

EVALUATION TECHNIQUE DE PRODUITS ET MATERIAUX N° ETPM-23/0085_V1 du 4 avril 2024

concernant le liant CARAT®_V-BCN 0133H



Première édition : ETPM-23/0085 du 4 avril 2024

Titulaire : VICAT- 4, rue Aristide Bergès – les trois Vallons - 38080 L'Isle d'Abeau
Service commercial : CIMENT VICAT – Direction Commerciale - 4, rue Aristide Bergès – les trois Vallons - 38080 L'Isle d'Abeau
Usine : CIMENT VICAT – Usine de Montalieu – Route des usines – 38390 MONTALIEU-VERCIEU

Cette Evaluation Technique comporte 13 pages. Sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral sauf accord particulier du CSTB.

AVERTISSEMENT

Cette Evaluation Technique de Produits et Matériaux, du fait qu'elle ne vise qu'à déterminer des caractéristiques intrinsèques d'un produit ou d'un matériau, n'a pas de valeur d'Avis Technique au sens de l'arrêté modifié du 21 mars 2012. Elle ne dispense pas de vérifier l'aptitude du produit ou matériau à être incorporé dans un ouvrage déterminé, par consultation de documents de références de l'application considérée (NF-DTU, CPT, Avis Technique, ...).

EVALUATION TECHNIQUE

Liant pour béton : Liant CARAT_V-BCN 0133H

DEFINITION SUCCINCTE

Le liant CARAT_V-BCN 0133H est un liant bas carbone qui intègre un constituant biosourcé dans sa composition tout en conservant les propriétés et les usages d'un ciment traditionnel avec un taux de clinker proche de celui d'un CEM II / A. Le taux d'émission nettes de CO₂ communiqué par le titulaire est de -15 kg CO₂éq/t.

Le taux d'émission nette de CO₂ du liant CARAT_V-BCN 0133H indiqué a été estimé dans le cadre d'un calcul d'analyse de cycle de vie conformément à la norme NF EN 15804+A1 en vigueur à la date de réalisation de cette estimation. Une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire d'un béton de type C25/30 formulé à base du liant CARAT_V-BCN 0133H présente selon cette même norme un impact sur le réchauffement climatique sur le total cycle de vie hors module D réduit d'environ 90% par rapport à une béton de type C25/30 formulé à base de CEM II/A (Note : L'ETPM n'a pas pour objet de valider cette donnée).

Le biochar est un matériau poreux et carboné, produit par pyrolyse (décomposition à 450°C en absence d'oxygène) de la biomasse (résidus forestiers et de chutes de scieries). Le taux de captation du Biochar est d'environ 2,9 tonnes de CO₂ équivalent séquestrés par tonne de ce type de Biochar utilisé pour la fabrication du liant CARAT_V-BCN 0133H.

Ce liant se présente sous la forme d'une poudre, similaire à celle d'un ciment traditionnel, dont l'aspect se distingue par une couleur gris foncé à noire.

Le liant CARAT_V-BCN 0133H qui se distingue des ciments traditionnels par sa composition, présentée dans le **Tableau 1** ci-dessous :

Tableau 1 : Composition du liant CARAT_V-BCN 0133H

Les % indiqués sont des pourcentages massiques		Liant CARAT	Ciment conforme NF EN 197-1, NF EN 197-5 et NF EN 197-6
Constituants	Ciment Portland (de type CEM I 52,5 R CE CP2 NF ou CEM I 52,5 N CE PM-CP2 NF)	75 à 90%	Couvert NF EN 197-1
	Biochar	10 à 25%	Non couvert

NF EN 197-1 (avril 2012) : Ciment – Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

NF EN 197-5 (mai 2021) : Ciment – Partie 5 : Ciment Portland composé CEM II/C-M et Ciment composé CEM VI

NF EN 197-6 (juin 2023) : Ciment - Partie 6 : Ciment à base de matériaux de construction recyclés

Les **applications envisagées** des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H peuvent être les suivantes :

- Superstructure :
 - Ouvrages coulés en place de type :
 - Voiles, Poteaux, Poutres, Planchers en dalle pleine,
 - Table de compression de planchers mixtes bois-béton,
 - Table de compression de planchers à bac acier collaborant
 - Table de compression des planchers préfabriqués (prédalle / dalle alvéolaires / etc.)
 - Eléments en béton préfabriqués :
 - Prédalles / Prémurs / Poutres et poteaux / Escaliers / Etc....

Rappel : l'ETPM porte uniquement sur les caractéristiques intrinsèques du produit et ne préjuge pas de l'aptitude à l'emploi du produit dans l'ouvrage. Les applications précisées ci-avant sont donc données à titre indicatif.

EVALUATION TECHNIQUE

Les propriétés du liant CARAT_V-BCN 0133H et celles des bétons fabriqués à partir de celui-ci, présentées ci-après, résultent principalement de l'analyse des résultats d'essais réalisés, qui sont présentés au paragraphe E du Dossier Technique.

L'évaluation est basée sur une approche comparative du liant CARAT_V-BCN 0133H avec un ciment de type CEM II/A-LL. Les granulats utilisés sont des granulats naturels (pas de granulats recyclés).

Le détail des essais réalisés et l'analyse qui en est faite est reportés dans le rapport d'évaluation associé à cet ETPM (référence RT_ETPM-23/0085-V1 [1]). Ce rapport étant à usage confidentiel, le titulaire se réserve le droit de le communiquer.

Les performances ou exigences physico-chimique du liant CARAT_V-BCN 0133H sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Performances ou exigences physico-chimique du liant

Caractéristiques ou propriétés	Méthode de vérification	Spécifications techniques
Perte au feu à 950°C	NF EN 196-2	≤ 20,0% et ≥ 16,0% en masse
Teneur en sulfate (SO ₃)	NF EN 196-2	≤ 4,0 % en masse de ciment
Teneur en chlorure	NF EN 196-2	≤ 0,10 % en masse de ciment
Résistance en compression	NF EN 196-1	≥ 20 MPa à 2 jours ≥ 35 MPa à 28 jours
Temps de début de prise	NF EN 196-3	≥ 60 min
Stabilité (expansion)	NF EN 196-3	≤ 10 mm

Les propriétés ou performances des bétons à base du liant CARAT_V-BCN 0133H sont données dans les paragraphes suivants.

Le dosage en liant peut varier en fonction des caractéristiques mécaniques et de durabilité recherchées, entre 300 et 400 kg/m³. Dans le cadre de la démarche expérimentale associée à la caractérisation des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H, il est proposé de caractériser la formulation contenant 300 kg/m³ de liant.

La formulation nominale du béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H est la suivante :

- Dosage en liant : 300 kg/m³ ;
- Rapport E/C : 0,5 minimum ;
- Les granulats utilisés sont du sable 0/4 (WA24 ≤ 1,4 %) et des gravillons D_{max} 22 mm (WA24 < 1,1 %). L'absorption moyenne des granulats employés est de 1,1 %. Les granulats sont de type alluvionnaire silico-calcaire.

Pour l'évaluation de la durabilité des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H, une gamme complémentaire de granulats a été utilisée. Il s'agit de sable 0/4 (WA24 ≤ 1,4 %) et des gravillons D_{max} 22 mm (WA24 < 2,3 %). Les granulats sont également de type alluvionnaire silico-calcaire. L'absorption moyenne des granulats employés est de 1,6 %. Pour ces dernières formulation, le dosage en liant CARAT_V-BCN 0133H est de 310 kg/m³.

Les bétons de référence et ceux à base du liant CARAT_V-BCN 0133H ont été formulés sur la base de squelette granulaire similaire.

Pour les essais comparatifs, le béton de référence est de type C25/30, XC1/XC2 formulé sur la base du tableau NAF1 de la norme NFEN 206 A2/CN. Le liant utilisé est un ciment CEM II/A-LL de classe 42,5 R.

La formulation du béton de référence à base de ciment CEM II/A-LL 42,5R est donc la suivante :

- Dosage en liant équivalent L_{eq} : 254 kg/m³ ;
- Rapport E_{eff}/L_{eq} : 0,65 ;
- Les granulats utilisés sont du sable 0/4 (WA24 ≤ 1,4 %) et des gravillons D_{max} 22 mm (WA24 < 1,1 %). L'absorption moyenne des granulats employés est de 1,1 %. Les granulats sont de type alluvionnaire silico-calcaire.

Les propriétés à l'état frais du béton à base du liant CARAT V-BCN 0133H sont les suivantes :

- Rhéologie (Affaissement, essai selon l'EN 12350-2) : Le béton, formulé avec le liant CARAT_V-BCN 0133H à 300 kg/m³ avec un rapport E/C de 0,5, présente une rhéologie maintenue dans le temps avec un affaissement à 90 min de 190 mm pour une consistance visée S4.
- La masse volumique à l'état frais (essai selon l'EN 12350-6) est stable dans le temps et est représentative de celle d'un béton courant.

Les propriétés à l'état durci du béton à base du liant CARAT V-BCN 0133H sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Propriétés du béton à l'état durci à base de liant CARAT_V-BCN 0133H

Caractéristiques ou propriétés	Méthode de vérification	Résultats béton CARAT	Résultat du béton de référence
Résistance à la compression sur cylindres 15x30 cm (moyenne / écart type sur séries de 3)	NF EN 12390-3	$R_{cm, 28j} = 40,9 \text{ MPa}$ (écart type : 0,9) $R_{cm, 91j} = 41,2 \text{ MPa}$ (écart type : 0,3)	$R_{cm, 28j} = 32,2 \text{ MPa}$ (écart type : 0,4)
Résistance à la traction par fendage sur cylindres 15x30 cm (moyenne / écart type sur séries de 3)	NF EN 12390-6	$R_{cm, 7j} = 2,40 \text{ MPa}$ (écart type : 0,25) $R_{cm, 28j} = 2,85 \text{ MPa}$ (écart type : 0,30) $R_{cm, 90j} = 2,85 \text{ MPa}$ (écart type : 0,15)	Absence de données
Module sécant d'élasticité sur cylindres 15x30 cm (moyenne sur séries de 3 essais)	NF EN 12390-13 (méthode B)	$E_{cm, 28j} = 34,9 \text{ GPa}$ (écart type : 0,9 GPa)	$E_{cm, 28j} = 32,2 \text{ GPa}$ (écart type : 1,2 GPa)
Variation dimensionnelles (retrait total) Age du béton : 28 jours / $t_0=24\text{h}$ Sur prismes 7x7x28 cm (moyenne sur séries de 3 essais)	NF P18-427	$V_{d,moy} = 300 \text{ }\mu\text{m/m}$ (écart type : 7 $\mu\text{m/m}$) (Perte de masse totale associée : $V_{m,moy} = 2,53\%$)	$V_{d,moy} = 258 \text{ }\mu\text{m/m}$ (écart type : 7 $\mu\text{m/m}$) (Perte de masse totale associée : $V_{m,moy} = 3,17\%$)
Retrait et Fluage en compression Age du béton : 300 jours / $t_0=28$ jours Sur cylindres 10x30 cm (moyenne sur séries de 3 essais)	NF EN 12390-16	Retrait total $\varepsilon_{cs}(300, 28) = 478 \text{ }\mu\text{m/m}$	Retrait total $\varepsilon_{cs}(300, 28) = 417 \text{ }\mu\text{m/m}$
	NF EN 12390-17	Fluage total $\varepsilon_{dc}(300,28) = 1141 \text{ }\mu\text{m/m}$ Coefficient de fluage total $\varphi(300, 28) = 3,02$	Fluage total $\varepsilon_{dc}(300,28) = 1091 \text{ }\mu\text{m/m}$ Coefficient de fluage total $\varphi(300, 28) = 3,62$
Adhérence armature / béton (valeur caractéristique sur séries de 5 essais) Résistance du béton au moment des essais : $R_{cm} = 40,7 \text{ MPa}$	NF EN 10080	Sur armature type: HA 8 : $F_{db,exp} = 13,1 \text{ MPa}$ HA 12 : $F_{db,exp} = 17,3 \text{ MPa}$ HA 14 : $F_{db,exp} = 12,1 \text{ MPa}$ HA 20 : $F_{db,exp} = 16,7 \text{ MPa}$ Moyenne plage armatures testées HA8 à 20 : $F_{db,exp} = 15,7 \text{ MPa}$	Sur armature type: HA 8 : $F_{db,exp} = 16,5 \text{ MPa}$ HA 12 : $F_{db,exp} = 13,5 \text{ MPa}$ HA 14 : $F_{db,exp} = 11,9 \text{ MPa}$ HA 20 : $F_{db,exp} = 18,8 \text{ MPa}$ Moyenne plage armatures testées HA8 à 20 : $F_{db,exp} = 15,2 \text{ MPa}$
Comportement post-pic (valeurs caractéristiques sur séries de 5 essais)	Protocole spécifique	Contrainte maximale $f_{cm} = (38,9 \pm 0,8) \text{ MPa}$ Déformation associée à f_{cm} $\varepsilon_{c1} = (2532 \pm 142) \text{ }\mu\text{m/m}$ Contrainte à la rupture post-pic $f_{cm, rupture} = (36,5 \pm 1,7) \text{ MPa}$ Déformation associée à $f_{cm, rupture}$ $\varepsilon_{cu1} = (2986 \pm 231) \text{ }\mu\text{m/m}$	Contrainte maximale $f_{cm} = (26,9 \pm 1,1) \text{ MPa}$ Déformation associée à f_{cm} $\varepsilon_{c1} = (1825 \pm 87) \text{ }\mu\text{m/m}$ Contrainte à la rupture post-pic $f_{cm, rupture} = (20,9 \pm 1,7) \text{ MPa}$ Déformation associée à $f_{cm, rupture}$ $\varepsilon_{cu1} = (3460 \pm 189) \text{ }\mu\text{m/m}$

Evaluation vis-à-vis de la durabilité

Tableau 4 : Grandeurs associées à la durabilité mesurées sur les différentes formulations de béton

Formulation béton		Module selon la classe de résistivité à 90 j ($\Omega.m$)	Vitesse caractéristique de carbonatation accélérée $V_{acc,90j}$ (mm/(jour) ^{0,5})	Porosité caractéristique accessible à l'eau / Fraction volumique de pâte $P_{eau,90j}/fV_p$ (%)	Classe d'exposition justifiée pour une DUP de 50 ans
Bétons à base De CARAT_V-BCN 0133H V-BVN 0133	Liant 300 kg/m ³ , granulats absorption <1,4% (absorption moyenne granulats : 1,1%)	54	1,98	Moyenne : 44,4 Corrigée : 48,0	XC1 et XC2
	Liant 300 kg/m ³ , granulats absorption <1,4% (absorption moyenne granulats : 1,1%) Dérivée eau +10 litres/m ³	67	2,08	Moyenne : 46,0 Corrigée : 49,6	XC1 et XC2
	Liant 310 kg/m ³ , granulats absorption 1,4 à 2,9% (absorption moyenne granulats : 1,6%)	50	(essais en cours)	Moyenne : 49,0 Corrigée : 52,6	Les classes d'exposition XC1 et XC2 seront confirmées à l'achèvement des essais de carbonatation accélérée
	Liant 310 kg/m ³ , granulats absorption 1,4 à 2,9% (absorption moyenne granulats : 1,6%) Dérivée eau +10 litres/m ³	49	(essais en cours)	Moyenne : 53,7 Corrigée : 57,2	
Références : Bétons à base de CEM II/A-LL	Ciment 248kg/m ³ + filler calcaire 27 kg/m ³ , granulats absorption <1,4% (absorption moyenne granulats : 1,1%)	45	2,81	Moyenne : 49,0 Corrigée : 52,8	XC1 et XC2
	Ciment 270 kg/m ³ , granulats absorption 1,4 à 2,9% (absorption moyenne granulats : 1,6%)	50	(essais en cours)	Moyenne : 53,9 Corrigée : 57,7	XC1 et XC2

Note sur le calcul de la grandeur de durabilité dite « corrigée » : l'indicateur $P_{eau, 90j}/fV_p$ est calculé en affectant une marge de sécurité sur la mesure de la porosité accessible à l'eau, comme le précise le fascicule FD P 18-480 pour béton d'étude : Porosité + 1.5 * écart-type prévisionnel. L'écart-type prévisionnel pour la mesure de la porosité est annoncé à 0.75. Le coefficient de variation correspondant (CV = écart-type / valeur moyenne mesurée) pour les différentes séries de béton est déclaré $\geq 4\%$ et répond donc au critère du tableau 13 du FD P 18-480 (CV supérieur à 3% pour la porosité accessible à l'eau).

Le tableau de synthèse suivant indique les classes d'exposition pouvant être validées pour les différentes formulations de bétons à base de liant CARAT_V-BVN 0133.

Tableau 5 : Compositions minimales justifiant les classes d'exposition XC

		DUP 50 ans			
		XC1	XC2	XC3	XC4
Granulats avec une absorption < 1,4 %	Dosage mini en liant (en kg/m ³)	300	300	Non évaluée	Non évaluée
	E_{eff}/C maxi	0,5	0,5		
Granulats avec une absorption entre 1,4 et < 2.9 %	Dosage mini en liant (en kg/m ³)	en attente confirmation (essais en cours)		Non évaluée	Non évaluée
	E_{eff}/C maxi				

Des adaptations mineures sont autorisées pour chaque formule avec les critères suivants :

- La quantité de ciment de la variante est supérieure ou égale à la teneur en ciment de la formule initiale,
- Le rapport Eau efficace / Ciment est inférieur ou égal à celui de la formule initiale,
- La fraction volumique de pâte est égale à celle de la formule initiale à $\pm 10\%$.
- Une modification du rapport entre le poids de sable et le poids total des granulats (s/s+g), respectivement de plus et de moins 10 % au maximum.

Réaction au feu

Le béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H a fait l'objet d'essais de réaction au feu selon la norme NF EN 13823 : 2020, réalisés par le laboratoire EFECTIS. Le béton testé était formulé avec un dosage en liant CARAT_V-BCN 0133H de 350 kg/m³ et un rapport E_{eff}/C de 0,52.

Il bénéficie d'un classement de réaction au feu A2-s1, d0 conformément au rapport de classement EFR-22-001224A-Révision2.

Sécurité d'utilisation

De la même façon qu'un ciment Portland, il est nécessaire lorsque l'on manipule le liant CARAT_V-BCN 0133H ou mortiers/bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H de porter les EPI adéquates :

- Protection des mains avec des gants imperméables résistant à l'abrasion et aux produits alcalins ;
- Protection de la peau avec le port de vêtements à manches longues, port de chaussures de sécurité et d'un pantalon éventuellement imperméable notamment dans le cas de bétonnage au sol ;
- Protection des yeux avec le port de lunettes de sécurité homologuées afin d'éviter tout contact avec les yeux
- Protection des voies respiratoires avec le port d'un masque anti-poussières FFP2

Le fabricant Vicat fournira les fiches de préconisations d'utilisation aux entreprises.

Environnement

Le liant CARAT_V-BCN 0133H fait l'objet d'un inventaire de cycle de vie (ICV) disponible sur la base INIES.

Le configurateur VICAT enregistré et vérifié par tierce partie indépendante, conformément au programme INIES, permet d'éditer des FDES pour les bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H en accord avec à la norme NF EN 15804.

CONDITIONNEMENT DU LIANT

Le liant CARAT_V-BCN 0133H est disponible uniquement en vrac.

CONTROLES

La fabrication du liant CARAT_V-BCN 0133H fait l'objet d'un contrôle portant sur la régularité de la fabrication. Ces contrôles portent :

- Sur les matières premières, à savoir le Biochar et le ciment Portland de type CEM I 52,5 (conforme NF EN 197-1)
- Sur le produit fini.

Les fiches techniques des deux constituants utilisés ainsi que le plan de contrôle du liant CARAT_V-BCN 0133H ont été déposées au CSTB [2].

Les contrôles effectués sont détaillés dans le Dossier technique établi par le demandeur, au paragraphe B.c.

CONCLUSIONS

Appréciation globale

L'évaluation du liant CARAT_V-BCN 0133H met en évidence les points suivants :

- Par analogie avec un ciment Portland composé, de type CEM II et de classe de résistance 42,5 R couvert par les normes NF EN 197-1 ou NF EN 197-5, il a été fixé pour le liant CARAT_V-BCN 0133H à minima les mêmes exigences mécaniques, physiques et chimiques, hormis l'exigence de résistance courante minimale à la compression qui est revendiquée plus faible.
- Vis-à-vis du maintien de rhéologie : Le béton, formulé avec le liant CARAT_V-BCN 0133H à 300 kg/m³ avec un rapport E/C de 0,5, présente une rhéologie maintenue dans le temps avec un affaissement à 90 min de 190 mm pour une consistance visée S4.
- Vis-à-vis des propriétés mécaniques : Avec un rapport E_{eff}/C de 0,5 et un dosage de 300 kg/m³, le béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H répond aux exigences des caractéristiques de résistance d'un béton de classe C25/30 au sens de l'Eurocode 2 (cf. tableau 3.1 de NF EN 1992-1-1).
- Vis-à-vis du retrait : Avec un rapport E_{eff}/C de 0,5 et un dosage de 300 kg/m³, le retrait du béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H est du même ordre que celui du béton de référence à base de CEM II/A-LL 42,5 R. Sur la période initiale (les 28 premiers jours), le retrait total d'un béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H est de l'ordre de 300 µm/m, contre 256 µm/m pour un béton à base de ciment de type CEM II/A-LL 42,5R, soit un retrait total légèrement supérieur d'environ 16%.
Sur une période totale de 300 jours, le constat reste similaire avec un retrait total cumulé (la somme des retraits mesurés sur les deux campagnes de mesure entre 1 j et 28 j et entre 28 j à 300 j) d'un béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H est 775 µm/m, contre 673 µm/m pour un béton à base de ciment de type CEM II/A-LL 42,5R, soit un retrait total légèrement supérieur d'environ 15% (Note : la comparaison n'est pas établie sur des bétons de formulation similaire).
- Vis-à-vis du fluage : Avec un rapport E_{eff}/C de 0,5 et un dosage de 300 kg/m³, le coefficient de fluage (sur une durée de 300 jours) du béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H est inférieur à celui du béton de référence à base de CEM II/A-LL 42,5 R.
- Vis-à-vis de l'adhérence acier/béton : des essais comparatifs d'adhérence des aciers dans le béton montrent que les ratios « contrainte d'adhérence / résistance du béton » sont comparables entre un béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H et un béton à base de ciment Portland type CEM II/A-LL 42,5.
- Vis-à-vis du comportement contrainte-déformation : La relation entre σ_c et ε_c pour le chargement uni-axial de courte durée peut s'appliquer aux bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H. Cette relation est vérifiée pour toute valeur de $|\varepsilon_c|$ dans l'intervalle $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$, où ε_{cu1} est la valeur nominale de la déformation ultime. Le béton à base de liant CARAT_V-BCN 0133H semble néanmoins moins ductile qu'un béton à base de CEM II/A, mais dispose d'une capacité à se déformer après atteinte de la contrainte maximale avant de se rompre. Le comportement contrainte-déformation pour le chargement uni-axial instantané peut s'appliquer aux bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H.

- Vis-à-vis du risque de corrosion des aciers induites par carbonatation (classes d'exposition XC) :
L'évaluation a été effectuée par une double approche : approche absolue (résistivité et porosité à l'eau) et approche comparative.
Les classes d'exposition XC justifiées sont données dans le **Tableau 4**.
Enfin, la satisfaction aux classes d'exposition XC n'est valable qu'aux formulations ayant fait l'objet de cette démarche d'évaluation ou à des formulations équivalentes au sens du fascicule FD P18-480, comme le précise le **Tableau 5**.

Les risques de dégradation suivants n'ont pas été étudiés dans la présente évaluation :

- L'alcali-réaction : aucune justification n'ayant été apportée sur les phénomènes d'alcali-réaction, il convient d'utiliser des granulats non alcali-réactif en combinaison avec le liant CARAT_V-BCN 0133H ou de justifier son utilisation par un essai de performance.
- Les risques de corrosion des aciers induites par les ions chlorures de l'eau de mer des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H (classes d'exposition XS)
- Les risques de corrosion des aciers induites par les ions chlorures autres que ceux de l'eau de mer des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H (classes d'environnement XD)
- Les risques de dégradation par le gel interne et par l'écaillage des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H soumis au gel en présence des sels de déverglaçage (classes d'environnement XF)
- Les risques liés à la résistance aux attaques chimiques des bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H (classe d'environnement XA)

Validité : 5 ans

Validité jusqu'au : 4 avril 2029

Direction Sécurité, Structures et Feu
La Directrice

Valérie GOURVES

DOSSIER TECHNIQUE ETABLI PAR LE DEMANDEUR

A. INTRODUCTION

Le liant CARAT_V-BCN 0133H est un liant très bas carbone qui intègre un constituant biosourcé dans sa composition tout en conservant les propriétés et les usages d'un ciment traditionnel avec un taux de clinker proche de celui d'un CEM II / A.

Son utilisation permet la formulation de bétons ultra bas carbone affichant une empreinte carbone considérablement réduite par rapport à des bétons standards de performances équivalentes à base de CEM II/A.

Ce liant se présente sous la forme d'une poudre, similaire à celle d'un ciment standard, dont l'aspect se distingue par une couleur gris foncé à noire.

B. FABRICATION DU CIMENT

a. Matières premières

Les matières premières constituant le liant CARAT_V-BCN 0133H sont les suivantes :

- Le biochar, issu de la pyrolyse de résidus forestiers et de chutes de scieries (entre 10 et 25 %).
- Un Ciment Portland de type CEM I 52,5 R CE CP2 NF ou CEM I 52,5 N CE PM-CP2 NF (entre 75 et 90%).

b. Fabrication

Le liant CARAT_V-BCN 0133H est produit sur la cimenterie Vicat de Montalieu-Vercieu (38) à partir d'un CEM I 52,5 référencé dans le paragraphe 2.1, fabriqué par cette même usine.

Il est obtenu par mélange des matières premières indiquées au paragraphe a.

c. Contrôles

Les contrôles portent sur :

- Les matières premières selon leur nature :
 - Biochar :
 - Teneur en carbone
 - Ciment Portland de type CEM I 52,5 conforme NF EN 197-1
 - Perte au feu
 - Teneur en sulfates
 - Résidu insoluble
 - Teneur en chlorures
 - Temps de prise
 - Expansion
 - Résistances mécaniques à 2 jour et 28 jours
- Le produit fini, CARAT_V-BCN 0133H V-BCN 0133 H selon les modes d'essai référencé dans la norme NF EN 197-1 :
 - Perte au feu
 - Teneur en sulfates
 - Teneur en chlorures
 - Temps de prise
 - Expansion
 - Résistances mécaniques à 2 jour et 28 jours

d. Conditionnement et livraison

Le liant est disponible uniquement en vrac.

C. FABRICATION DU BETON

a. Centres de fabrication du béton associé

Introduction

Le liant CARAT_V-BCN 0133H est utilisé comme un ciment dans la composition de bétons fabriqués à partir de centrale à béton dans des unités de :

- Bétons préfabriqués en réseaux ou forains ;
- Bétons prêts à l'emploi en réseaux ou mobiles.

Descriptif de la Centrale

La Centrale à béton est équipée :

- D'un silo dédié au stockage du liant CARAT_V-BCN 0133H ;
- De case à granulats ;
- De pompe à adjuvants ;
- D'un malaxeur.

Et éventuellement d'autres équipements.

Equipements nécessaires

La centrale à béton est équipée d'un automate pour gérer les ordres d'introduction des constituants, leurs pesées et le temps de malaxage.

Et éventuellement d'autres équipements.

b. Compositions

Les bétons à base de liant CARAT_V-BCN 0133H sont préparés par mélange des constituants suivants :

- Liant CARAT_V-BCN 0133H (VICAT) ;
- Granulats
- Eau
- Eventuellement adjuvants couramment utilisés dans les formulations de béton traditionnel

Le dosage en liant peut varier en fonction des caractéristiques mécaniques et de durabilité recherchées, entre 300 et 400 kg/m³.

D. APPLICATIONS ENVISAGEES

Les applications envisagées des bétons à base de Liant CARAT_V-BCN 0133H peuvent être les suivantes :

- Superstructure :
 - Ouvrages coulés en place de type :
 - Voiles, Poteaux, Poutres, Planchers en dalle pleine,
 - Table de compression de planchers mixtes bois-béton,
 - Table de compression de planchers à bac acier collaborant
 - Table de compression des planchers préfabriqués (prédalle / dalle alvéolaires / etc.)
 - Eléments en béton préfabriqués :
 - Prédalles / Prémurs / Poutres et poteaux / Escaliers / Etc....

Pour information : l'ETPM porte uniquement sur les caractéristiques intrinsèques du produit et ne préjuge pas de l'aptitude à l'emploi du produit dans l'ouvrage. Les applications précisées ci-avant sont donc données à titre indicatif.

E. RESULTATS EXPERIMENTAUX

SIGMA BETON, Rapport essais sur échantillon E2203200739, Suivi rhéologique (masse volumique béton frais) sur béton avec liant CARAT, octobre 2023

SIGMA BETON, Rapport essais sur échantillon E2103200548, Suivi rhéologique (température, étalement) sur béton avec liant CARAT, octobre 2023

SIGMA BETON, Rapport essais sur échantillon E2203200841, Résistance à la compression NF EN 12390-3 sur béton avec liant CARAT, février 2024

SIGMA BETON, Rapport essais sur échantillon E2203200744, Résistance à la traction par fendage NF EN 12390-6 sur béton avec liant CARAT, octobre 2023

CERIB, Rapport provisoire d'essais n°DT-DMEC-2023-271, Mesures des déformations différées (retrait et fluage) de deux formulations de béton, octobre 2023

CERIB, Rapport d'essais n°039015-B, Essais comparatifs d'adhérence par traction (pull-out test) sur des armatures HA8, HA12, HA14 et HA20 noyées dans du béton à base de liant V-BCN-0133H et du béton normal de même résistance, novembre 2022

LMC², Rapport d'essais sur éprouvettes béton : Détermination des caractéristiques mécaniques en compression de 2 bétons, Phase 1 : Essais statiques, octobre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200015, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton de référence (échéance 90 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200025, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (échéance 90 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200010, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dérivée : dosage +10 l) (échéance 90 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200014, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton avec béton de référence (échéance 28 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200013, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (échéance 28 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200017, Masse volumique et porosité accessible à l'eau sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dérivée : dosage +10 l) (échéance 28 j), décembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200299, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton de référence (dosage 248 kg/m³), juillet 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200433, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300 kg/m³), octobre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200467, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300 kg/m³ dérivée : dosage eau +10 l), octobre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200562, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton de référence (dosage 270 kg/m³), novembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200563, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 310 kg/m³), novembre 2023

SIGMA BETON, Rapport R231203200582, Mesure de résistivité électrique XP P18-481 sur béton avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 310 kg/m³, dérivée : dosage eau +10 l), novembre 2023

EFFECTIS, Procès-verbal de classement n°EFR-22-001224A-révision2, Classement de réaction au feu d'un matériau, octobre 2022

CERIB, rapport (E2203200825) Essais de retrait sur béton à base de liant V-BCN-0133H, Février 2024 (projet)

CERIB, rapport (E2203200822) Essais de retrait sur béton CEM II/A 42,5, Février 2024 (projet)

SIGMA BETON, Rapport E2303200434, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300kg/m³, granulats absorption <1,4%), 17/01/2024

SIGMA BETON, Rapport E2303200471, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300kg/m³, dérivée Eau + 10l, granulats absorption <1,4%), 16/01/2024

SIGMA BETON, Rapport E2303200353, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CEM II (dosage 248kg/m³, granulats absorption <1,4%), 07/11/2023

SIGMA BETON, Rapport E2303200566, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300kg/m³, granulats absorption 1,4% à 2,9%), 17/01/2024 (provisoire, essais à 28j)

SIGMA BETON, Rapport E2303200590, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CARAT_V-BCN 0133H (dosage 300kg/m³, dérivée Eau + 10l, granulats absorption 1,4% à 2,9%), 17/01/2024 (provisoire, essais à 28j)

SIGMA BETON, Rapport E2303200565, Mesure de la vitesse de carbonatation NF P18-459 sur bétons avec liant CEM II (dosage 270kg/m³, granulats absorption 1,4% à 2,9%), 17/01/2024 (provisoire, essais à 28j)

F. REFERENCES DOCUMENTAIRES

- [1] RT_ETPM-23/0085-V1 – Rapport technique de l'Evaluation Technique de Produits et Matériaux N° ETPM-23/0085-V1 du 4 avril 2024 concernant le produit de « liant CARAT®_V-BCN 0133H»
- [2] VICAT, Document confidentiel relatif au liant CARAT_V-BCN 0133H, Composition du liant, liste des auto-contrôles réalisés sur le liant, décembre 2023

G. CHANTIERS DE REFERENCE

Les chantiers de référence sont résumés ci-dessous :

Type d'ouvrage	Lieux	Période	Liant utilisé	Volume	Avis (interne / BC)
Voile + poteaux	Ambérieu en Bugey (01)	2022	CARAT_V-BCN 0133H	20 m ³	Chantier expérimental
Voile + dalle	Bron (69)	2022/2023	CARAT_V-BCN 0133H	850 m ³	Avis bureau de contrôle
Dalle	Bourgoin-Jallieu (38)	2022	CARAT_V-BCN 0133H	5,5 m ³	Chantier expérimental
Radier	Bourgoin-Jallieu (38)	2022	CARAT_V-BCN 0133H	6 m ³	Chantier expérimental
Voile	Saint Denis (92)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	45 m ³	Avis bureau de contrôle
Dallage	Crechy (63)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	95 m ³	Chantier expérimental
Voile	Lyon 8 (69)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	7 m ³	Chantier expérimental
Voile	Bobigny (93)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	6 m ³	Chantier expérimental
Voile	Saint-Etienne (42)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	10 m ³	Chantier expérimental
Voile	Chilly-Mazarin (91)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	5 m ³	Chantier expérimental
Voile	Puteaux (92)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	5 m ³	Chantier expérimental
Voile	Villeurbanne (69)	2023	CARAT_V-BCN 0133H	7 m ³	Chantier expérimental

* Liste non exhaustive