

OPTIMISATION DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DES AGGLOMÉRÉS DE BÉTONS

S. BELMAHI, F. GHOMARI, A. BAGHLI

Laboratoire EOLE, Département de Génie Civil de la faculté de Technologie, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, BP 230 Chetouane, Tlemcen 13000, Algérie

1. INTRODUCTION

La maçonnerie et en particulier le bloc de béton à usage d'habitation, est peut-être le matériau de construction le plus utilisé de nos jours dans les pays développés, mais aussi dans les pays en voie de développement. Les blocs en béton sont majoritairement constitués de matières premières naturelles avec plus de 85 % de ressources minérales (granulats et ciment) et moins de 15 % d'eau. Les caractéristiques du matériau en termes de durabilité, d'isolation acoustique et de la protection climatique font participer pleinement le produit au confort intérieur du bâtiment. De plus, le bloc de béton est un matériau inerte, aisément recyclable.

La présente recherche est principalement axée sur la réalisation d'une enquête sur les agglomérés de bloc de béton dans la ville de Tlemcen (ALGERIE) fabriqués de manière

artisanale, à base de matériaux locaux. L'enquête a pour objectifs d'une part de situer l'ensemble des plates-formes de confection de ces agglomérats de béton dans le Grand Tlemcen et d'autre part de fournir les informations nécessaires sur la fabrication de ce matériau (matériels et matériaux utilisés, consommation en terme de matière première (ciment et granulats), d'énergie et de produit fini) et ainsi d'identifier les caractéristiques physiques et mécaniques de ce matériau de construction.

À partir d'un programme expérimental basé sur les résultats de l'enquête, et les exigences de la norme NF EN 772 (Blocs en béton de granulats courants et légers), nous avons mesuré au laboratoire les caractéristiques géométriques et la masse volumique, le coefficient d'absorption par capillarité et par immersion, la variation dimensionnelle entre états conventionnels (retrait et gonflement) et la résistance à la compression.

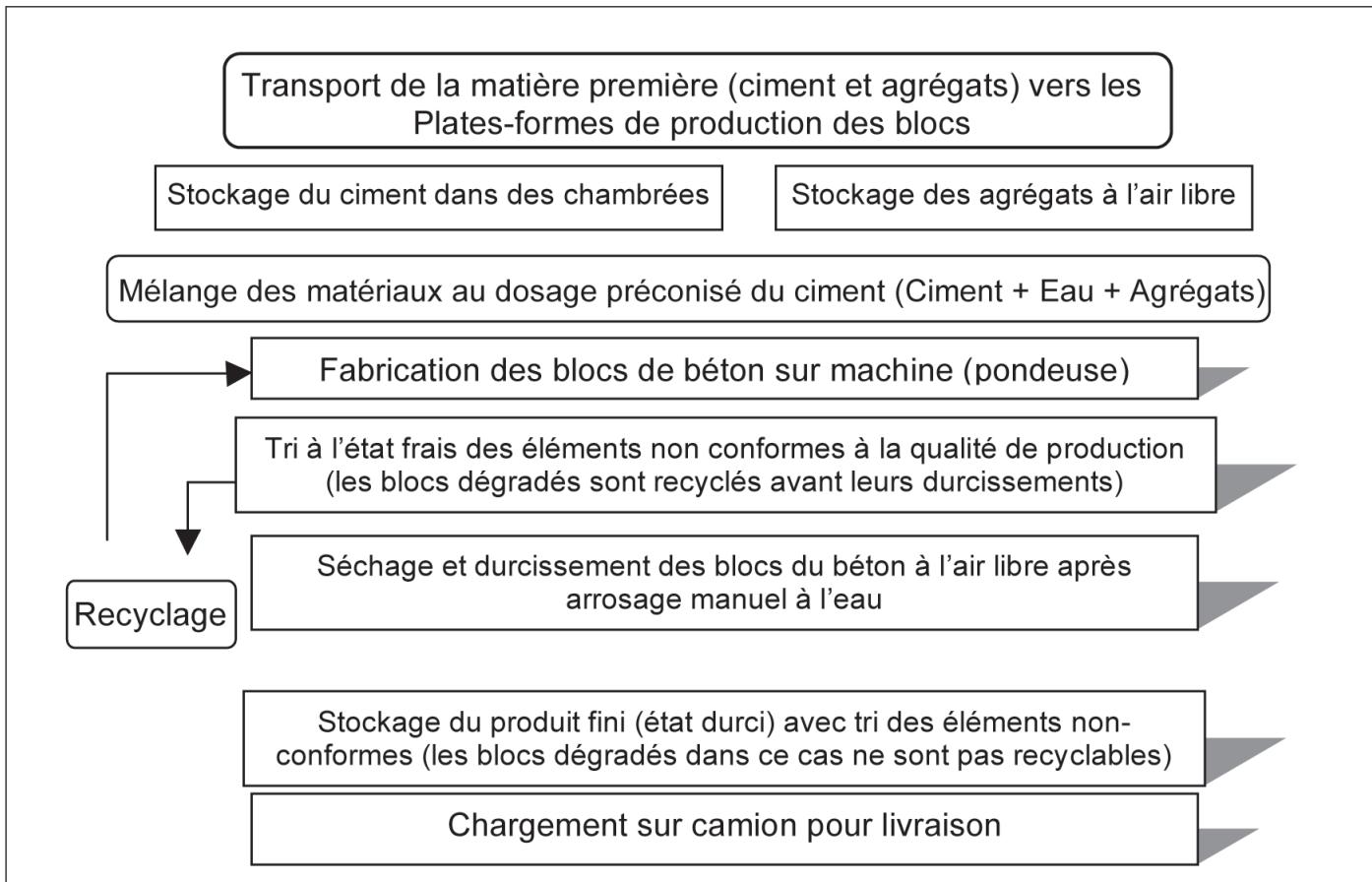


Figure 1. Organigramme du procédé de fabrication.

2. RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE

2.1 Production des blocs de béton

Le bloc de béton comme tous les matériaux de construction, passe par plusieurs phases dans sa vie de fabrication jusqu'à sa destruction. La figure (1) explique brièvement la procédure de fabrication du bloc.

La fabrication artisanale des blocs de béton sur la vingtaine de plates-formes que compte le grand Tlemcen, se limite aux types indiqués dans le tableau 1.

Dimension en cm	Structure interne des blocs
Bloc 40 x 10 x 20, Bloc 40 x 15 x 20 et Bloc 40 x 20 x 20	Blocs creux
Hourdis	/

Tableau 1. Types de bloc de béton fabriqués dans le Grand Tlemcen.

La production journalière des blocs dans le grand Tlemcen est donnée sur la figure 2, elle est estimée à 28050 unités.

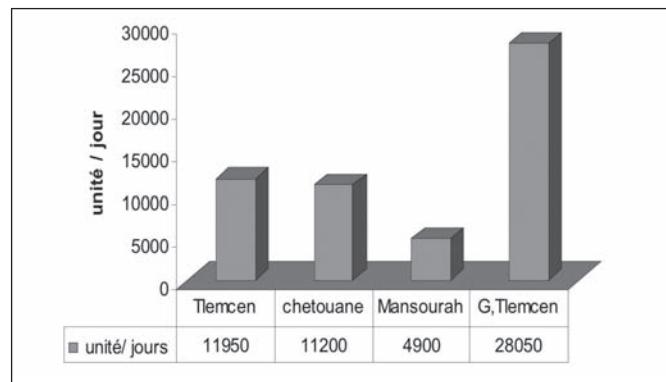


Figure 2. Production journalière des blocs au sein des communes du grand Tlemcen

2.2 Formulations et composition

Le béton de bloc est un béton d'aspect plutôt semi humide ou sec. Il est composé principalement de (tableau 2) :

- Granulats (gravillons et sables) : les granulats utilisés pour la confection des blocs de béton, dans le Grand Tlemcen proviennent des carrières Koudia, Ouchba et Zeddiga (Wilaya de Tlemcen). Les granulats occupent une grande partie du volume total de ce béton 78 à 83 %,
- Ciment : le dosage en ciment par rapport aux matières sèches varie d'une plate-forme à une autre. Le ciment utilisé est de classe CPJ CEM II/A 42.5 ; il occupe 10 à 14 % du volume du mélange,

Plates-formes	6-8-17-19		2-10-12-14		1-3-4-5-9-11-13-15-21		7-16-18-20	
N° de la Composition	1		2		3		4	
	V(l)	M (Kg)	V(l)	M (Kg)	V(l)	M (Kg)	V(l)	M (Kg)
Sable (S)	140	198.8	105	149.1	70	99.4	105	149.1
Gravier (G)	280	392	245	343	210	249	140	196
Ciment (C)	50	50	50	50	50	50	50	50
Eau (E)	35	35	35	35	35	35	35	35
Total	505	675.8	435	577.1	365	478.4	330	430.1
C/A (A=G+S)	0.12	/	0.14	/	0.18	/	0.20	/
E/C	0.7	0.7	0.7	0.7				
T _{moy} (°c)	23.5		24.1		17.5		24.5	
Durée d'arrosage à l'eau (min)	50		75		60		90	

Tableau 2. Les compositions de béton, retenues après enquête.

– Eau : la quantité d'eau de gâchage varie en fonction de la nature des granulats (humidité résiduelle, absorption d'eau) et du dosage en ciment. Le rapport E/C est d'environ 0,7.

La composition du béton utilisée pour la fabrication artisanale des blocs de béton n'est pas formulée à l'aide de méthodes conventionnelles comme celle de Faury ou Dreux-Goris. C'est le propriétaire qui au pif indique aux ouvriers, les quantités de sable, de gravier et d'eau pour le mélange. Les formulations des bétons retenues après enquête sont au nombre de quatre et dépendent du facteur C/A (voir tableau 2).

l'origine des granulats et la classe de béton confectionné, autrement dit pour chaque carrière, nous avons choisi différentes classes de béton en fonction du rapport C/A. Dans la présente publication, nous avons sélectionné les plates-formes utilisant la carrière OUCHBA comme exemple pour étudier les différents paramètres représentant la qualité des blocs. Les propriétés de ces plates-formes sélectionnées sont données dans le tableau 2.

L'opération à suivre pour la sélection des échantillons dans les plates-formes de production de bloc est basée sur deux principes :

- Le nombre de prélèvements : pour chaque plate-forme, il doit être représentatif de la fabrication totale (environ 5 prélèvements de 4 à 5 blocs, ce qui donne environ 20 à 25 blocs par plate-forme).
- Différentes gâchées : les blocs sélectionnés appartiennent aux différentes gâchées réparties sur des intervalles de temps différents. Le prélèvement se fait pour différentes poses de blocs sur plusieurs rangées.

3. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Nous avons sélectionné huit plates-formes représentatives pour réaliser les essais au laboratoire et vérifier les résultats obtenus selon les normes consignées dans le tableau 3. Les critères de choix des plates-formes retenues sont :

Essais	Normes	Exigences
Vérification des dimensions géométriques	NF EN 772-16, CERIB n° 389	L, l : ± 2 (mm) h : ± 1.5 (mm)
Mesure du coefficient d'absorption par capillarité	NF EN 772-11, CERIB n° 405	3 (g/m ² .s)
Mesure de la masse volumique	NF EN 771-3, CERIB n° 391	1950 à 2150 (kg/m ³)
Mesure de la variation dimensionnelle	NF EN 772-14, CERIB n° 66	0.45 (mm/m)
Mesure de la résistance à la compression	NF EN 772-1, CERIB n° 390 et 408	4 (MPa) pour un bloc B40

Tableau 3. Les différents essais réalisés au laboratoire selon la norme [AFN, 06].

Une pose c'est l'ensemble des blocs de béton obtenus après leur démolage sur plate forme (figure 3). Chaque pose est identifiée par :

- le temps de vibration sur machine pour le compactage des blocs.
- le numéro de chaque bloc par rapport à sa propre pose et aux autres poses.

La figure 3 représente un schéma de prélèvement des blocs par ordre de fabrication sur différentes rangées de fabrication et de poses. Par exemple la pose sélectionnée sur la figure 3 est notée comme suit :

3 b 2-1 : plate-forme N° 03, bloc de la pose choisie N° 02, position 1.

3 b 2-2 : plate-forme N° 03, bloc de la pose N° 02, position 2.

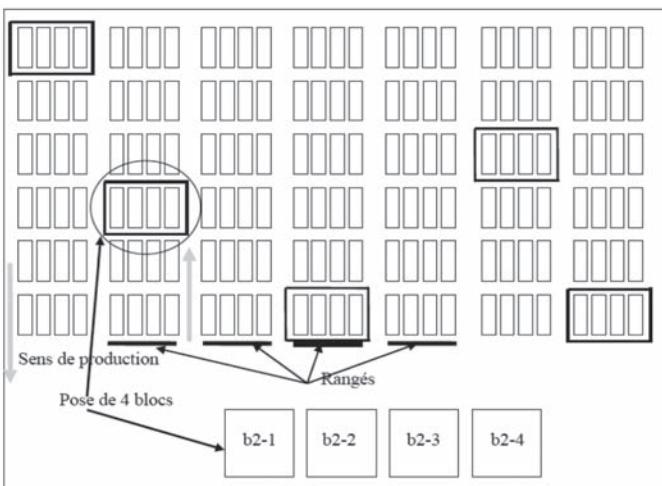


Figure 3 : Prélèvement in situ des parpaings.

Les blocs sont laissés ensuite sur place pendant deux jours pour durcir après arrosage à l'eau, puis ils sont transportés vers le laboratoire et déposés sur des palettes en bois (figure 4) dans les conditions de température et d'humidité du local.

4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

4.1 Absorption à l'eau (NF EN 772-11, CERIB n° 405)

L'essai consiste à immerger, pendant dix minutes, une face lisse de parement du bloc de façon qu'elle soit 5 mm au dessous du niveau de l'eau. On note P_0 et P_1 , poids avant et après immersion.

Le coefficient C_{bc} d'absorption d'eau de chaque bloc est conventionnellement exprimé par l'équation n°1:

$$C_{bc} = \frac{M}{S * T} = \frac{(P_1 - P_0)}{S * 600} \quad [1]$$

Avec :

M : la masse d'eau, en gramme, absorbée par le bloc durant l'essai ;

S : la surface de la face immergée, en mètre carré ;

t : la durée d'immersion du bloc en secondes ($t = 10$ min = 600 s).

Nous remarquons sur la figure 5 que l'ensemble des compositions dépassent le seuil du coefficient d'absorption par capillarité limité à 3 g/m²s. Ce qui se traduit par une capillarité élevée des blocs.

Nous comparons les résultats des blocs ayant des granulats de même origine (figure 6). Nous observons à partir du rapport Ciment/Agrégats (C/A) que les blocs à faibles dosages en ciment absorbent une quantité d'eau significativement plus élevée que les autres induisant un coefficient d'absorption d'eau plus élevé. Cela pourrait être attribué à une plus grande quantité de pores [SKA, 89] et à la présence d'une zone de transition entre pâte et agrégats [NEH, 03] résultant des réactions de l'hydratation des composants hydrauliques.

La durée d'immersion pour l'essai d'absorption d'eau par capillarité est estimée à 10 min selon les exigences de la norme [AFN, 06]. Nous avons réalisé ensuite des essais avec



Figure 4 : Conservation des blocs au laboratoire.

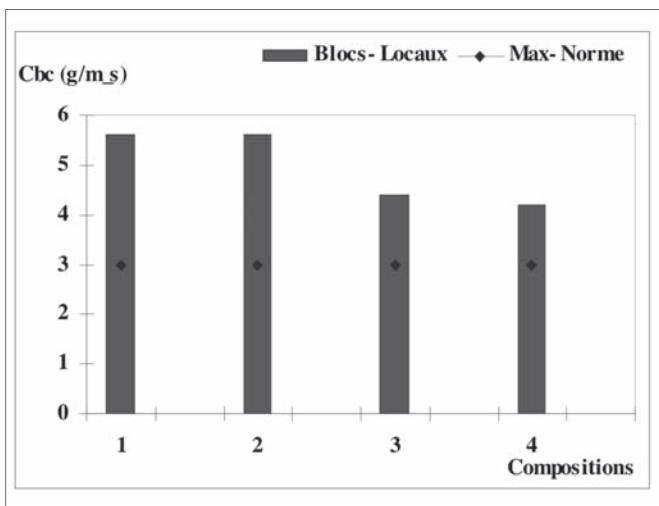


Figure 5. Coefficient d'absorption par capillarité des blocs.

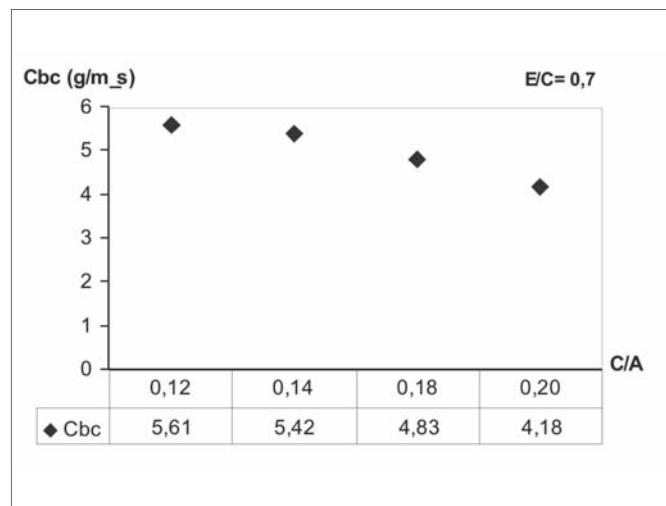


Figure 6. Variation du coefficient d'absorption en fonction du rapport C/A.

des durées d'absorption de 20 et 30 minutes ; mais la variation de cette absorption est négligeable. Alors la première mesure (10 min) reste la plus représentative de ce coefficient. Une autre explication de l'augmentation du coefficient d'absorption, a trait à l'influence des constituants du mélange, à la qualification du manœuvre, aux conditions de stockage et de protection pendant la durée du séchage et à la vibration de la pondeuse qui a pour objectif de faciliter l'opération de compactage du béton à l'état frais. On définit la notion d'ouvrabilité comme étant la capacité du béton frais à être transporté et mis en place suffisamment facilement et sans ségrégation [PAT, 2004]. La vibration a donc une influence sur l'ouvrabilité du matériau : d'abord elle favorise sa mise en place, elle agit sur le frottement entre les gros grains et enfin, la vibration agit sur les bulles d'air qui remontent à la surface du béton. Elle est caractérisée par les paramètres suivants: direction principale de vibration, fréquence, amplitude ou vitesse et durée d'application.

4.2 Masse volumique (NF EN 771-3, CERIB n° 391)

Le principe de cet essai consiste à déterminer, par la méthode de la pesée hydrostatique, la masse volumique d'éprouvettes de (10 x 10 x 2) cm ± 1cm, prélevées par sciage sur les parois des blocs (voir figure 7).

La masse volumique est calculée par l'équation n° 2 :

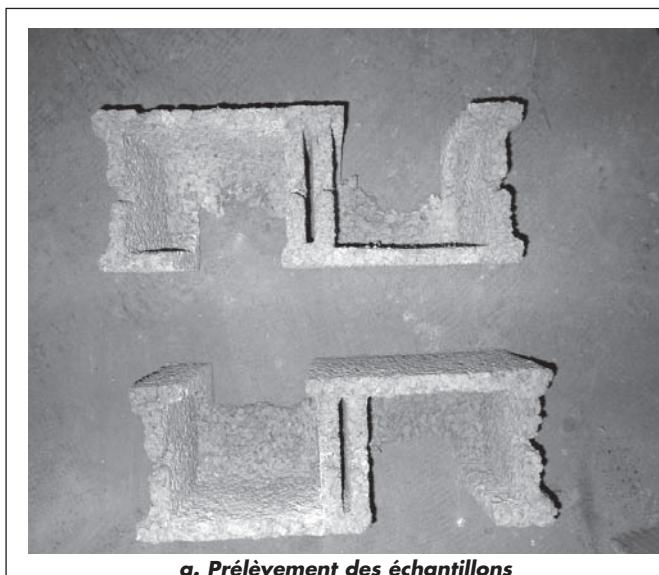
$$\rho = \frac{P_0}{V_e} = \frac{(P_0)}{V_{ep} - V_p} \quad [2]$$

V_e : volume de l'échantillon (m³)

V_p : Volume de paraffine (m³)

V_{ep} : Volume de l'échantillon paraffiné (m³)

P_0 : masse de l'échantillon sec (Kg)



a. Prélèvement des échantillons



b. Echantillons de bloc paraffinés

Figure 7. Préparation des échantillons de bloc pour la mesure de la masse volumique (NF EN 771-3)

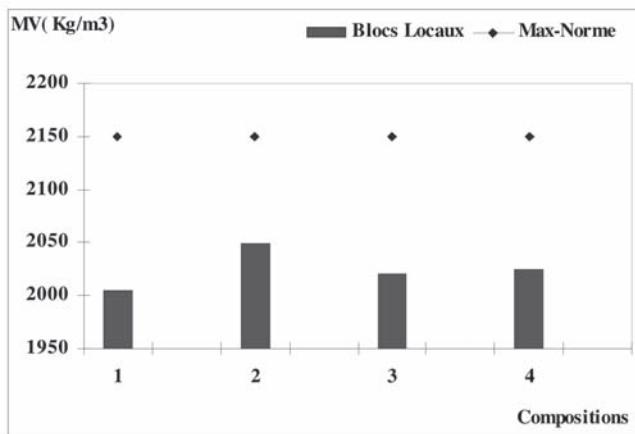


Figure 8. Masses volumiques des blocs et limites de la norme.

Nous remarquons sur la figure 8, que l'ensemble des plates-formes présente des valeurs de la masse volumique se situant dans l'intervalle 2000 à 2050 kg/m³, ce qui correspond aux valeurs préconisées par la norme.

4.3 Variation dimensionnelle extrêmes (NF EN 772-14, CERIB n° 66)

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'un déformomètre à bille (cf. figure 9), la variation dimensionnelle maximale que les blocs, objets de l'essai, peuvent effectuer dans des conditions conventionnelles définies, soit :

- Le retrait par séchage : mesuré après 21 jours de conservation dans une étuve ventilée à 33°C, (figure 10).
- Le gonflement : mesuré après 96 heures (4 jours) d'immersion dans un bac d'eau, (figure 11).
- L'amplitude de la variation dimensionnelle entre états conventionnels de l'échantillon doit être au plus égale à 0.450 mm/m [AFN, 06]. Elle est donnée par l'équation n° 3.

$$\frac{\Delta l_c}{l} = \frac{\Delta l_g}{l} + \frac{\Delta l_r}{l} \quad [3]$$

$\frac{\Delta l_g}{l}$: L'amplitude du gonflement des trois blocs.

$\frac{\Delta l_r}{l}$: L'amplitude du retrait

La figure 12, montre clairement que les résultats de la variation dimensionnelle ne dépassent pas la limite tolérée par la norme qui est de 0.45 mm/m.

Nous remarquons sur la figure 13 que la variation dimensionnelle des blocs augmente avec l'augmentation du rapport C/A. Selon [POY, 03], le gonflement est lié à l'attaque du réseau siliceux. Et selon [FER, 86], le retrait est influencé par les conditions de séchage puisque le béton présente un état semi humide.

La valeur élevée de la variation dimensionnelle avec le rapport C/A = 0.12, est due selon le tableau 2 à l'insuffisance de la quantité d'eau d'arrosage utilisée pour protéger les blocs contre l'effet de la température notamment le retrait. Alors, la quantité d'eau d'arrosage doit dépendre de la quantité des blocs à arroser et de la température du milieu, pour conserver l'humidité interne des blocs de béton.

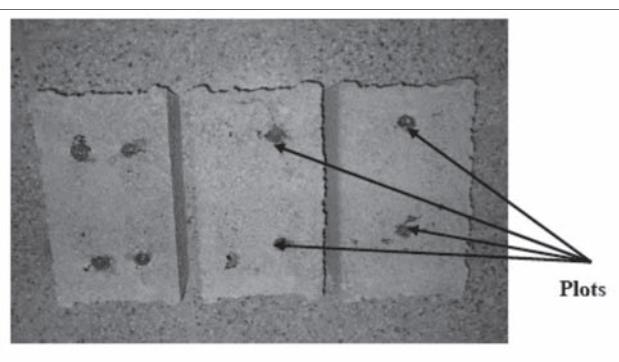
4.4 La résistance à la compression

La caractéristique essentielle des blocs de béton est la résistance mécanique en compression à l'âge de 28 jours. Elle est mesurée à l'aide de la machine didactique universelle, conforme aux normes NF P 18-411 et NF P18-412.

La contrainte de rupture (R) est calculée selon la formule n°4 :

$$R = \frac{P}{S_n} \quad [\text{MPa}] \quad [4]$$

P : charge [N] S_n : surface nette [mm²]



a. position des plots



b. lecture sur les blocs

Figure 9. Mesure du retrait et gonflement à l'aide du déformomètre à bille.



Figure 10. Séchage des blocs dans une étuve ventilée à 33° C.

Nous remarquons sur la figure 14, que les blocs de béton représentent une qualité très médiocre pour la résistance à la compression où les valeurs obtenues sont nettement inférieures à la valeur minimale tolérée par la norme, estimée à 4 MPa.

Contrairement aux résultats de la variation dimensionnelle, nous remarquons sur la figure 15 que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du rapport

C/A et en particulier du dosage en ciment. Nous pouvons donc retenir que le dosage en ciment a une influence directe sur la qualité des blocs de béton tel qu'il augmente d'une façon positive la résistance à la compression et d'une façon négative la variation dimensionnelle. Mais d'après ce que nous avons obtenu comme résultats, les quantités de ciment utilisées sont majoritairement limites par rapport à la variation dimensionnelle normalisée.



Figure 11. Mesure du gonflement par immersion (blocs dans le bac à eaux).

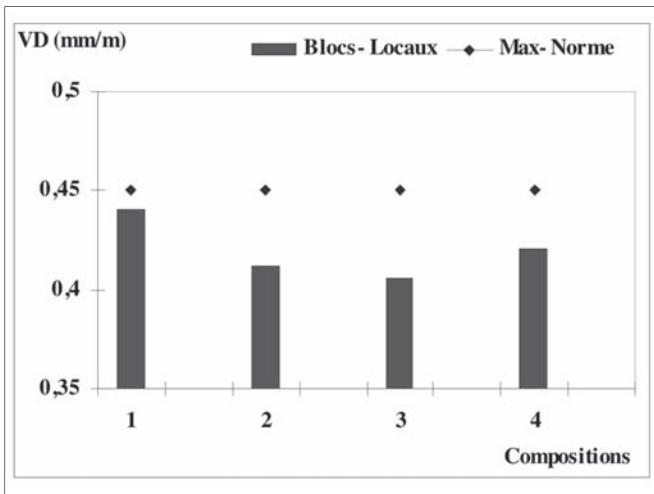


Figure 12. Variation dimensionnelle des blocs.

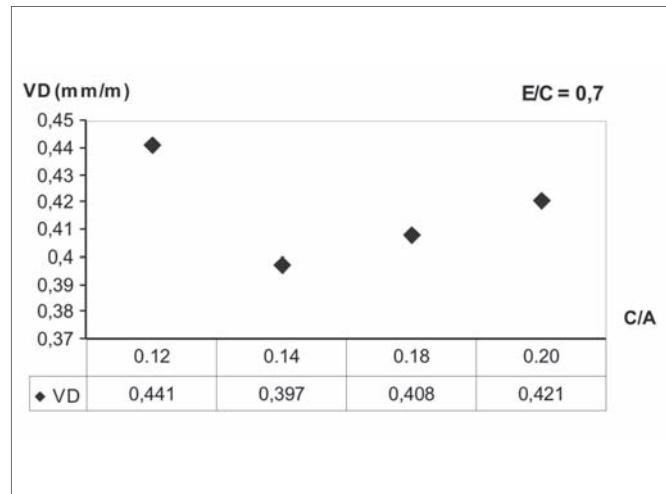


Figure 13. Variation dimensionnelle en fonction du rapport C/A.

5. CONCLUSION

Les résultats expérimentaux confirment que les blocs de béton testés présentent une qualité médiocre au regard des normes et recommandations techniques préconisées. En effet, les moyens simples utilisés actuellement et les méthodes de travail qui marquent l'absence d'un contrôle rigoureux sur le choix des agrégats et les formulations de béton pour la confection des blocs sont à l'origine de ce constat. Une démarche qualité doit être instaurée pour la fabrication du bloc de béton qui occupe une place importante dans la construction. Pour ce faire, il est nécessaire d'optimiser par un programme expérimental au laboratoire la formulation du béton à utiliser pour la confection des blocs. De plus, il est primordial d'identifier l'influence des constituants et des différents paramètres (dosage en ciment, rapport C/A, E/C...etc.) sur la qualité des aggrégats de béton.

En fait, le recours à une fabrication moderne et industrialisée basée sur des techniques très développées qui nécessi-

tent une centrale à béton, des presses automatiques qui moulent les blocs et les déposent sur une planche de séchage et qui assurent ainsi leurs prises et leurs durcissement, reste une des solutions à préconiser pour optimiser complètement la qualité des blocs de béton dans le grand Tlemcen.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [AFN, 06] AFNOR, Référentiel de certification pour la marque NF : « Blocs en béton de granulats courants et légers », NF 025 A, 1 mars, 2006, AFNOR- CERIB- AFAQ.
- [FER, 86] FERRARIS CHIARA F., « Mécanismes du retrait de la pâte de ciment durci », Ph.D. Thesis, EPFL, n° 621, Lausanne, Suisse, 1986
- [NEH, 03] NEHME S. G., “Effect of porosity on the properties of concrete”, Concrete Structures, 2003.

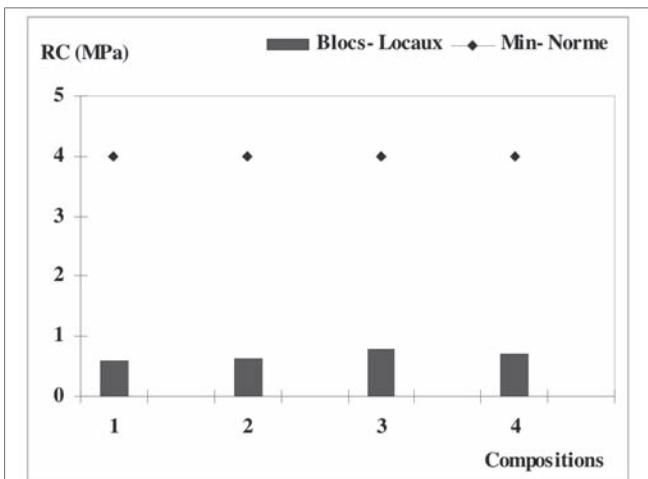


Figure 14. Résistance à la compression des blocs.

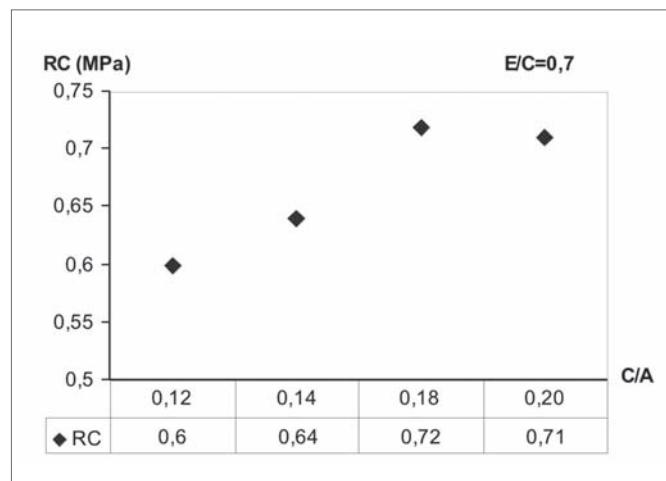


Figure 15. Variation de la résistance à la compression en fonction du rapport C/A.

[PAT, 04]. PATTOFATTO S., « Comportement dynamique du béton frais application au procédé de fabrication des parpaings ». Thèse de Doctorat en Génie Civil, Ecole normale supérieure de Cachan, France, 2004.

[POY, 03] POYET S., « Etude de la dégradation des ouvrages en béton atteints par la réaction alcali-silice : Approche expérimentale et modélisation

numérique multi-Échelles des dégradations dans un environnement hydro-chemo-mécanique variable », Thèse de Doctorat en Génie Civil. Université de Marne-La-Vallée, France, 2003.

[SKA, 89] SKALNY J.P., “Materials Science of Concrete I, II, III”, American Ceramic Society, Inc, Westerville, 1989.