

DESTINATAIRE

CREA STONE
102 rue Bollerat

71260 SENOZAN

RAPPORT D'ETUDE – Département Matériaux

RAPPORTS D'ESSAIS
Dossier 07.04.21373.4 du 25/02/2008
Etude 07.21373.001.04 A
Rapport 17.40460.001.01B du 29 mai 2015
Rapport 17.40460.001.01C du 13 juin 2017

Des Laboratoires LERM / SETEC

Nom de la pierre : CEDRE GRAY



www.setec.fr

REFERENCES DE L'ETUDE

Rapport d'étude n°	17.40460.001.01.C
N° de dossier	17.03.40460
Réf. offre LERM	DV60339bis/BCM11
Réf. client – N° de commande	Bon pour accord
Site ou Ouvrage	-
Nombre d'annexes	-
Rapport d'essais COFRAC	0

PRODUCTION

Rédacteurs	Relecteur	Assistante
Alex Reynaud et Jean-Luc Dupuy	Jean-Pierre Commène	Muriel Peychaud

DIFFUSION

Société	Exemplaires	Mail
CREA STONE LERM	1	Crea-stone@live.fr
LERM Arles	1	Jean-luc.dupuy@lerm.setec.fr
LERM Rhône Alpes	1	Alex.reynaud@lerm.setec.fr

Ce dossier a été réalisé dans une entreprise dont le système de management de la qualité est certifié ISO 9001 par AFAQ/AFNOR Certification.

COORDONNEES

Siège social	Chargé d'affaire
Lerm setec 23 rue de la Madeleine CS 60136 13631 ARLES Cedex FRANCE Tél +33 4 86 52 65 00 Fax +33 4 90 96 25 27 contact@lerm.setec.fr www.lerm.fr	Jean-Luc DUPUY Responsable Laboratoire Essais Physiques Lerm setec 23 rue de la Madeleine CS 60136 13631 ARLES Cedex FRANCE Tél +33 4 86 52 65 56 Mob +33 6 26 88 47 67

1 — Objet de l'étude	4
2 — Programme de l'étude	4
3 — Identification des échantillons	4
4 — Résultats	5
4.1 Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité ouverte	5
4.2 Détermination de la résistance mécanique en compression	6
4.3 Détermination de la résistance mécanique en flexion	7
4.4 Mesure de la vitesse de la propagation du son	9
4.5 Détermination de l'usure au disque métallique	10
4.6 Essai de glissance – Finition vieillie	11
5 — Synthèse et conclusion	12

Mots clés : pierres de construction, calcaire, masse volumique apparente, porosité ouverte, résistances mécaniques, usure au disque, glissance

1 — Objet de l'étude

A la demande et pour le compte de la société CREA STONE, le LERM a réalisé de mars à mai 2017 une étude visant à caractériser un calcaire référencé « CEDRE GRAY » selon la norme NF B 10-601.

2 — Programme de l'étude

Conformément au programme proposé, les essais en laboratoire ont été les suivants.

- détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau selon la norme NF EN 1936,
- mesure de la résistance mécanique à la compression selon la norme NF EN 1926,
- mesure de la résistance mécanique en flexion selon la norme NF EN 12372,
- détermination de la vitesse de propagation du son selon la norme NF EN 14579,
- détermination de l'usure au disque selon la norme NF EN 14157,
- détermination de la glissance selon le principe de la norme NF EN 14231,

3 — Identification des échantillons

Le tableau 1 donne les références et les principales caractéristiques des échantillons réceptionnés au LERM les 28 mars et 7 avril 2017.

Réf. LERM	Réf. CREA STONE	Description
40460-1A à 1H	CEDRE GRAY	8 cubes 70 x 70 x 70 mm
40460-2A à 2R		18 prismes 50 x 50 x 300 mm
40460-3A à 3G		7 prismes 300 x 75 x 50 mm
40460-4A à 4G		7 prismes 100 x 100 x 30 mm
40460-5A à 5F		6 prismes 100 x 150 x 15 mm
40460-6A à 6H		8 cubes 70 x 70 x 70 mm
40460-7A à 7H		8 cubes 70 x 70 x 70 mm

Tableau 1 : Identification des échantillons

4 — Résultats

4.1 Détermination de la masse volumique apparente et de la porosité ouverte

La porosité ouverte ainsi que la masse volumique apparente ont été mesurées par absorption d'eau sous vide et pesée hydrostatique selon le mode opératoire de la norme NF EN 1936.

La masse volumique apparente, exprimée en kg/m^3 , est égale au quotient de la masse de l'échantillon sec (m_s) et de la différence entre la masse imbibée (m_i) et la masse dans l'eau (m_e) :

$$M_{\text{v app.}} = \frac{m_s}{m_i - m_e}$$

La porosité ouverte (%) est calculée par la relation ci-après :

$$P_o = 100 \cdot \frac{m_i - m_s}{m_i - m_e}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2.

Réf. LERM	Masse volumique apparente en kg/m^3	Porosité ouverte en %
40460-7A	2600	3,5
40460-7B	2600	3,1
40460-7C	2590	3,6
40460-7D	2590	3,7
40460-7E	2590	3,5
40460-7F	2600	3,4
Moyenne	2600	3,5

Tableau 2 : Résultats de masse volumique apparente et porosité ouverte

Les échantillons étudiés présentent une **masse volumique apparente de 2600 kg/m^3** et une **porosité ouverte de 3,5 %**.

4.2 Détermination de la résistance mécanique en compression

La mesure de la résistance mécanique en compression, sur cubes 70 x 70 x 70 mm, a été réalisée conformément à la norme NF EN 1926. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 3.

Réf. LERM	Masse	Force (kN)	Rc (MPa)
40460-6A	928,5	814	166,4
40460-6B	925,3	785	158,5
40460-6C	856,6	857	174,2
40460-6D	927,6	697	135,3
40460-6E	925,8	695	135,8
40460-6F	928,8	791	160,0

Tableau 3 : Résultats des essais de compression

L'interprétation des résultats d'essais de compression met en évidence les points suivants :

- Valeur minimale : 135,3 MPa
- Valeur maximale : 174,2 MPa
- Valeur moyenne : 155 MPa
- Ecart type : 16 MPa
- Coefficient de variation : 10 %
- Moyenne logarithmique : 5,039 MPa
- Ecart type logarithmique : 0,106 MPa
- Valeur minimale attendue (pour un niveau de confiance de 75%) : 120 MPa

4.3 Détermination de la résistance mécanique en flexion

La mesure de la résistance mécanique en flexion, sur prismes 50 x 50 x 300 mm, a été réalisée conformément à la norme NF EN 12372.

L'éprouvette est positionnée d'une manière symétrique par rapport aux rouleaux. Le rouleau de chargement est placé au milieu de l'éprouvette.

La charge est augmentée de telle sorte que la contrainte s'élève uniformément à une vitesse de (0,25 ± 0,05) MPa/s jusqu'à la rupture de l'éprouvette. On note la force de rupture ainsi que sa localisation. On mesure la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette au droit du plan de rupture et on exprime ces dimensions en millimètres, 0,1 mm près.

La résistance à la flexion R_{lf} de chaque éprouvette est calculée au moyen de la formule :

$$R_{lf} = \frac{3F}{2bh^2}$$

Avec R_{lf} résistance à la flexion, en mégapascals ;
 F force de rupture, en newtons ;
 l distance entre les rouleaux d'appui, en millimètres ;
 b largeur de l'éprouvette au droit du plan de rupture, en millimètres ;
 h épaisseur de l'éprouvette au droit du plan de rupture, en millimètres.

Le résultat doit être exprimé en mégapascals, à 0,1 MPa près.

Si le plan de rupture se situe dans une zone située par rapport au milieu de l'éprouvette à plus de 15 % de la distance entre les rouleaux d'appui et/ou est dû à la présence d'une hétérogénéité (veine, fissure, etc...), il en est fait mention.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 4.

Réf. LERM	Largeur b (en mm)	Hauteur h (en mm)	Force (N)	R _{tf} (MPa)	Localisation du plan de rupture (en %)
40460-2A	50,4	49,9	5005	14,9	1
40460-2B	49,5	50,4	4422	13,2	0
40460-2C	49,6	50,4	4712	14,0	1
40460-2D	50,2	50,6	4617	13,5	6
40460-2E	50,5	51,4	5296	14,9	0
40460-2F	50,6	50,1	3890	11,5	6
40460-2G	50,7	50,3	4917	14,4	3
40460-2H	50,5	51,7	4318	12,0	4
40460-2I	50,4	49,8	4815	14,4	1
40460-2J	49,9	50,5	4684	13,8	7

Tableau 4 : Résultats des essais de flexion

L'interprétation des résultats d'essais de flexion met en évidence les points suivants :

- Valeur minimale : 11,5 MPa
- Valeur maximale : 14,9 MPa
- Valeur moyenne : 13,7 MPa
- Ecart type : 1 MPa
- Coefficient de variation : 9 %
- Moyenne logarithmique : 2,6 MPa
- Ecart type logarithmique : 0,088 MPa
- Valeur minimale attendue (pour un niveau de confiance de 75%) : 11,3 MPa

4.4 Mesure de la vitesse de la propagation du son

La mesure de la vitesse de propagation du son a été effectuée selon le mode opératoire de la norme NF EN 14579. Les mesures sont effectuées parallèlement et perpendiculairement au lit de carrière. La vitesse de propagation des ondes soniques, ou ultra soniques, varie en fonction de la densité et du module dynamique des matériaux.

La vitesse est calculée à partir de la mesure du temps de propagation d'un train d'ondes longitudinales, générée par un transducteur, entre deux points séparés par une distance connue :

$$v = l / t$$

Avec l est la distance entre les transducteurs en kilomètres,
 t est le temps de propagation de la première onde en secondes.
 V est la vitesse exprimée en kilomètre par seconde.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5 ci-après.

Réf. LERM	Vitesse du son (km/s) Direction 1	Vitesse du son (km/s) Direction 2	Vitesse du son (km/s) Direction 3
40460-3A	5,72	5,66	5,65
40460-3B	5,72	5,61	5,65
40460-3C	5,73	5,68	5,65
40460-3D	5,73	5,61	5,61
40460-3E	5,73	5,68	5,66
40460-3F	5,72	5,62	5,73
Médiane	5,72	5,64	5,65

Tableau 5 : Résultats de vitesse de propagation du son sur éprouvettes de pierre

Les vitesses de propagation du son obtenues sont comprises entre 5,61 et 5,73 km/s.

La valeur médiane est égale à 5,65 km/s.

4.5 Détermination de l'usure au disque métallique

La détermination de l'usure au disque métallique, sur prismes 100 x 100 x 30 mm, a été réalisée conformément à la norme NF EN 14157. L'essai consiste à déterminer l'empreinte produite sur l'éprouvette par le chant d'un disque métallique tournant dans des conditions déterminées, en présence d'un abrasif pulvérulent (corindon). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 6.

Réf. LERM	Dimension maxi. Corrigée de l'empreinte	Dimension moyenne des empreintes
	par ép. (en mm)	(en mm)
40460-4A	17,9	18,5
40460-4B	19,2	
40460-4C	17,7	
40460-4D	20,1	
40460-4E	18,2	
40460-4F	18,2	

Tableau 6 : Résultats des essais d'usure au disque métallique sur prismes de pierre

Les résultats obtenus montrent que l'usure au disque métallique varie de 17,7 à 20,1 mm, et présente une moyenne égale à 18,5 mm.

4.6 Essai de glissance – Finition vieillie

La mesure de la résistance à la glissance a été réalisée à l'aide du pendule de frottement SRT selon le principe du mode opératoire de la norme NF EN 14231. Les mesures ont été effectuées sur six éprouvettes selon deux sens.

Pour la réalisation de cet essai, un patin large a été utilisé.

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 7 et 8.

Réf. LERM	Valeur de frottement du pendule en milieu sec										m	Moy. Ech.	
	Sens 1 (longueur)					m	Sens 2 (largeur)						
40460-8A	63	63	63	63	62	62,8	63	63	63	62	62	62,6	63
40460-8B	61	61	61	61	61	61,0	62	62	61	61	61	61,4	61
40460-8C	64	64	63	63	63	63,4	63	63	62	62	61	62,2	63
40460-8D	64	64	64	64	63	63,8	65	64	64	63	63	63,8	64
40460-8E	63	63	63	63	63	63,0	64	63	63	63	62	63,0	63
40460-8F	64	64	64	63	63	63,6	63	63	63	63	63	63,0	63

Tableau 7 : Résultat de l'essai de glissance en milieu sec

Réf. LERM	Valeur de frottement du pendule en milieu humide										m	Moy. Ech.	
	Sens 1 (longueur)					m	Sens 2 (largeur)						
40460-8A	56	55	55	54	54	54,8	56	55	55	55	54	55,0	55
40460-8B	48	48	48	48	47	47,8	49	49	48	48	48	48,4	48
40460-8C	56	56	55	55	55	55,4	58	58	57	57	56	57,2	56
40460-8D	54	54	54	54	53	53,8	55	55	54	54	54	54,4	54
40460-8E	55	55	54	53	53	54,0	54	54	54	53	52	53,4	54
40460-8F	49	49	49	49	49	49,0	50	50	50	50	49	49,8	49

Tableau 8 : Résultat de l'essai de glissance en milieu humide

Les valeurs obtenues montrent que :

- la résistance à la glissance en milieu sec présente une moyenne SRV sec égale à 63,
- la résistance à la glissance en milieu humide présente une moyenne SRV humide égale à 53.

5 — Synthèse et conclusion

L'étude en laboratoire, réalisée au LERM, de mars à mai 2017 dans le but de déterminer les caractéristiques physiques d'une pierre calcaire référencée « CEDRE GRAY » selon la norme NF B 10-601, a permis de dégager les points essentiels suivants :

- les caractéristiques mesurées révèlent une bonne homogénéité du matériau à l'échelle des échantillons,
- les moyennes des résultats obtenus par les différents essais sont reportées dans le tableau page suivante, ainsi que les contraintes maximales exigées par la norme NF B 10-601, en fonction de la destination dans l'ouvrage.

Au total, et selon les spécifications de la norme NF B 10-601, les résultats des essais réalisés répondent aux prescriptions maximales (données à titre indicatif en page suivante) quelle que soit la destination dans l'ouvrage et quelle que soit la zone géographique française de mise en œuvre.

Les ingénieurs responsables de l'étude



J-L. DUPUY & A. REYNAUD

p/o Le directeur du Département Matériaux



J-P. COMMENE

Essais physiques réalisés par F. Petit

*La reproduction intégrale de ce rapport sans modification d'aucune sorte est seule autorisée.
Les essais faisant l'objet du présent rapport portent sur des échantillons prélevés dans certaines conditions. Leur représentativité est liée à celle des échantillons et ne peut être étendue à une population dont ils sont issus que si l'homogénéité de cette population peut être vérifiée.*

Essai de gélivité

L'essai de gel a été effectué selon le mode opératoire de la norme EN 12371. Il consiste en une succession de cycles de gel dans l'air et de dégel dans l'eau.

Trois critères permettent d'apprécier l'action des cycles de gel /dégel sur les éprouvettes :

- Mesures du volume apparent : l'évolution du volume apparent permet de chiffrer les pertes de matériau dues aux altérations. L'altération de l'éprouvette est effective lorsqu'il y a diminution du volume apparent de 1% du volume apparent d'origine.
- Mesure du module d'élasticité dynamique : certaines altérations telles que les microfissures sont susceptibles de la faire évoluer. L'altération de l'éprouvette est effective lorsqu'il y a diminution d'au moins 30% du module d'élasticité dynamique par rapport au module d'élasticité dynamique initial E_0 .
- Observation visuelle : la norme EN 12371 donne 6 niveaux d'altération : 0,1,2,3,4, et 5, avec :

0 : aucune altération

1 : altérations minimales (quelques pertes de matériau au niveau des angles et des arêtes de l'éprouvette testée),

2 : quelques fissures (<0.1 mm d'épaisseur), et /ou perte de petits fragments (< 10 mm 2),

3 : plusieurs fissures épaisses, et / ou perte de gros fragments,

4 : éprouvette brisée en deux morceaux et/ou présence de fortes fissures,

5 : destruction de l'éprouvette.

L'altération de l'éprouvette est effective lorsque le niveau 3 est atteint.

Au total, le nombre de cycles retenu est celui pour lequel au moins 2 éprouvettes sont considérées comme altérées selon l'un des critères suivants :

- La diminution du volume apparent atteint 1%,
- La diminution du module d'élasticité dynamique atteint 30%,
- La note attribuée à l'examen visuel atteint 3%.

Les résultats obtenus au moment de l'arrêt de l'essai sont regroupés dans le tableau 7.

Réf.LERM	Nombre de cycles N	Critère prédominant pour l'arrêt de l'essai		
		Variation de volume (en%)	Variation de E (en%)	Observations visuelles
21373-3A	240	-0.01	-1	Niveau 0
21373-3B	240	0.01	0	Niveau 0
21373-3C	240	0.00	0	Niveau 0
21373-3D	240	0.00	0	Niveau 0
21373-3E	240	-0.01	1	Niveau 0
21373-3F	240	-0.02	1	Niveau 0
21373-3H	240	-0.02	-1	Niveau 0

Tableau 7 Résultats de l'essai de gélivité au moment de son arrêt

Les différentes observations effectuées durant l'essai de gel ne montrent aucune dégradation.

Le nombre de cycles retenu est égal à 240 cycles