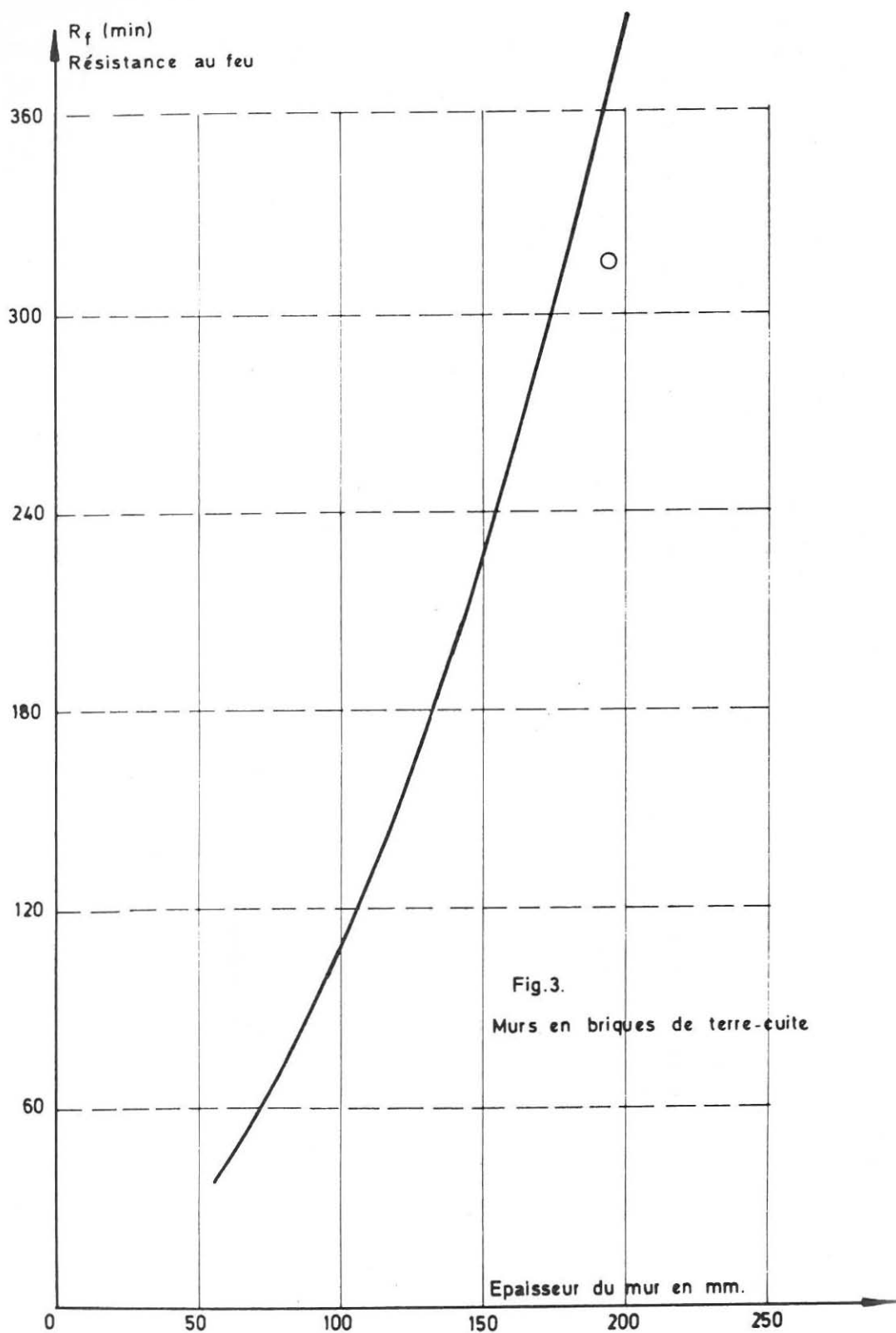
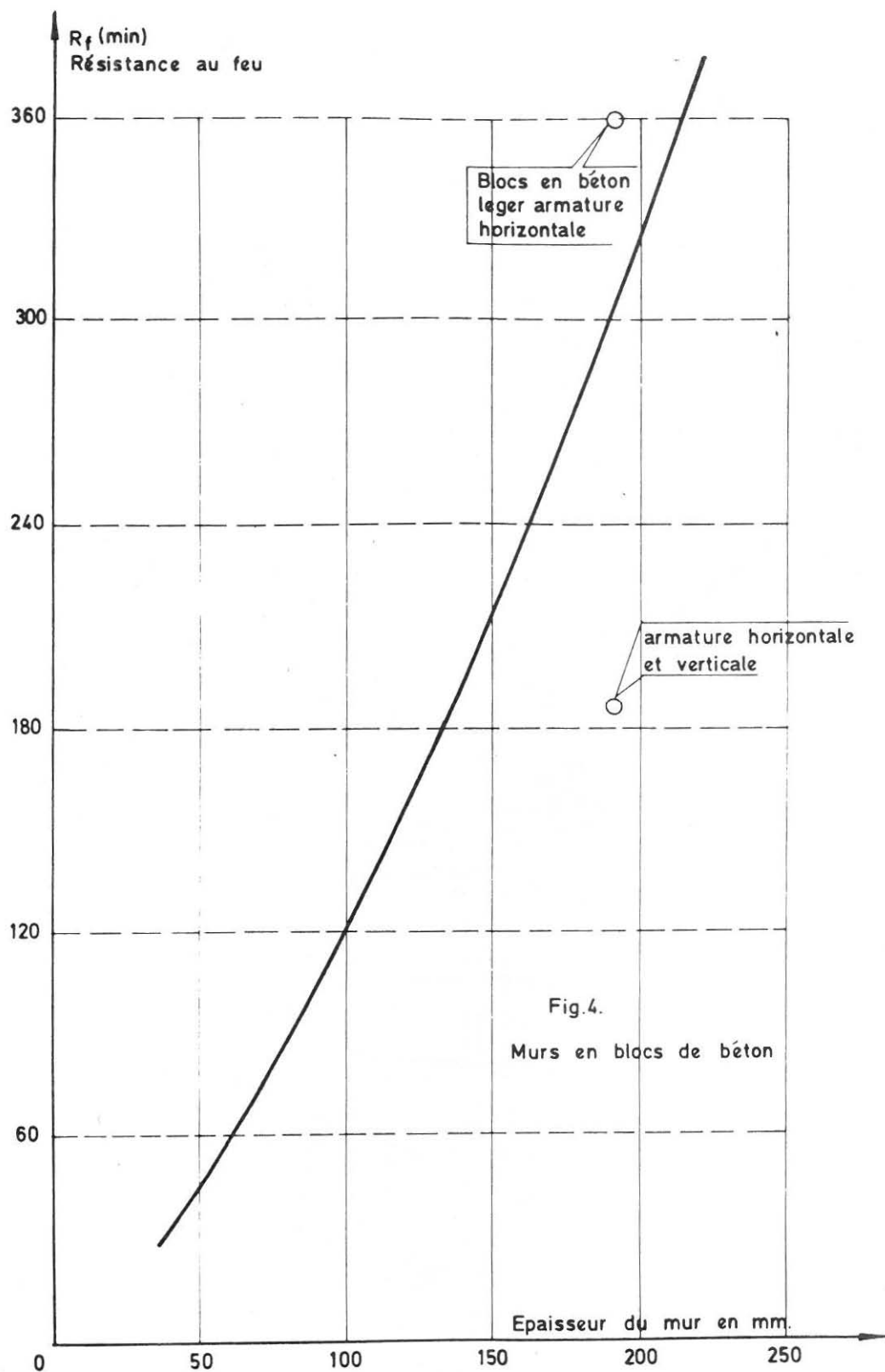


Fig.2.





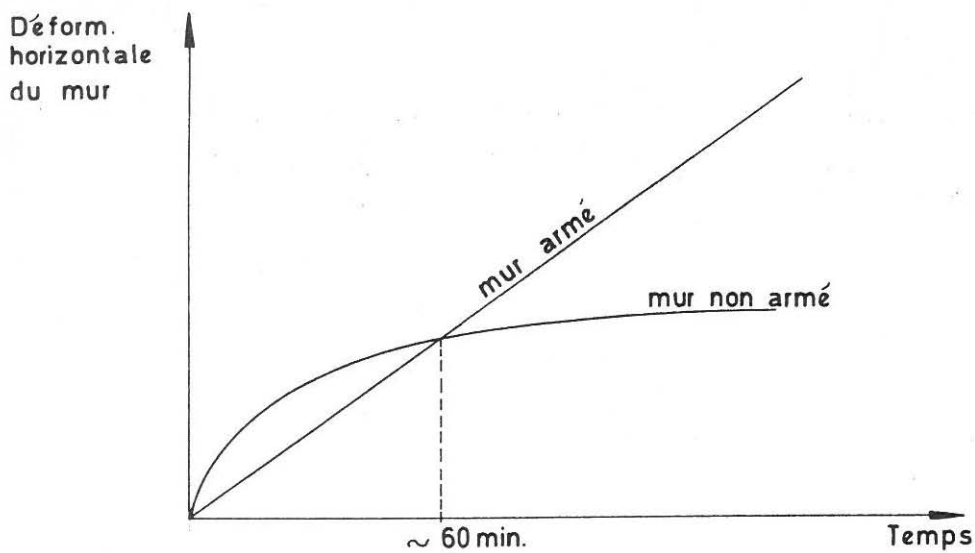


Fig. 5.

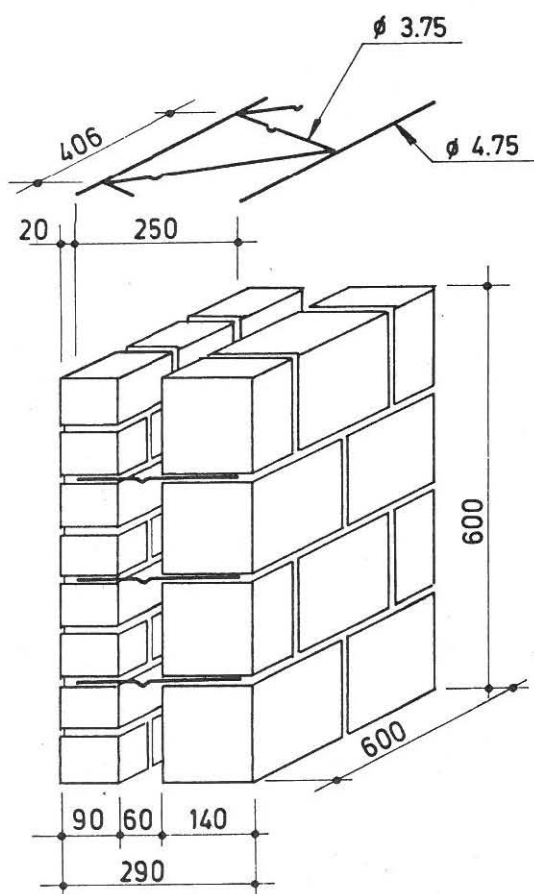


Fig. 6.

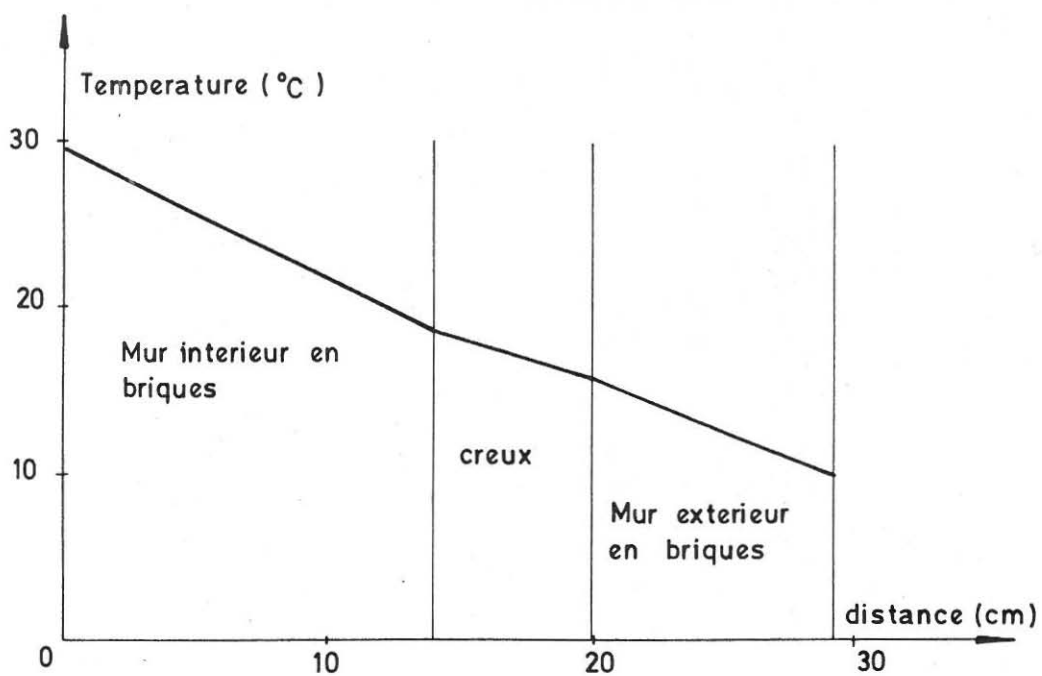


Fig. 6.<sup>a</sup>