

The recycling of crushed waste bricks in the self-compacting mortar

Auteur : Tabarelli, Enrico

Promoteur(s) : Courard, Luc

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil des mines et géologue, à finalité spécialisée en géologie de l'ingénieur et de l'environnement

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5378>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Annexes

Annex 1: Technical document of the bricks



Bloc haute résistance / Hoge weerstandsblok 288 x 138 x 138



Déclaration des Performances	Prestatieverklaring	DoP_HB780_20160101
Type de produit	Productype	Bloc haute résistance / Hoge weerstandsblok
Usage prévu	Beoogd gebruik	Briques HD pour maçonnerie non-protégée dans murs, poteaux et cloisons en maçonnerie. / HD metselstenen voor onbescherm metselwerk in metselwermuren, kolommen en scheidingswanden.
Nom du fabricant	Naam fabrikant	SA Briqueteries de / Steenbakkerijen van Ploegsteert nv • Touquetstraat 228 • 7782 Ploegsteert Division Barry • Grand Route 533 • 7534 Barry
Organisme notifié	Certificerende instantie	BCCA (n° NB 0749) : Inspection initiale de l'établissement de fabrication et du contrôle de la production en usine ; Surveillance, évaluation et appréciation permanentes du contrôle de la production en usine ; Livraison du certificat de conformité du contrôle de la production en usine. / Initiale inspectie van productie-installatie en productiecontrole in de fabriek; Permanente bewaking, beoordeling en evaluatie van de productiecontrole in de fabriek; Verstrekt conformiteitscertificaat van productiecontrole in de fabriek.

Performances déclarées	Verklaarde prestaties	(selon/volgens NBN EN 771-1:2011)			
Dimensions	Afmetingen	Longueur	Longueur	mm	288
		Largeur	Breedte	mm	138
		Hauteur	Hoogte	mm	138
Tolérances dimensionnelles	Tolerantie				T2
Plage	Maatspreiding				R2
Planéité des faces de pose	Vlakheid legvlakken			%	1
Parallélisme des faces de pose	Parallelisme van legvlakken				2
Configuration	Versnijningsvorm	Brique à perforation verticale	Verticaal geperforeerd product		Groupe 2
		Pourcentage des vides	Percentage holle ruimtes	%	<50
Masse volumique apparente sèche	Bruto volumieke massa			kg/m³	1150-D2
Masse volumique absolue sèche	Netto droge volumemassa			kg/m³	2000-D1
Résistance à la compression	Druksterkte	Rés. Moy. \perp à la face de pose	Gem. drukst. \perp op mortelbedvlak	N/mm²	≥ 35
		Facteur de forme / format	Vormfactor / formaat		1.1
		Rés. norm. \perp à la face de pose	Genorm. drukst. \perp op mortelbedvlak	N/mm²	38
		Catégorie	Categorie		I
Dilatation due à l'humidité	Vochtexpansie			mm/m	NPD
Adhérence mortier d'usage mince	Hechtsterkte verfijnd	Valeurs fixes tabl. EN998-2 ann C	Tabelwaarden EN998-2 ann C	N/mm²	NPD
Adhérence mortier d'usage courant	Hechtsterkte vermetseid	Valeurs fixes tabl. EN998-2 ann C	Tabelwaarden EN998-2 ann C	N/mm²	NPD
Teneur en sels solubles actifs	Gehalte oplosbare zouten	Classe	Klasse		S2
Réaction au feu	Brandreactie	Classe	Klasse		A1
Absorption d'eau	Wateropneming			%	≤12
Taux initial d'absorption d'eau	Initiële wateropzuiging	Classe	Klasse	kg/m².min	1,5 < W ≤ 4,0
Propriétés thermiques	Thermische eigenschappen	$\lambda_{10, \text{inc. 20}^\circ\text{C}}$	$\lambda_{10, \text{drag. 20}^\circ\text{C}}$	W/m.K	0.28
Durabilité contre gel/dégel : résistance au (dégel)	Duurzaamheid inzake vriezen en dooien				F2
Substances dangereuses	Gevaarlijke stoffen				NPD
Perméabilité à la vapeur d'eau	Dampdoorlatendheid	Valeur min. et max. (EN1745, tableau 1)	Min. en max. waarde (EN1745 Tabel 1)		05/10

Les performances du produit identifié sont conformes aux performances déclarées dans le tableau ci-dessus. Signé pour le fabricant et en son nom par Karel Rommel, directeur commercial briques, à Ploegsteert.

De prestaties van het hierboven omschreven product zijn conform de verklaarde prestaties. Deze prestatieverklaring werd ondertekend voor en namens de fabrikant door Karel Rommel, commercieel directeur stenen, te Ploegsteert.

Date / Datum 20160101

Propriétés techniques nationales supplémentaires / Aanvullende nationale specificaties (Selon / Volgens BB/202/681/024-00-P/01)

Résistance au gel/dégel	Vorst/Dooi weerstand	Selon / Volgens NBN B 27-009	Résistance élevée au gel	
Propriétés thermiques	Thermische eigenschappen	W/m.K	0.32	
$\lambda_{10, \text{inc. 20}^\circ\text{C}}$ (90/90)	$\lambda_{10, \text{drag. 20}^\circ\text{C}}$ (90/90)			
Efflorescence	Néiging tot uitroeiing	Selon / Volgens NBN B 24-209	Pas d'efflorescence	



Avis au client au verso/ Bericht aan de klant op keerzijde.

**Bloc haute résistance / Hoge
weerstandsblok**


288 x 138 x 138

HB780

Annex 2: Description of the jaw crushers

DOC-17-Q-11 : Fiche présentation équipement

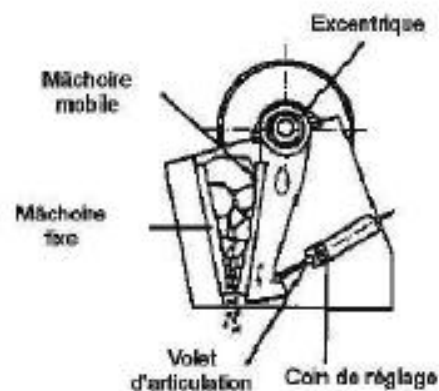
Rev : 0

	Catégorie	Préparation mécanique
	Sous-Catégorie	Concassage
	Opération	Continu
	Utilisation	Fragmentation par écrasement

Concasseur à mâchoires		D003
Type	120	
Principe fonctionnel	Fragmentation par écrasement entre 2 mâchoires, l'une fixe, l'autre mobile	
Matériaux	durs et abrasifs	
Capacité	100-200	kg/h
Input	0 / 80 mm	
Output	0 / 10 mm	
Puissance motrice (kW)	2,75	
	Caractéristiques - Ouverture inférieure position fermée de dent à creux : Min 5mm / Max 32mm - Dim. Mâchoires : L=220mm, l=120mm	

Exploitant un mode de fragmentation par compression et écrasement, l'appareil est constitué de 2 mâchoires (plaques dentées) disposées face à face en forme de V. Une plaque est fixe, l'autre mobile et animée d'un mouvement oscillant par le jeu d'un système bielle-excentrique. La compression est produite lors du mouvement de la mâchoire mobile vers la mâchoire fixe et provoque l'éclatement des gros blocs du matériau introduit à la partie supérieure du concasseur. L'éloignement de la mâchoire mobile permet à ceux-ci de descendre dans la machine, où ils subissent encore plusieurs réductions successives de taille avant d'être déchargés à sa partie inférieure.

L'appareil est typiquement utilisé pour effectuer la première fragmentation du matériau à traiter (tout-venant), lequel peut comporter des blocs très volumineux (concassage primaire).





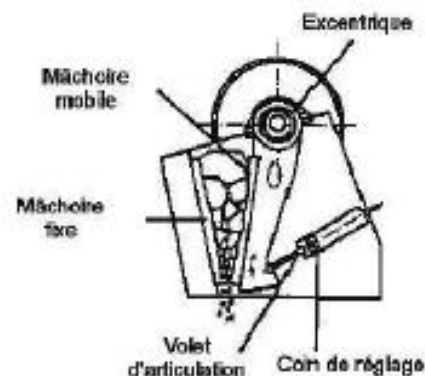
Catégorie	Préparation mécanique
Sous-Catégorie	Concassage
Opération	Continu
Utilisation	Fragmentation par écrasement

Concasseur à mâchoires		D004
Type	220	
Principe fonctionnel	Fragmentation par écrasement entre 2 mâchoires, l'une fixe, l'autre mobile	
Matériaux	Mi-durs et durs (dureté Mohs < 8,5)	<i>Caractéristiques</i> - Ouverture inférieure position fermée de dent à dent : Min 10mm / Max 50mm - Hauteur denture : 15 mm - Dim. Mâchoires : larg. 220mm / long. 440mm
Capacité	1 t/h	
Input	0 / 200 mm	
Output	0 / 30 mm	
Puissance motrice (kW)	11	

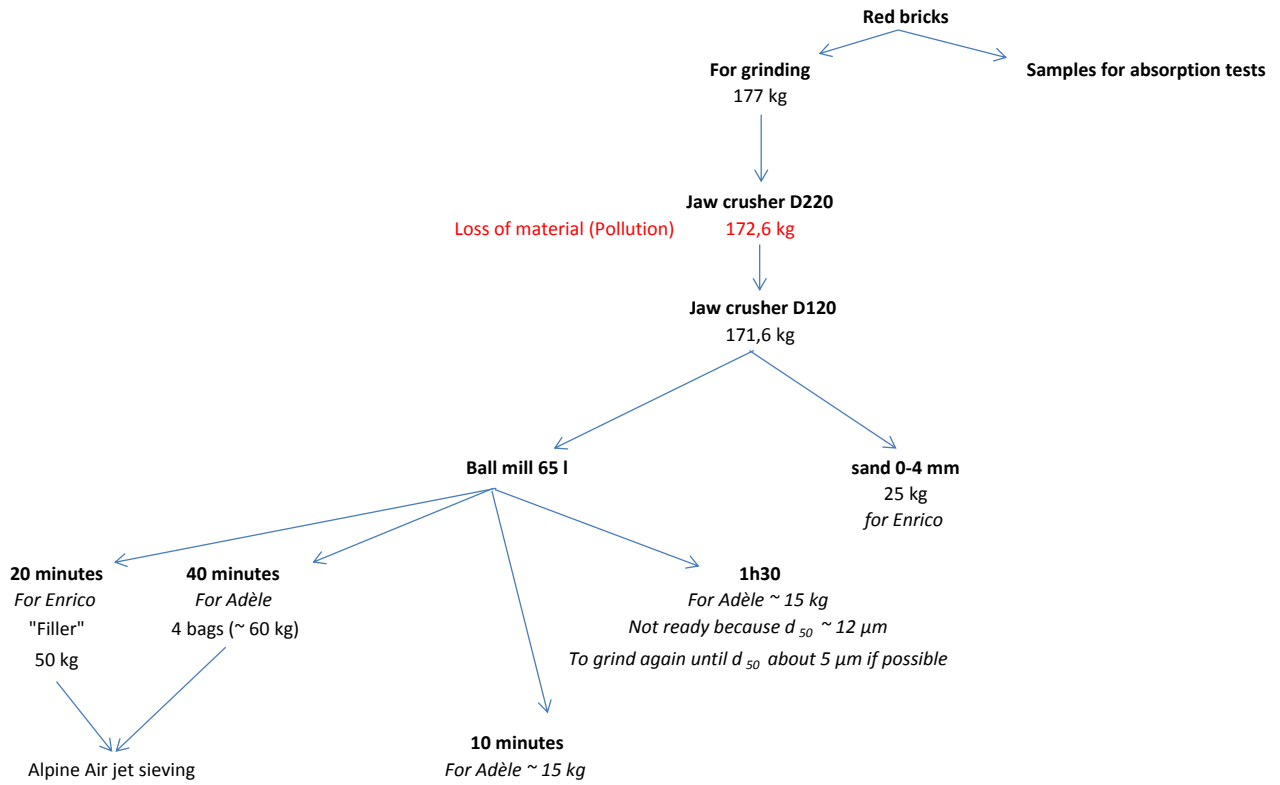
Exploitant un mode de fragmentation par compression et écrasement, l'appareil est constitué de 2 mâchoires (plaques dentées) disposées face à face en forme de V. Une plaque est fixe, l'autre mobile et animée d'un mouvement oscillant par le jeu d'un système bielle-excentrique. La compression est produite lors du mouvement de la mâchoire mobile vers la mâchoire fixe et provoque l'éclatement des gros blocs du matériau introduit à la partie supérieure du concasseur. L'éloignement de la mâchoire mobile permet à ceux-ci de descendre dans la machine, où ils subissent encore plusieurs réductions successives de taille avant d'être déchargés à sa partie inférieure.

Le rapport de réduction est de l'ordre de 4 : 1.

L'appareil est typiquement utilisé pour effectuer la première fragmentation du matériau à traiter (tout-venant), lequel peut comporter des blocs très volumineux (concassage primaire).



Annex 3: Flowsheet for the bricks treatment



Annex 4: Cement's properties and parameters

Ciment Portland

CEM I 52,5 N

CEM I
Février 2017

CEM I 52,5 N

1. Normes et certificats

Désignation	Marque	Norme	Certificat N°
CEM I 52,5 N CE	CE	NBN EN 197-1	0965-CPR-C0019
CEM I 52,5 N CE BENOR	BENOR	NBN B12	17/02/019
CEM I 52,5 N CE	KOMO	BRL 2601	1118-16-1020

2. Composition déclarée

	Unité	Méthode d'essai	Valeurs moyennes	Exigences	
				Min	Max
Constituants en % de la somme des constituants principaux et secondaires					
Clinker (K)	%	-	97	95	100
Laitier (S)	%	-	-	-	-
Cendres volantes (V)	%	-	-	-	-
Calcaire (LL)	%	-	-	-	-
Filler	%	-	3	0	5
Ajouts en % du ciment fini					
Régulateur de prise	%	-	5	-	-
Agent de mouture	%	-	0.14	-	-
Agent réducteur *	%	-	0.5	-	-

* Conformément au Règlement CE 1907/2006 (Reach), un agent réducteur est ajouté à certains ciments afin de limiter la teneur en chrome (VI) soluble à 0,0002% maximum.

3. Caractéristiques chimiques et minéralogiques

	Unité	Méthode d'essai	Valeurs moyennes	Exigences	
				Min	Max
CaO	%	EN 196-2	63.4	-	-
SiO ₂	%	EN 196-2	20.4	-	-
Al ₂ O ₃	%	EN 196-2	4.8	-	-
Fe ₂ O ₃	%	EN 196-2	3.4	-	-
C ₃ A	%	EN 196-2	7.2	-	-
SO ₃	%	EN 196-2	3.2	-	≤ 4.0
Résidu insoluble	%	EN 196-2	0.6	-	≤ 5.0
Perte au feu	%	EN 196-2	1.6	-	≤ 5.0
Chlorures	%	EN 196-2	0.08	-	≤ 0.10
Chrome (VI) *	%	EN 196-10	< 0.0002	-	≤ 0.0002
Na ₂ Oeq**	%	EN 196-2	0.74	-	-
Sulfures	%	EN 196-2	-	-	-

* Conformément au Règlement CE 1907/2006 (Reach), la teneur en chrome (VI) soluble est limitée à 0,0002 % maximum.

** Valeur moyenne + 1,96 x écart-type.

Cimenteries CBR

Assistance Technique

Chaussée de La Hulpe 185 Terhulpssteenweg
1170 Bruxelles

Tel : + 32 2 678 35 10

Fax : + 32 2 675 23 91

communication@cbr.be

www.cbr.be

ENCI

Assistance Technique

Postbus 3233

5203 DE 's-Hertogenbosch

Tel : + 31 73 640 12 20

Fax : + 31 73 640 12 18

tv@enci.nl

www.enci.nl



Usine de Lixhe

4. Caractéristiques physiques

	Unité	Méthode d'essai	Valeurs moyennes	Exigences	
				Min	Max
Blancheur	%	CIE 1931	0	-	-
Clarté L	%	CIE Lab	59	-	-
Eau de consistance normale	%	EN 196-3	29.6	-	-
Début de prise	min	EN 196-3	200	≥ 45	-
Fin de prise	min	EN 196-3	260	-	≤ 720
Stabilité	mm	EN 196-3	<1	-	≤ 10
Surface spécifique (Blaine)	cm ² /g	EN 196-6	3800	-	-
Refus au tamis de 200 µm	%	EN 196-6	0.02	-	≤ 3.0
Chaleur d'hydratation à 7 jours	J/g	EN 196-8	-	-	-
Masse volumique - Absolue	kg/m ³	-	3100	-	-
Masse volumique - Apparente	kg/m ³	-	1100	-	-

5. Caractéristiques mécaniques

	Unité	Méthode d'essai	Valeurs moyennes	Exigences	
				Min	Max
A 1 jour	MPa	EN 196-1	20.5	-	-
A 2 jours	MPa	EN 196-1	37	≥ 20	-
A 7 jours	MPa	EN 196-1	55	-	-
A 28 jours	MPa	EN 196-1	66.5	≥ 52.5	-
2d/28d	-	-	0.56	-	-

6. Production et conditionnement

Ce ciment est disponible dans les conditionnements suivants :

Vrac bateau	Vrac camion	Sac
X	X	X

7. Système de management certifié de l'usine.



8. Déclaration de performance

Déclaration de performance CPR(EU) Nr. 305/2011

Identification : 0965-CPR-C0019

Site internet : www.cbr.be

Les valeurs reprises ci-dessus sont des valeurs moyennes qui sont données à titre indicatif.

Les limites garanties figurent dans la colonne exigences.

Annex 5: Limestone filler properties



FICHE TECHNIQUE

CALCITEC 2001S

FILLER CALCAIRE – CaCO₃

ANALYSE CHIMIQUE TYPE (valeurs moyennes sur sec)

	Exigence absolue BRL 1804	Exigence BRL 1804	Exigence suivie 90%	Moyenne
Carbonate	≥ 87	≥ 90	94-100	98,8 %
CaCO ₃	≥ 72	≥ 75	94-100	98,1 %
MgO				0,31 %
SiO ₂				0,60 %
Al ₂ O ₃				0,16 %
Fe ₂ O ₃				0,08 %

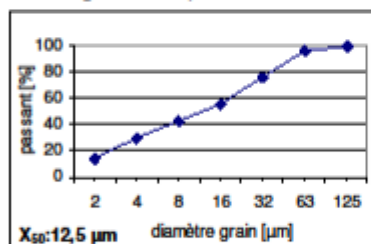
Réactivité aux alcalins	non réactif
Na ₂ O _{eq} = Na ₂ O + 0,658 x K ₂ O	0,03 %
Teneur en eau	0,12 %
Soufre total (S)	0,04 %
Sulfates solubles dans l'acide (SO ₃)	0,1 %
Ions chlorures solubles dans l'eau (Cl ⁻)	< 0,008 %
Matières organiques	pas de M.O.
pH	9,5

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES & DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE (valeurs moyennes)

CALCAIRE VISEEN	
Masse volumique réelle	2.700 kg/m ³
Densité apparente non tassé	1.000 kg/m ³
Densité apparente tassé	1.500 kg/m ³
Surface spécifique Blaine	350 m ² /kg
Surface spécifique BET	1,0 m ² /kg
Valeur au bleu MB	0.66 %
Blancheur FY	53
Dureté (Mohs)	3

DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE

Courbe granulométrique laser SYMPATEC



Passant au tamis de	Exigence individuelle % m/m	Intervalle 90% % m/m	Moyenne % m/m
2 mm	100	100	100
500 µm	-	99 - 100	99,9
125 µm	85 - 100	90 - 100	97
63 µm	70 - 100	74 - 84	78



LIEU DE PRODUCTION
B - 4480 ENGIS

SECURITE

Fiche de sécurité disponible sur demande.
Le produit est inerte et non dangereux

STOCKAGE

Stocker à l'abri de l'humidité.

REF/NORMES

EINECS 215-279-6
CAS 471-34-1
Exempté de REACH
0785-CPR-31-214-13
04
EN 12620
EN 13139
DoP: 0785-CPR-31-214-04-En-42-1306



Le produit étant d'origine naturelle, les valeurs mentionnées peuvent être sujettes à des variations et n'engagent nullement la société

Annex 6: Granulometric analysis results for the brick sand

Specimen-1			
Sieve opening (mm)	Mass total (g)	Refuse (%)	Passing (%)
4	2.94	1%	99%
2	115.32	39%	61%
1	73.74	64%	36%
0.5	36.71	76%	24%
0.25	15.77	81%	19%
0.125	9.38	85%	15%
0.063	9.73	88%	12%
0	36.94	100%	0%

Specimen-2			
Sieve opening (mm)	Mass total (g)	Refuse (%)	Passing (%)
4	2.35	1%	99%
2	99.45	34%	66%
1	66.13	56%	44%
0.5	40.2	69%	31%
0.25	19.77	76%	24%
0.125	12.49	80%	20%
0.063	14.66	85%	15%
0	44.15	100%	0%

Specimen-3			
Sieve opening (mm)	Mass total (g)	Refuse (%)	Passing (%)
4	2.05	1%	99%
2	115.11	39%	61%
1	71.8	63%	37%
0.5	36.94	75%	25%
0.25	15.94	81%	19%
0.125	9.8	84%	16%
0.063	11.28	88%	12%
0	36.54	100%	0%

Annex 7: Physical properties for the normalized sand (EN 196-1)



Société Nouvelle du Littoral

Siège Social & Usine : Z.A. – BP 9 – 11370 LEUCATE (France)

Tél. : 33 (0) 4 68 40 14 05 – Fax : 33 (0) 4 68 40 92 72

Internet : www.s-n-l.fr - e.mail : contact@s-n-l.fr • s.n.l@wanadoo.fr

SABLE NORMALISE CEN CERTIFIE CONFORME –
EN 196.1 par l'AFNOR et conforme ISO 679

Contrôlé par le Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville
de Paris (L.E.M.V.P.)
4 Avenue du Colonel Henri Rol-Tanguy
75014 PARIS

Fabrication Sable Normalisé CEN, conforme EN 196-1

	Date mesure	Valeur ponctuelle	Valeur min	Valeur max
Masse volumique réelle (Mg/m3) EN 1097-6	novembre-11	2,64		
Absorption eau (%) EN 1097-6	novembre-11	0,2		
Module de finesse (%) EN 12620	novembre-11		2,6	2,7
Écoulement sable (s) EN 933-6	novembre-11	28		
Teneur en eau (%)	janvier-17		0,02	0,07
	février-17		0,01	0,07
	mars-17		0,03	0,07
Teneur en chlorure (ppm)	janvier-17		< 50	
	février-17		< 50	
	mars-17		< 50	
Teneur en silice (% SiO ₂)	janvier-16	98,05		
Teneur alumine (% Al ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,54		
Teneur fer (% Fe ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,07		
Perte au feu 950 °C (EN 196-2)	janvier-16	0,16		
teneur P ₂ O ₅ % ISO 29581-2	janvier-16	0		



S.N.L. fondée en 1910 – SAS capital 250 000 € - NIF FR 93 976 750 257 – SIRET 976 750 257 00025 APE 0812Z
Certifiée pour la PREPARATION DU SABLE NORMALISE CEN POUR LA DETERMINATION DES RESISTANCES MECANQUES DES CEMENTS



FR C3 - MAJ 04/12-



Société Nouvelle du Littoral

Siège Social & Usine : Z.A. – BP 9 – 11370 LEUCATE (France)

Tél. : 33 (0) 4 68 40 14 05 – Fax : 33 (0) 4 68 40 92 72

Internet : www.s-n-l.fr - e.mail : contact@s-n-l.fr • s.n.l@wanadoo.fr

SABLE NORMALISE CEN CERTIFIE CONFORME –
EN 196.1 par l'AFNOR et conforme ISO 679

Contrôlé par le Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville
de Paris (L.E.M.V.P.)
4 Avenue du Colonel Henri Rol-Tanguy
75014 PARIS

Fabrication Sable Normalisé CEN, conforme EN 196-1

	Date mesure	Valeur ponctuelle	Valeur min	Valeur max
Masse volumique réelle (Mg/m3) EN 1097-6	novembre-11	2,64		
Absorption eau (%) EN 1097-6	novembre-11	0,2		
Module de finesse (%) EN 12620	novembre-11		2,6	2,7
Ecoulement sable (s) EN 933-6	novembre-11	28		
Teneur en eau (%)	janvier-17		0,02	0,07
	février-17		0,01	0,07
	mars-17		0,03	0,07
Teneur en chlorure (ppm)	janvier-17		< 50	
	février-17		< 50	
	mars-17		< 50	
Teneur en silice (% SiO ₂)	janvier-16	98,05		
Teneur alumine (% Al ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,54		
Teneur fer (% Fe ₂ O ₃) ISO 29581-2	janvier-16	0,07		
Perte au feu 950 °C (EN 196-2)	janvier-16	0,16		
teneur P ₂ O ₅ % ISO 29581-2	janvier-16	0		



S.N.L. fondée en 1910 – SAS capital 250 000 € - NIF FR 93 976 750 257 – SIRET 976 750 257 00025 APE 0812Z
Certifiée pour la PREPARATION DU SABLE NORMALISE CEN POUR LA DETERMINATION DES RESISTANCES MECANQUES DES CEMENTS

FR C3 - MAJ 04/12-



Annex 8: Volumetric mass results for the brick filler

Bricks Filler- Stainless-steel Pycnometer								
Pycnometer n°	Pycnometer mass (g)	P+F mass (g)	P+F+W mass (g)	P+W mass (g)	Density water (g/cm ³)	Filler mass (g)	Filler volume (g/cm ³)	Absolute density filler (g/cm ³)
1	45.00	57.73	153.66	145.33	1	12.74	4.42	2.88
2	45.20	59.87	154.08	145.17	1	14.67	5.78	2.54
3	45.37	59.41	154.03	144.90	1	14.04	4.92	2.85
4	45.37	57.35	152.94	144.30	1	11.98	3.34	3.58
5	45.04	59.60	153.66	144.28	1	14.56	5.19	2.81
6	45.30	56.49	152.41	145.06	1	11.19	3.85	2.90

P=Pycnometer; F=Filler; W=Water.

Helium Pycnometer	
Pycnometer	Absolute density (g/cm ³)
1	3.04
2	3.09
3	3.09

Annex 9: Results from the β -p test

Brick filler								
Sample	Water (g)	Volume filler (cm ³)	w/p	Absolute density (g/cm ³)	Mass (g)	Diameter 1 (mm)	Diameter 2 (mm)	Relative flow area
1	300	200	1.5	3.0741	614.82	267.50	267.50	6
2	275	225	1.2	3.0741	691.67	173.24	173.24	2
3	280	220	1.3	3.0741	676.30	196.85	196.85	3
4	270	230	1.2	3.0741	707.04	137.25	137.25	1
5	285	215	1.3	3.0741	660.93	234.50	234.50	4
6	290	210	1.4	3.0741	645.56	252.75	252.75	5

Limestone filler								
Sample	Water (g)	Volume filler (cm ³)	w/p	Absolute density (g/cm ³)	Mass (g)	Diameter 1 (mm)	Diameter 2 (mm)	Relative flow area
1	230.68	269.32	0.86	2.71	729.86	190.34	195.86	2.7
2	240	260	0.92	2.71	704.60	219.11	212.56	3.7
3	250	250	1.00	2.71	677.50	283.40	288	7.2
4	220	280	0.79	2.71	758.80	168.56	169.42	1.9
5	220	280	0.79	2.71	758.80	-	-	1.5
6	230	270	0.85	2.71	731.70	-	-	2.7
7	235	265	0.89	2.71	718.15	-	-	4.3

Annex 10: Volumetric mass results for the brick sand

Bricks Sand – Stainless-steel pycnometers								
Pycnometer n°	Pycnometer mass (g)	P+S mass (g)	P+S+W mass (g)	P+W mass (g)	Density water (g/cm ³)	Sand mass (g)	Sand volume (g/cm ³)	Absolute density Sand (g/cm ³)
18	1132.84	1390.79	1793.01	1630.21	1	257.95	95.40	2.70
8	1116.91	1397.35	1787.94	1614.53	1	280.44	107.31	2.61
19	1135.12	1413.12	1803.92	1630.88	1	278.00	105.24	2.64
13	1118.59	1420.76	1804.48	1613.19	1	302.17	111.17	2.72

P=Pycnometer; S=Sand; W=Water.

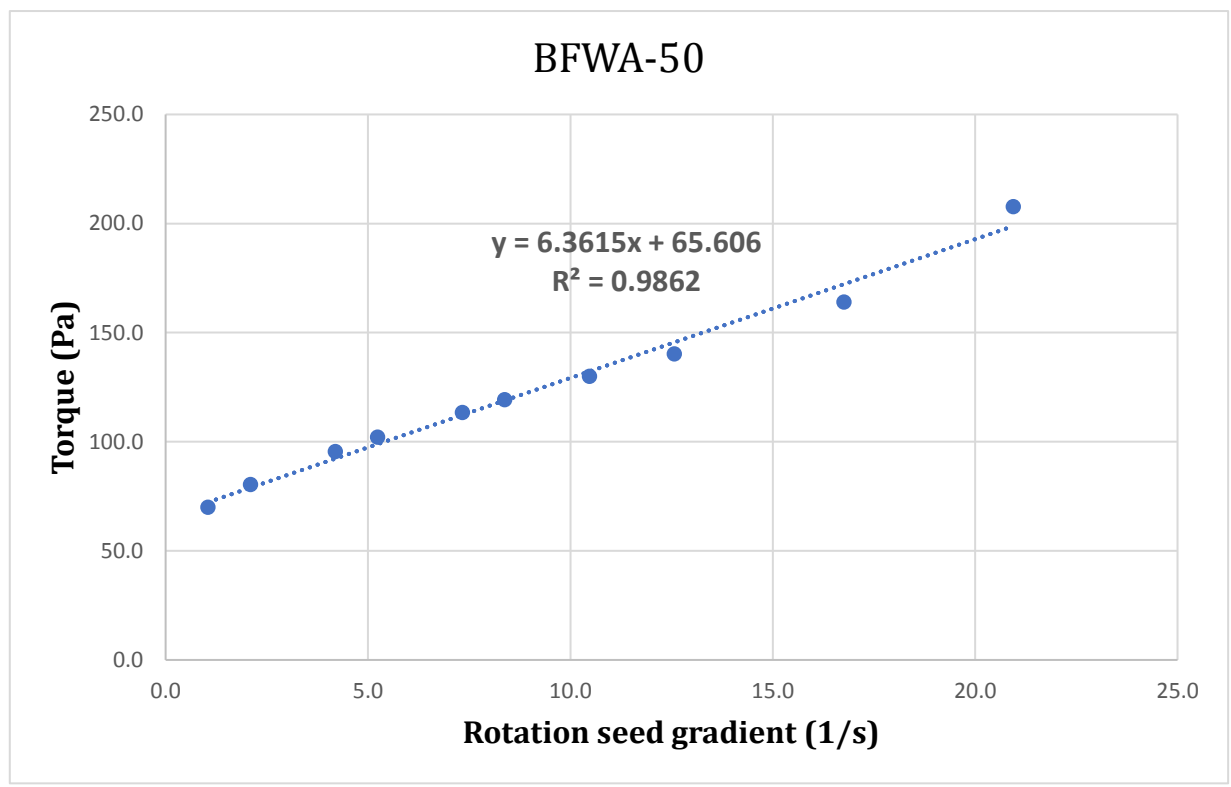
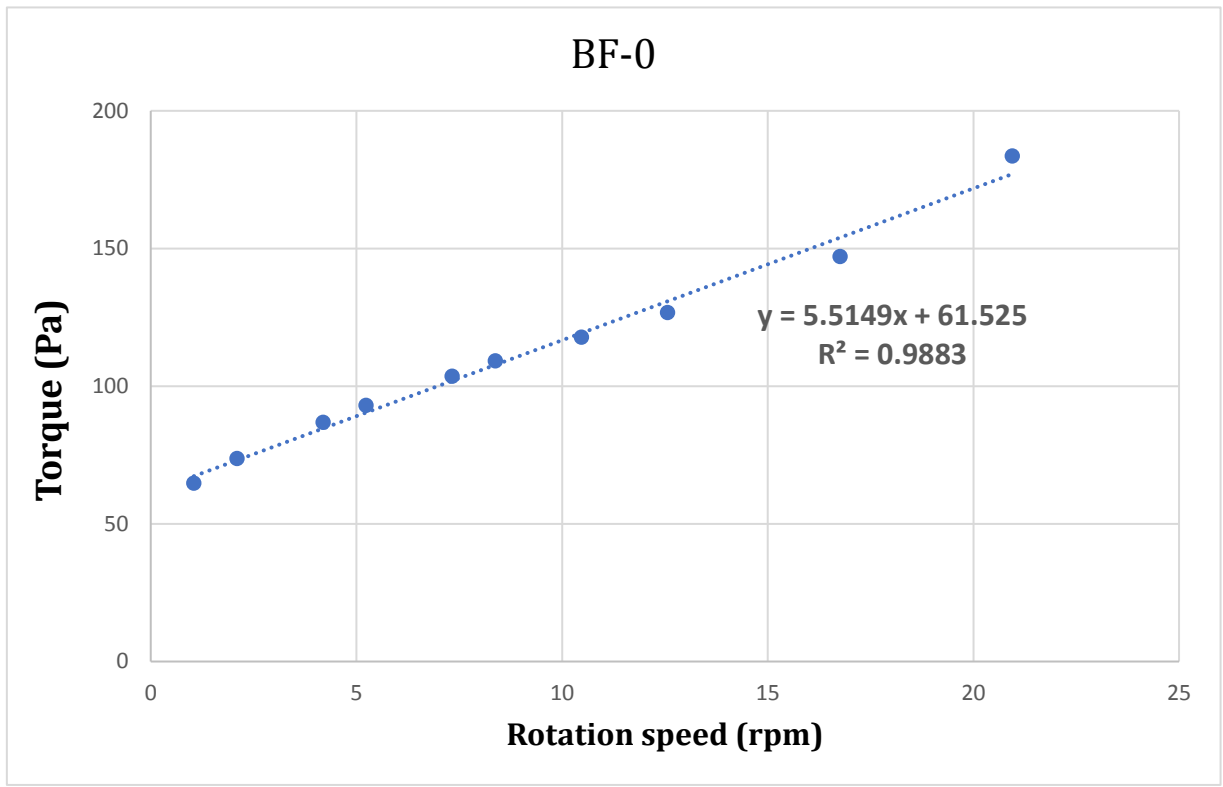
Annex 11: Water absorption results for the wasted bricks

Parameters	Coarse pieces of bricks			Brick sand			
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Tare (g)	263.81	70.86	73.5	73.65	73.72	72.9	73.18
Wet weight (g)	1064.12	807.83	881.16	290.52	282.53	333.43	310.02
Dry weight (g)	959.75	723.34	791.09	252.99	246.67	288.84	268.3
Water absorption (%)	10.9%	11.7%	11.4%	14.8%	14.5%	15.4%	15.5%

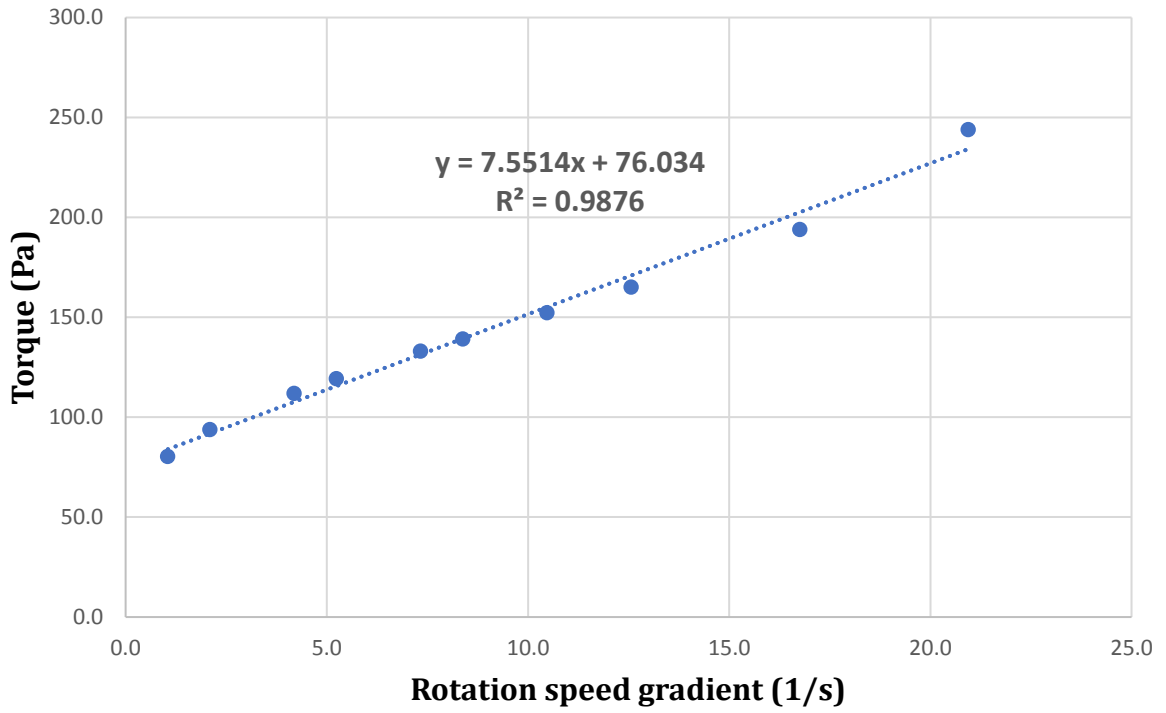
Annex 12: Slump test results for the limestone filler partial substitution with the brick filler

	BF-0		BFWA-50		BFWA-100		BFNWA-50		BFNWA-100	
	Diameter (mm)	Average (mm)	Diameter (mm)	Average (mm)	Diameter (mm)	Average (mm)	Diameter (mm)	Average (mm)	Diameter (mm)	Average (mm)
Mini cone	153	150.5	162	163.25	148	146.75	132	131.75	112	111.75
	152		164		147		132		113	
	148		167		145		132		112	
	149		160		147		131		110	
MBE cone	194	193.25	205	204.75	194	191	174	173.5	144	143.25
	189		200		186		176		141	
	193		204		188		170		140	
	197		210		196		174		148	

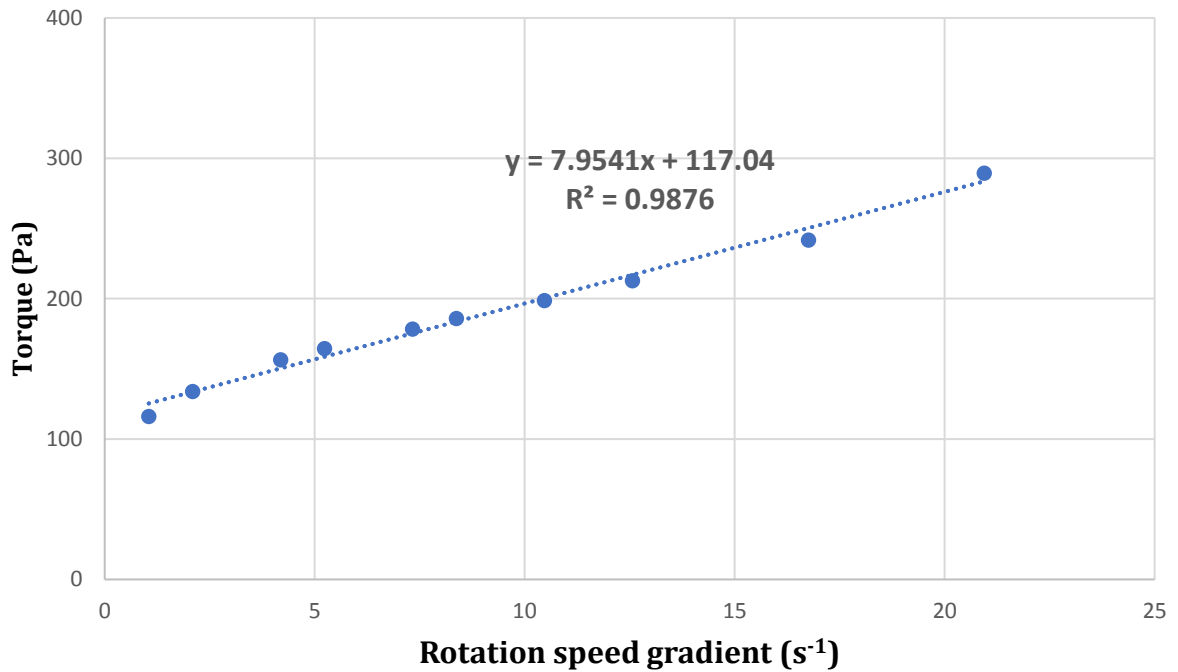
Annex 13: *RheoCAD* results for the limestone filler substitution



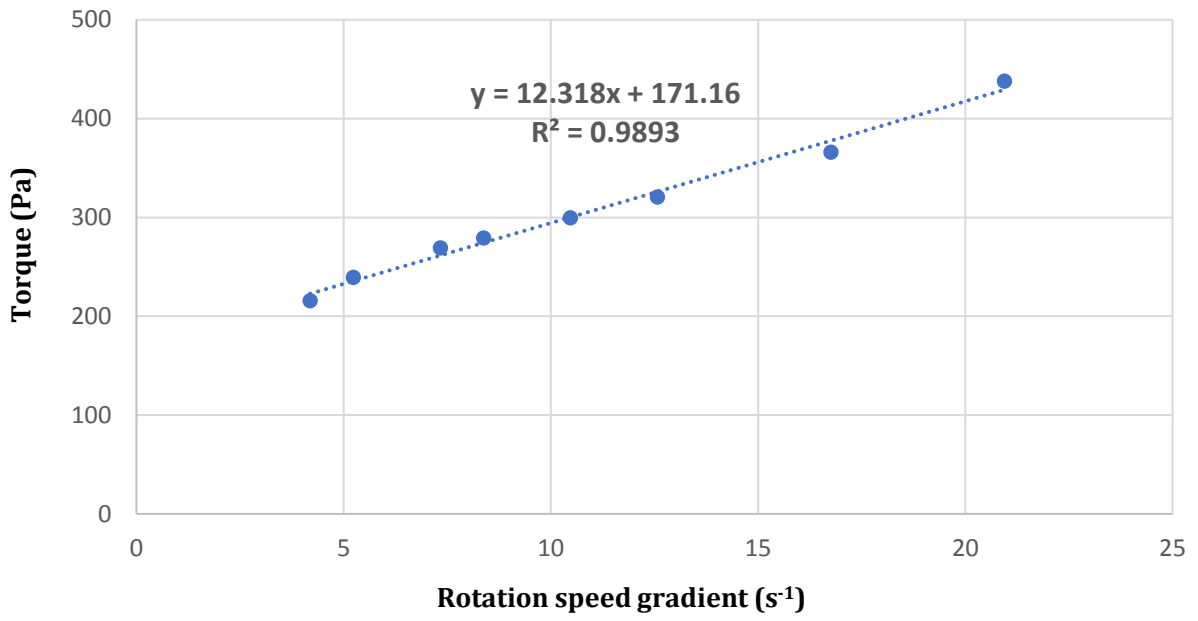
BFWA-100



BFNWA-50



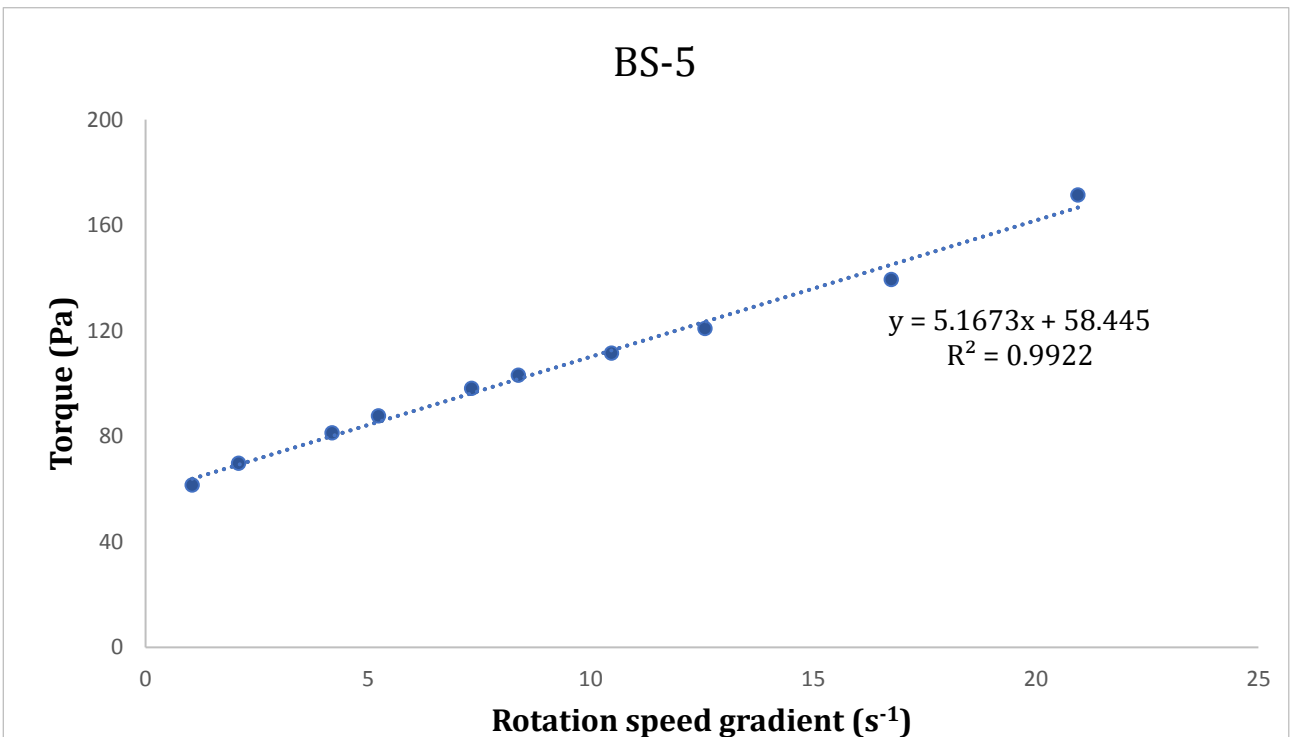
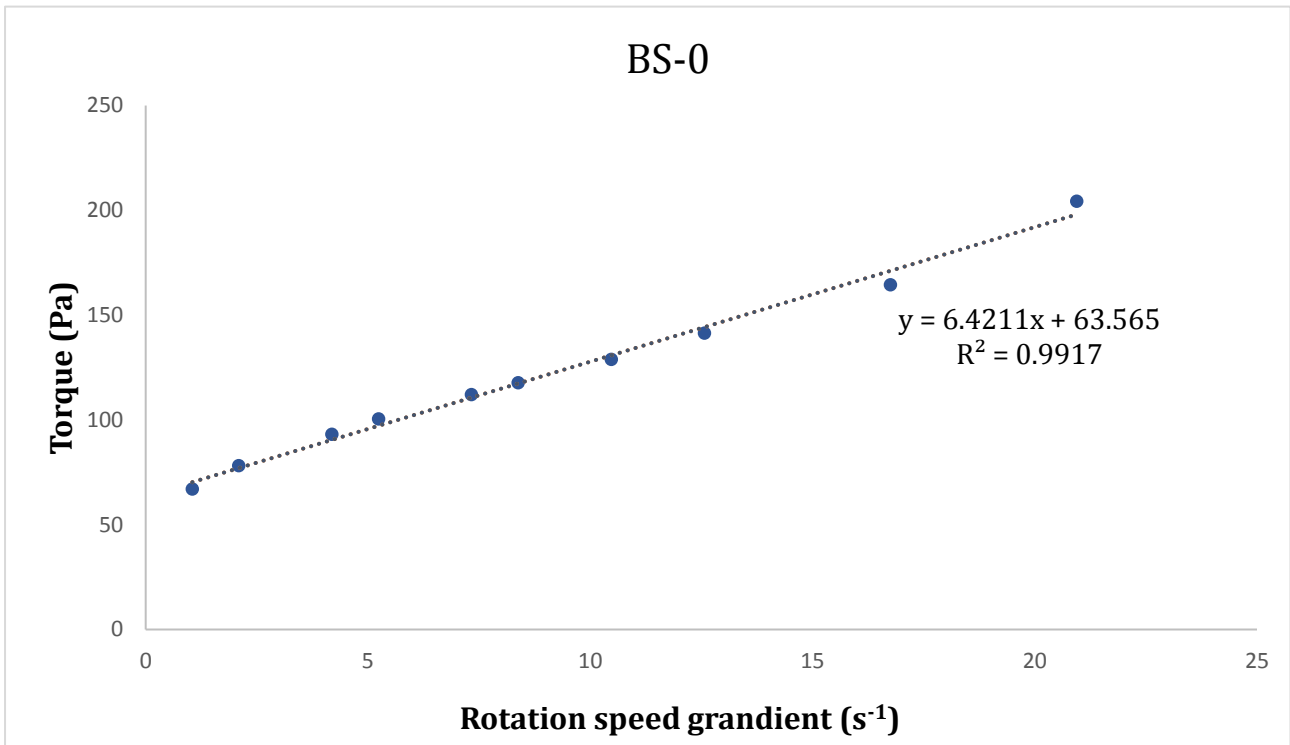
BFNWA-100

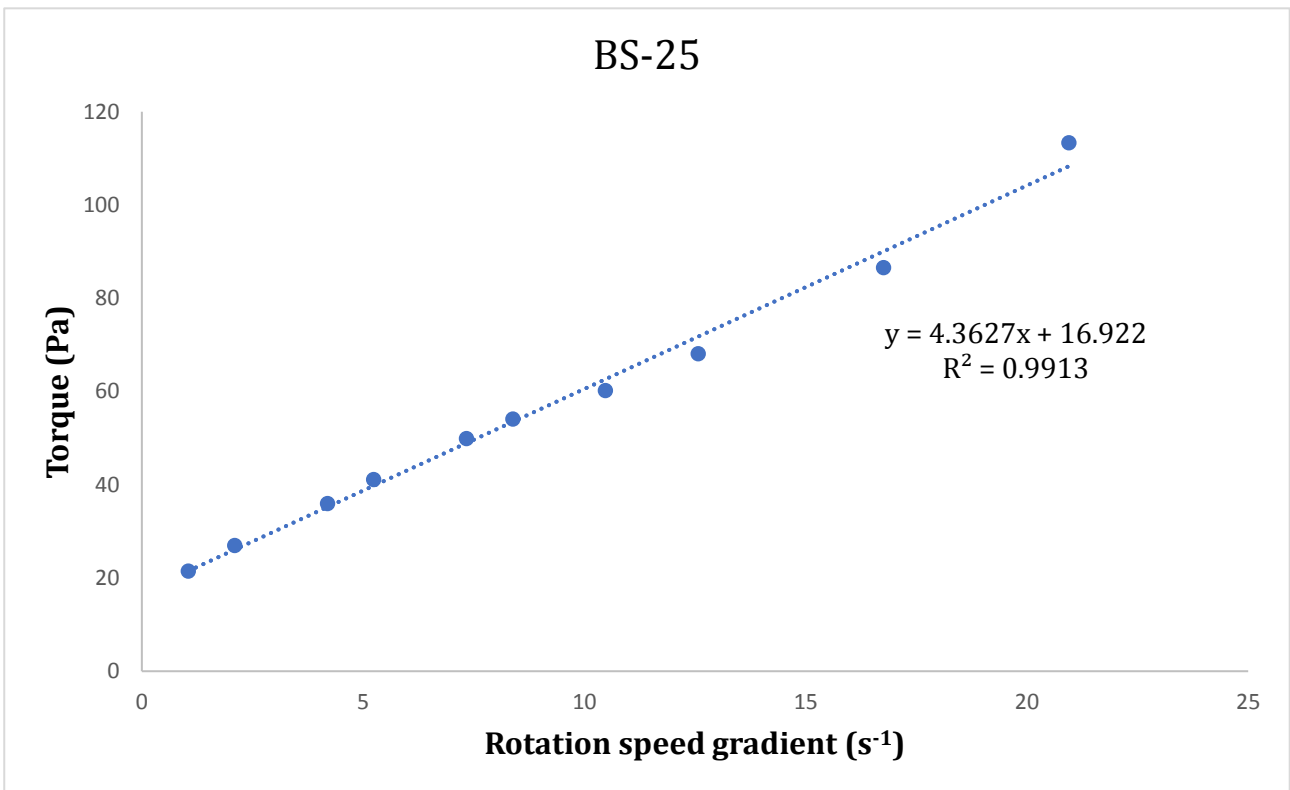
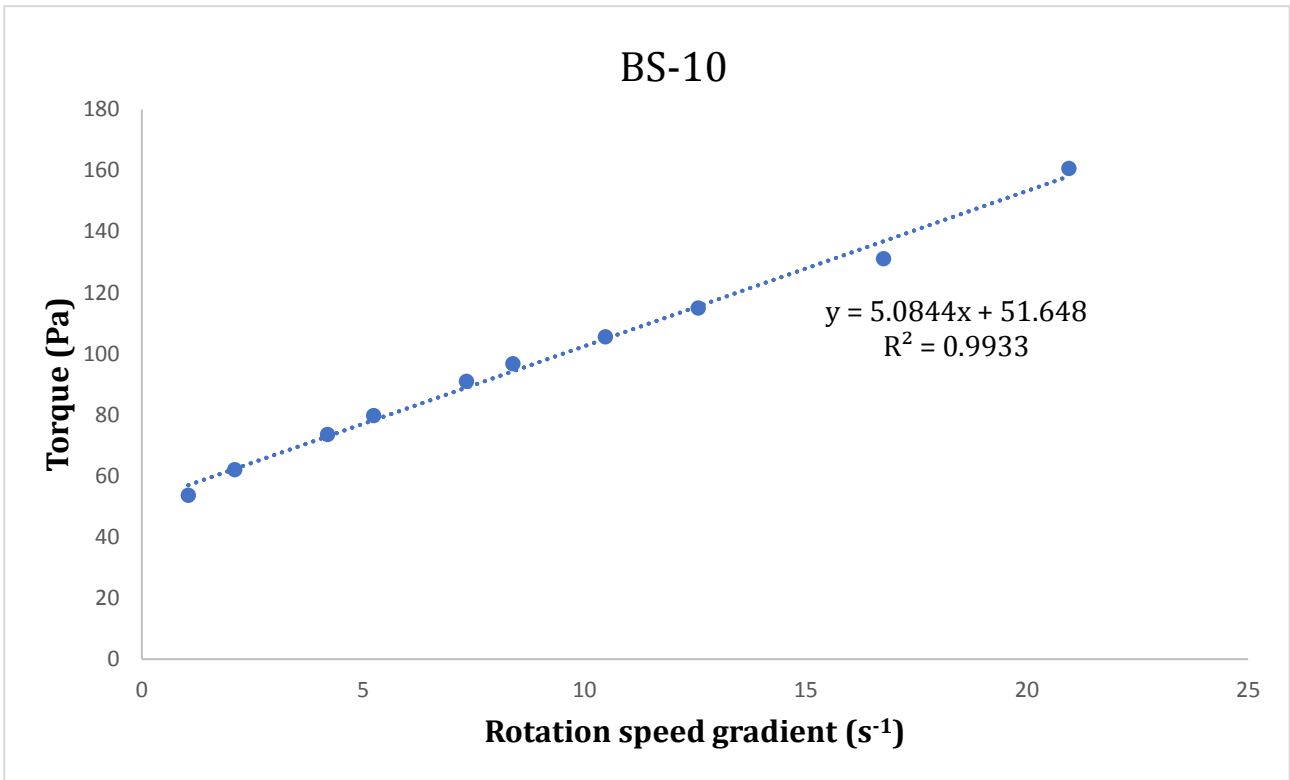


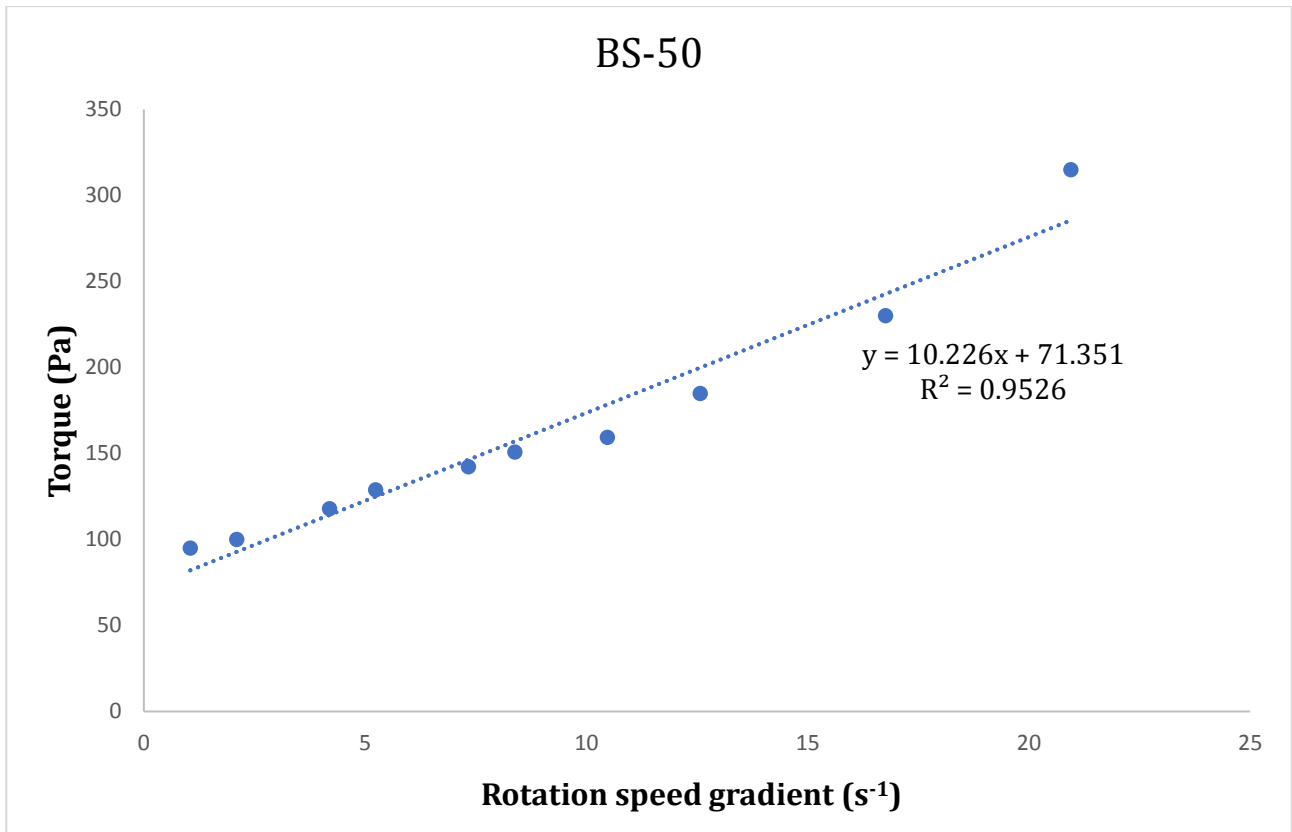
Annex 14: Slump test results for the limestone sand partial substitution by the brick sand

	BS-0		BS-5		BS-10		BS-25		BS-50	
	Diameters (mm)	Average (mm)	Diameters (mm)	Average (mm)	Diameters (mm)	Average (mm)	Diameters (mm)	Average (mm)	Diameters (mm)	Average (mm)
Mini cone	152	153	161	163.5	169	171.25	154	155.25	150	148.25
	152		165		170		154		148	
	154		165		172		158		146	
	154		162		174		155		149	
MBE cone	199	201.75	218	218	225	226.25	220	217	200	203.5
	204		217		229		218		204	
	205		216		226		215		205	
	199		221		225		215		205	

Annex 15: *RheoCAD* results for the limestone sand substitution case







Annex 16: Mechanical properties of the partial substitution of limestone filler

- Flexural strength at 7 days:

BF-0						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	556.31	3044.7	7.14	2173
2	40.00	40.00	558.63	2835.7	6.65	2182
3	40.00	40.00	554.62	2712.2	6.36	2166
Average	40.00	40.00	556.52	2864.2	6.71	2174
Standard dev.	0.0	0.0	2.0	168.1	0.4	7.9

BFWA-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	565.47	2781.7	6.52	2209
2	40	40	565	2582	6	2208
3	40.00	40.00	562.63	2732.4	6.40	2198
Average	40.00	40.00	564.42	2698.6	6.32	2205
Standard dev.	0	0	1.6	104.1	0.2	6.1

BFWA-100						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	553.23	2186.3	5.12	2161
2	40.00	40.00	555.41	2291.5	5.37	2170
3	40.00	40.00	552.76	2240.4	5.25	2159
Average	40.00	40.00	553.80	2239.4	5.25	2163
Standard dev.	0.0	0.0	1.4	52.6	0.1	5.5

BFNWA-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	562.39	2236.9	5.24	2197
2	40.00	40.00	562.30	2496.7	5.85	2196
3	40.00	40.00	563.49	2748.4	6.44	2201
Average	40.00	40.00	562.73	2494.0	5.85	2198
Standard dev.	0.0	0.0	0.7	255.8	0.6	2.6

BFNWA-100						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	554.19	2385.4	5.59	2165
2	40.00	40.00	552.68	2438.6	5.72	2159
3	40.00	40.00	554.90	2462.8	5.77	2168
Average	40.00	40.00	553.92	2429.0	5.69	2164
Standard dev.	0.0	0.0	1.1	39.6	0.1	4.4

- Flexural strength at 28 days:

BF-0						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	561.59	3124.5	7.32	2194
2	40.00	40.00	558.52	2977.0	6.98	2182
3	40.00	40.00	561.30	3350.4	7.85	2193
Average	40.00	40.00	560.47	3150.6	7.38	2189
Standard dev.	0.0	0.0	1.7	188.0	0.4	6.6

BFWA-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	566.43	3275.7	7.68	2213
2	40.00	40.00	568.16	3171.4	7.43	2219
3	40.00	40.00	564.56	2995.0	7.02	2205
Average	40.00	40.00	566.38	3147.4	7.38	2212
Standard dev.	0.0	0.0	1.8	141.9	0.3	7.0

BFWA-100						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	544.64	3149.4	7.38	2128
2	40.00	40.00	546.13	3130.3	7.34	2133
3	40.00	40.00	550.11	2820.1	6.61	2149
Average	40.00	40.00	546.96	3033.3	7.11	2137
Standard dev.	0.0	0.0	2.8	184.8	0.4	11.0

BFNWA-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	561.31	3031.4	7.10	2193
2	40.00	40.00	561.08	2873.7	6.74	2192
3	40.00	40.00	561.42	3029.1	7.10	2193
Average	40.00	40.00	561.27	2978.1	6.98	2192
Standard dev.	0.0	0.0	0.2	90.4	0.2	0.7

BFNWA-100						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	557.34	3366.8	7.89	2177
2	40.00	40.00	553.39	3215.5	7.54	2162
3	40.00	40.00	556.17	3296.5	7.73	2173
Average	40.00	40.00	555.63	3292.9	7.72	2170
Standard dev.	0.0	0.0	2.0	75.7	0.2	7.9

- Compressive strength at 7 days:

BF-0					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	55478	34.67
2	40.00	40.00	40.00	51392	32.12
3	40.00	40.00	40.00	54422	34.01
4	40.00	40.00	40.00	49191	30.74
5	40.00	40.00	40.00	48268	30.17
6	40.00	40.00	40.00	50152	31.35
Average	40.00	40.00	40.00	51484	32.18
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	2896.91	1.81

BFWA-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	49206	30.75
2	40.00	40.00	40.00	51413	32.13
3	40.00	40.00	40.00	50782	31.74
4	40.00	40.00	40.00	51866	32.42
5	40.00	40.00	40.00	46622	29.14
6	40.00	40.00	40.00	50672	31.67
Average	40.00	40.00	40.00	50093	31.31
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1925.03	1.20

BFWA-100					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	42960	26.85
2	40.00	40.00	40.00	45385	28.37
3	40.00	40.00	40.00	40645	25.40
4	40.00	40.00	40.00	43121	26.95
5	40.00	40.00	40.00	41973	26.23
6	40.00	40.00	40.00	43213	27.01
Average	40.00	40.00	40.00	42883	26.80
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1566.63	0.98

BFNWA-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	47935	29.96
2	40.00	40.00	40.00	48384	30.24
3	40.00	40.00	40.00	49834	31.15
4	40.00	40.00	40.00	48216	30.14
5	40.00	40.00	40.00	45094	28.18
6	40.00	40.00	40.00	52215	32.63
Average	40.00	40.00	40.00	48613	30.38
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	2346.05	1.47

BFNWA-100					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	46652	29.16
2	40.00	40.00	40.00	46007	28.75
3	40.00	40.00	40.00	47181	29.49
4	40.00	40.00	40.00	48160	30.10
5	40.00	40.00	40.00	44337	27.71
6	40.00	40.00	40.00	47737	29.84
Average	40.00	40.00	40.00	46679	29.17
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1378.43	0.86

- Compressive strength at 28 days:

BF-0					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	58427	36.52
2	40.00	40.00	40.00	61440	38.40
3	40.00	40.00	40.00	59839	37.40
4	40.00	40.00	40.00	58948	36.84
5	40.00	40.00	40.00	60116	37.57
6	40.00	40.00	40.00	62274	38.92
Average	40.00	40.00	40.00	60174	37.61
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1461.86	0.91

BFW-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	59945	37.47
2	40.00	40.00	40.00	56613	35.38
3	40.00	40.00	40.00	59314	37.07
4	40.00	40.00	40.00	58503	36.56
5	40.00	40.00	40.00	55413	34.63
6	40.00	40.00	40.00	59406	37.13
Average	40.00	40.00	40.00	58199	36.37
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1795.30	1.12

BFWA-100					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	59378	37.11
2	40.00	40.00	40.00	55121	34.45
3	40.00	40.00	40.00	58294	36.43
4	40.00	40.00	40.00	58938	36.84
5	40.00	40.00	40.00	52730	32.96
6	40.00	40.00	40.00	57384	35.86
Average	40.00	40.00	40.00	56974	35.61
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	2568.76	1.61

BFNWA-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	59855	37.41
2	40.00	40.00	40.00	60585	37.87
3	40.00	40.00	40.00	61933	38.71
4	40.00	40.00	40.00	59790	37.37
5	40.00	40.00	40.00	60277	37.67
6	40.00	40.00	40.00	60036	37.52
Average	40.00	40.00	40.00	60413	37.76
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	800.08	0.50

BFNWA-100					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	58771	36.73
2	40.00	40.00	40.00	65956	41.22
3	40.00	40.00	40.00	65315	40.82
4	40.00	40.00	40.00	62126	38.83
5	40.00	40.00	40.00	61280	38.30
6	40.00	40.00	40.00	64929	40.58
Average	40.00	40.00	40.00	63063	39.41
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	2807.07	1.75

Annex 17: Mechanical properties of the partial substitution of limestone sand

- Flexural strength at 14 days:

BS-0						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	558.97	3295.8	7.72	2183
2	40.00	40.00	557.34	3137.7	7.35	2177
3	40.00	40.00	557.41	3230.1	7.57	2177
Average	40.00	40.00	557.91	3221.2	7.55	2179
Standard dev.	0.0	0.0	0.9	79.4	0.2	3.6

BS-25						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	564.17	3257.0	7.63	2204
2	40.00	40.00	571.55	3160.1	7.41	2233
3	40.00	40.00	565.05	2989.0	7.01	2207
Average	40.00	40.00	566.92	3135.4	7.35	2215
Standard dev.	0.0	0.0	4.0	135.7	0.3	15.7

BS-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	555.37	2831.2	6.64	2169
2	40.00	40.00	550.03	3044.8	7.14	2149
3	40.00	40.00	553.25	2572.9	6.03	2161
Average	40.00	40.00	552.88	2816.3	6.60	2160
Standard dev.	0.0	0.0	2.7	236.3	0.6	10.5

- Flexural strength at 28 days:

BS-0						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	554.21	3006.6	7.05	2165
2	40.00	40.00	555.22	3212.8	7.53	2169
3	40.00	40.00	553.86	3064.9	7.18	2164
Average	40.00	40.00	554.43	3094.7	7.25	2166
Standard dev.	0.0	0.0	0.7	106.3	0.2	2.8

BS-25						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	553.07	3198.4	7.50	2160
2	40.00	40.00	555.58	3276.0	7.68	2170
3	40.00	40.00	552.84	3100.2	7.27	2160
Average	40.00	40.00	553.83	3191.5	7.48	2163
Standard dev.	0.0	0.0	1.5	88.1	0.2	5.9

BS-50						
Sample	Width [mm]	Thickness [mm]	Mass [g]	Maximum Load [N]	Maximum Constraint [N/mm ²]	Volumetric Mass [kg/m ³]
1	40.00	40.00	552.82	3680.3	8.63	2159
2	40.00	40.00	551.21	3296.0	7.73	2153
3	40.00	40.00	554.22	3306.5	7.75	2165
Average	40.00	40.00	552.75	3427.6	8.03	2159
Standard dev.	0.0	0.0	1.5	218.9	0.5	5.9

- Compressive strength at 14 days:

BS-0					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	51646	32.28
2	40.00	40.00	40.00	54105	33.82
3	40.00	40.00	40.00	46995	29.37
4	40.00	40.00	40.00	50575	31.61
5	40.00	40.00	40.00	54093	33.81
6	40.00	40.00	40.00	51325	32.08
Average	40.00	40.00	40.00	51456	32.16
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	2634.52	1.65
BS-25					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	53683	33.55
2	40.00	40.00	40.00	50888	31.81
3	40.00	40.00	40.00	51688	32.30
4	40.00	40.00	40.00	52609	32.88
5	40.00	40.00	40.00	50699	31.69
6	40.00	40.00	40.00	53515	33.45
Average	40.00	40.00	40.00	52180	32.61
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1290.56	0.81
BS-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	58252	36.41
2	40.00	40.00	40.00	59141	36.96
3	40.00	40.00	40.00	56577	35.36
4	40.00	40.00	40.00	59432	37.14
5	40.00	40.00	40.00	49857	31.16
6	40.00	40.00	40.00	61818	38.64
Average	40.00	40.00	40.00	57513	35.95
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	4120.68	2.58

- Compressive strength at 28 days:

BS-0					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	51958	32.47
2	40.00	40.00	40.00	52845	33.03
3	40.00	40.00	40.00	54660	34.16
4	40.00	40.00	40.00	52063	32.54
5	40.00	40.00	40.00	50459	31.54
6	40.00	40.00	40.00	52460	32.79
Average	40.00	40.00	40.00	52408	32.75
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1370.02	0.86

BS-25					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	50571	31.61
2	40.00	40.00	40.00	51312	32.07
3	40.00	40.00	40.00	52538	32.84
4	40.00	40.00	40.00	51777	32.36
5	40.00	40.00	40.00	49875	31.17
6	40.00	40.00	40.00	48175	30.11
Average	40.00	40.00	40.00	50708	31.69
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1548.11	0.97

BS-50					
Sample	Length [mm]	Width [mm]	Height [mm]	Load max [N]	Maximum Load Constraint [MPa]
1	40.00	40.00	40.00	62780	39.24
2	40.00	40.00	40.00	65340	40.84
3	40.00	40.00	40.00	64347	40.22
4	40.00	40.00	40.00	66724	41.70
5	40.00	40.00	40.00	67132	41.96
6	40.00	40.00	40.00	67141	41.96
Average	40.00	40.00	40.00	65577	40.99
Standard dev.	0.00	0.00	0.00	1764.86	1.10