

## EVALUATION TECHNIQUE DE PRODUITS ET MATERIAUX N° ETPM-18/0056-V6

concernant le produit de « ciment pour béton **H-UKR** »



Sixième édition : ETPM-18/0056-V6 du 4 novembre 2024

**Titulaire :** HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES  
6 rue de la Bretaudière  
85310 CHAILLE SOUS LES ORMEAUX

**Usine :** HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES  
57 rue Archereau  
85480 BOURNEZEAU

Cette Evaluation Technique comporte 20 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

### Ciment pour béton : H-UKR

#### DEFINITION SUCCINCTE

Le ciment H-UKR est un ciment à faible empreinte carbone à base de laitier suractivé. Le ciment H-UKR est destiné à la réalisation de bétons structuraux et non structuraux à partir de sites de production type usine de préfabrication, centrale à béton BPE, centrale à béton foraine sur chantier.

Le ciment H-UKR est un premix obtenu par mélange, dont les constituants principaux sont les laitiers et des activateurs carbo-silicates.

Le ciment H-UKR est un ciment réactif (alcali-activation), qui se distingue des ciments traditionnels par sa composition, présentée dans le **Tableau 1** ci-dessous :

**Tableau 1 : Composition des ciments H-UKR**

<i>Les % indiqués sont des pourcentages massiques</i>		Ciment H-UKR N	Ciment H-UKR R	Ciment conforme NF EN 197-1 et NF EN 197-5	Ciment conforme NF EN 15743
Constituants	Précurseur laitier de haut fourneau	S = 79 à 85%	S = 79 à 85%	36 ≤ S ≤ 95% pour les CEM III	S ≥ 75%
	Activateur carbo-silicate	Silicate de sodium et carbonate de sodium 10 à 18%	Silicate de sodium et carbonate de sodium 10 à 18%	Non couvert	Non couvert L'activateur utilisé est un sulfate de calcium : 5 ≤ Cs ≤ 20%
Autres constituants	Clinker	K = 0%	K = 0%	K ≥ 5% minimum	0 < K ≤ 5%
	Constituants secondaires	A = 3 à 5% Matériaux minéraux naturels spécialement sélectionnés répondant à la norme NF EN 12620 et/ou matériaux minéraux dérivés du procédé de production de la chaux aérienne ou de la chaux hydraulique naturelle conforme à l'EN 459-1	A = 3 à 5% Matériaux minéraux naturels spécialement sélectionnée répondant à la norme NF EN 12620 et/ou matériaux minéraux dérivés du procédé de production de la chaux aérienne ou de la chaux hydraulique naturelle conforme à l'EN 459-1	A = 0 à 5%	A = 0 à 5%

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 15743+A1 (Juin 2015) : Ciment sursulfaté - Composition, spécifications et critères de conformité.

La présente ETPM porte sur :

- Les ciments H-UKR N et H-UKR R (dénominations associées à une seule recette dont la formulation unique a été communiquée au CSTB)
- Plusieurs formulations de béton fabriqués avec le ciment H-UKR, notamment les formulations de béton utilisées pour la caractérisation du comportement au fluage, la caractérisation de l'adhérence acier / béton ainsi que pour les essais de durabilité.

La gamme H-UKR se décline en deux ciments destinés à réaliser des bétons structuraux et non structuraux sans clinker :

- H-UKR N, à prise normale, utilisable en conditions de température comprise entre +5°C et +30°C et particulièrement adapté pour des températures comprises entre **+12°C et +30°C**
- H-UKR R, à prise rapide, *spécialement adapté aux conditions hivernales pour maintenir les cycles de décoffrages sur chantier par temps froid*, particulièrement adapté pour des températures comprises entre **+5°C et +18°C**

Après coulage, ces bétons peuvent subir un traitement thermique ou être conservés en condition ambiante. Le comportement des bétons à base de ciment H-UKR, vis-à-vis de l'étuvage, est similaire à celui d'un ciment CEM III. Le ciment H-UKR est jugé compatible avec l'étuvage jusqu'à 60°C.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R se distinguent uniquement par leur système d'activation. Les activateurs sont de la même famille mais le système d'activation du ciment H-UKR R entraîne une élévation de température de + 5°C par rapport au ciment H-UKR N. Ce phénomène permet d'améliorer la prise du ciment H-UKR R par temps froid.

L'évaluation, ainsi que les résultats d'essais analysés pour cette ETPM, portent principalement sur le ciment de dénomination commerciale H-UKR N. Des essais ont montré l'équivalence des ciments H-UKR N et H-UKR R. Les résultats sont donc valables pour les deux ciments.

Les **applications envisagées** des bétons à base de ciment H-UKR sont les mêmes que celles d'un béton traditionnel. Les principales sont 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...
- Infrastructures : fondations, semelles, massifs, longrines, radiers, murs enterrés...
- Dallage
- Gros béton, béton de propreté
- Eléments préfabriqués en béton : longrines, poteaux, poutres, escaliers, prémurs, candélabres, 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 des ciments H-UKR et des bétons fabriqués à partir des ciments H-UKR présentées ci-après résultent principalement de l'analyse des résultats d'essais réalisés présentés au paragraphe E du Dossier Technique.

L'évaluation est basée, lorsque cela a été possible, sur une approche comparative du ciment H-UKR avec un liant hydraulique de type ciment Portland CEM I 52,5 ou un ciment aux laitiers de type CEM III/B 42,5 N. Les bétons testés, à base des ciments H-UKR, n'ont pas été adjuvantés. Les granulats utilisés sont des granulats naturels (pas de granulats recyclés).

L'ensemble des essais réalisés est indiqué en partie E du Dossier Technique.

Le détail des essais réalisés et l'analyse qui en est faite est décrite dans le rapport d'évaluation associé à cet ETPM (référence RT\_ETPM-18/0056-V6 [1]). Ce rapport étant à usage confidentiel, le titulaire se réserve le droit de le communiquer.

Les performances ou exigences physico-chimique des ciments H-UKR sont données dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2 : Performances ou exigences physico-chimique des ciments**

Caractéristiques ou propriétés	Méthode de vérification	Performance Ciment H-UKR N	Performance Ciment H-UKR R
Teneur en sulfate (SO <sub>3</sub> )	NF EN 196-2	≤ 0,16 % en masse de ciment	≤ 0,16 % en masse de ciment
Teneur en chlorure	NF EN 196-2	≤ 0,11 % en masse de ciment	≤ 0,11 % en masse de ciment
Résidu insoluble	NF EN 196-2	0,26% en masse	0,37% en masse
Alcalins équivalents (Na <sub>2</sub> O + 0,658 K <sub>2</sub> O)	NF EN 196-2	5,39% en masse	5,77% en masse
Résistance à la compression	NF EN 196-1 <sup>1</sup>	≥ 35,0 MPa à 1 jour ≥ 47,5 MPa à 2 jours ≥ 62,0 MPa à 28 jours	≥ 35,5 MPa à 1 jour ≥ 50,0 MPa à 2 jours ≥ 64,0 MPa à 28 jours
Chaleur d'hydratation	NF EN 196-3	172 J/g à 41 h 188 J/g à 120 h	216 J/g à 41 h 222 J/g à 120 h
Densité apparente	NF EN 196-6	(2,65 ± 0,01) g/cm <sup>3</sup>	(2,81 ± 0,01) g/cm <sup>3</sup>
Finesse	NF EN 196-6	(5220 ± 136) cm <sup>2</sup> /g	(5560 ± 136) cm <sup>2</sup> /g
Retrait endogène (conservation 20°C)	NF P15-433 <sup>1</sup>	1 640 µm/m après 28 jours 2 040 µm/m après 90 jours	1 750 µm/m après 28 jours 2 140 µm/m après 90 jours
Retrait total (conservation 20°C et 50%HR)	NF P15-433 <sup>1</sup>	2 580 µm/m après 28 jours 3 620 µm/m après 90 jours	2 720 µm/m après 28 jours 3 780 µm/m après 90 jours

Le principe de liant équivalent est applicable aux bétons formulés à partir de ciment H-UKR substitué par une addition calcaire de type I avec la même valeur pour le coefficient « k », définie dans la NF EN 206+A2/CN, pour les bétons formulés à partir de ciment Portland, à savoir k = 0,25.

<sup>1</sup> Ciment H-UKR N : Formulation du mortier normalisé adaptée de l'EN 196-1 avec un rapport E/C ajusté à 0,45

**Evaluation vis-à-vis de la durabilité**

**Tableau 3 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XC**

		DPU 50 ans				DPU 100 ans			
		XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Critères pour le liant H-UKR N									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290	290	380	335	290	335	-	380
	$E_{eff}/C$ maxi	0,56	0,56	0,45	0,53	0,56	0,53	-	0,45
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	335	335	-	335	335	335	-	-
	$E_{eff}/C$ maxi	0,53	0,53	-	0,53	0,53	0,53	-	-
Critères pour le liant H-UKR R									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290	290	380	335	290	335	-	380
	$E_{eff}/C$ maxi	0,64	0,64	0,53	0,61	0,64	0,61	-	0,53
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	335	335	-	335	335	335	-	-
	$E_{eff}/C$ maxi	0,61	0,64	-	0,61	0,61	0,61	-	-

**Tableau 4 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XS**

		DPU 50 ans				DPU 100 ans			
		XS1	XS2	XS3e	XS3m	XS1	XS2	XS3e	XS3m
Critères pour le liant H-UKR N									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,56				0,56			
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290		335		290	335	290	335
	$E_{eff}/C$ maxi	0,56		0,53		0,56	0,53	0,56	0,53
Critères pour le liant H-UKR R									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,64				0,64			
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290		335		290	335	290	335
	$E_{eff}/C$ maxi	0,64		0,61		0,64	0,61	0,64	0,61

**Tableau 5 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XD**

		DUP 50 ans				DUP 100 ans			
		XD1	XD2	XD3f	XD3tf	XD1	XD2	XD3f	XD3tf
Critères pour le liant H-UKR N									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,56				0,56			
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,56				0,56			
Critères pour le liant H-UKR R									
Granulats avec une absorption < 1 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,64				0,64			
Granulats avec une absorption entre 1 et < 2.6 %	Dosage mini en liant $L_{eq}$ (en kg/m <sup>3</sup> )	290				290			
	$E_{eff}/C$ maxi	0,64				0,64			

**Tableau 6 : Autorisations d'utilisation du ciment H-UKR selon les milieux et classes d'exposition XA.**

Milieu	Classe	Dispositions concernant le ciment (tableau 2A de FD P18-011)
Milieu contenant des sulfates (solutions) à l'exclusion de l'eau de mer	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent. <b>De fait, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA1 est autorisée.</b>
	XA2 (600 < x < 1 500 mg/l)	Ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) Ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) <b>Par analogie, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA2 est validée</b>
	XA2 (1 500 < x < 3000 mg/l)	<b>Par analogie, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA2 est validée</b>
	XA3	<b>Vérification par essai performanciel effectuée (cf. Tableau 7). L'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA3 est validée.</b>
Milieu contenant des sulfates (sols)	XA1	Pas de recommandations particulières, les préconisations de la NF EN 206+A2/CN s'appliquent. <b>De fait, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA1 est autorisée</b>
	XA2	Ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) Ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) <b>Par analogie, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA2 est validée</b>
	XA3	<b>Vérification par essai performanciel effectuée (cf. Tableau 7). L'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA3 est validée.</b>
Milieux acides et eaux pures	XA1	Ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) Ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) <b>Par analogie, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA1 est validée</b>
	XA2	Ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES) <b>Par analogie, l'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA2 est validée</b>
	XA3	<b>Vérification par essai performanciel effectuée (cf. Tableau 9). L'utilisation du ciment H-UKR sur la classe XA3 est validée.</b>

**Tableau 7 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XA (cas spécifique des attaques sulfatiques externes)**

Formulation béton		Protocole RSE immersion séchage $\Delta L / L_s$	Classe d'exposition XA (attaques sulfatiques externes) pour une DUP de 50 ans
Bétons à base de H-UKR N	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , $E_{eff}/C = 0,53$ Granulats faible absorption <1%	Moyenne : 0,072%	XA1, XA2 et XA3
Bétons à base de H-UKR R	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , $E_{eff}/C = 0,61$ Granulats faible absorption <1%		
Bétons à base de H-UKR N	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , $E_{eff}/C = 0,63$ Granulats absorption <3,1%	Moyenne : 0,017%	XA1, XA2 et XA3
Bétons à base de H-UKR R	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , $E_{eff}/C = 0,71$ Granulats absorption <3.1%		



**Tableau 8 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XA (cas spécifique des attaques par hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S (milieu propice à la biodégradation))**

Formulation béton		Protocole PerfDub « Essai de biotérioration en présence d'hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S) »	Classe d'exposition XA (milieux propices aux biodégradations) pour une DUP de 50 ans
Bétons à base de H-UKR N	Dosage 350 kg/m <sup>3</sup> , E <sub>eff</sub> /C = 0,54 Granulats faible absorption <3,1%	I <sub>bio/tem</sub> = 0,3%	XA1 et XA2
Bétons à base de H-UKR R	Dosage 350 kg/m <sup>3</sup> , E <sub>eff</sub> /C = 0,62 Granulats faible absorption <3,1%		

**Tableau 9 : Compositions minimales justifiantes les classes d'exposition XA (cas spécifique des milieux acides et les eaux pures)**

Formulation béton		Protocole XP P 18-482 « Essai de lixiviation à pH constant » Profondeur de lixiviation I <sub>ca</sub>	Classe d'exposition XA (milieux acides et eaux pures) pour une DUP de 50 ans
Bétons à base de H-UKR N	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , E <sub>eff</sub> /C = 0,63 Granulats absorption <3,1%	I <sub>ca</sub> = 0,29 mm (inférieure à I <sub>ca</sub> du béton de référence à base de ciment CEM V/A ES)	XA1, XA2 et XA3
Bétons à base de H-UKR R	Dosage 320 kg/m <sup>3</sup> , E <sub>eff</sub> /C = 0,71 Granulats absorption <3,1%		

### Alcali-réaction

Selon les préconisations du fascicule FD P18-464, suivant la catégorie ou partie d'ouvrages (catégories I à III, définies au tableau 1 du FD P18-464 rappelés ci-dessous) et suivant la classe d'exposition vis-à-vis de l'alcali-réaction (Classe XAR1 à XAR3 définies au tableau 2 du FD P18-464 rappelés ci-dessous), il est défini un niveau de prévention.

**Tableau 1 — Exemples informatifs de catégories d'ouvrages ou de parties d'ouvrages**

<b>Catégorie I</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— La plupart des ouvrages en béton de classe C20/25 ou inférieure ;</li> <li>— blocs en béton ;</li> <li>— éléments non porteurs situés à l'intérieur de bâtiments ;</li> <li>— éléments aisément remplaçables ;</li> <li>— ouvrages provisoires ;</li> <li>— la plupart des produits préfabriqués non structurels en béton ;</li> <li>— etc.</li> </ul>
<b>Catégorie II</b>	La plupart des bâtiments et des ouvrages de Génie Civil : <ul style="list-style-type: none"> <li>— ponts courants ;</li> <li>— petits barrages ;</li> <li>— châteaux d'eau ;</li> <li>— stations d'épuration ;</li> <li>— chaussées en béton ;</li> <li>— etc.</li> </ul>
<b>Catégorie III</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Bâtiments réacteurs des centrales nucléaires et tours aéroréfrigérantes ;</li> <li>— grands barrages ;</li> <li>— tunnels ;</li> <li>— ponts ou viaducs exceptionnels ;</li> <li>— monuments ou bâtiments de prestige ;</li> <li>— etc.</li> </ul>

**Tableau 2 — Classes d'exposition vis-à-vis de l'alcali-réaction**

Désignation de la classe d'exposition	Description de l'environnement	Exemples informatifs de type d'ouvrages ou de parties d'ouvrage illustrant le choix des classes d'exposition
XAR1	Environnement sec ou peu humide (hygrométrie inférieure ou égale à 80 %) <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Intérieurs de bâtiments d'habitations ou de bureaux ;</li> <li>— ouvrages protégés contre les sources d'eau, les intempéries et les condensations ;</li> <li>— dallages sur terre-plein drainé.</li> </ul>
XAR2	Environnement avec hygrométrie supérieure à 80% sans fondants salins ou en contact avec l'eau hors environnement marin	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Parties Intérieures de bâtiments où l'humidité est élevée (laveries, réservoirs, piscines, etc.) ;</li> <li>— parties extérieures exposées aux intempéries ;</li> <li>— parties en contact avec un sol et/ou de l'eau.</li> </ul>
XAR3	Environnement avec hygrométrie supérieure à 80 % et avec fondants salins, ou en environnement marin	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Parties intérieures humides et parties extérieures, exposées aux fondants salins ;</li> <li>— éléments complètement ou partiellement immergés dans l'eau de mer ou éclaboussés par celle-ci ;</li> <li>— éléments exposés à un air chargé en sel (zone côtière).</li> </ul>

<sup>a</sup> Certaines pièces de forte épaisseur (au moins de l'ordre de 50 cm pour une pièce ayant une seule face de séchage, et de l'ordre de 1m d'épaisseur pour des pièces ayant deux faces de séchage), situées en environnement sec ou d'hygrométrie inférieure à 80 %, peuvent garder, selon les conditions d'exposition, une humidité interne qui amène à les classer en XAR2.

Pour le ciment H-UKR, le niveau de prévention a été redéfini, en s'inspirant de celui présenté au tableau 3 du FD P18-464

**Tableau 10 : Détermination du niveau de prévention pour l'emploi du ciment H-UKR**

Classe d'exposition Catégorie d'ouvrage	XAR1	XAR2	XAR3
I	A <sub>HUKR</sub>	B <sub>HUKR</sub>	B <sub>HUKR</sub>
II	A <sub>HUKR</sub>	B <sub>HUKR</sub>	B <sub>HUKR</sub>
III	Non visée	Non visée	Non visée

Pour une utilisation en ouvrage de catégorie I ou II, il sera demandé les justifications suivantes :

- Niveau de prévention A<sub>HUKR</sub> :



Les constituants, autres que le ciment H-UKR, et leur mélange sont conformes aux normes, spécifications et règles de l'art en vigueur sans prendre de précaution particulière vis-à-vis de l'alcali-réaction.

Pour ce niveau de prévention A<sub>HUKR</sub>, l'utilisation de granulats PR et PRP est autorisée.

- Niveau de prévention B<sub>HUKR</sub> :

Pour ce niveau de prévention, une formule de béton est acceptée s'il est possible de respecter l'une au moins des quatre dispositions suivantes (résumées sur la Figure 1) :

- ✓ Le béton est formulé avec des granulats classés comme non réactifs conformément au FD P18-542 et qualifiés sur la base d'un dossier carrière respectant les spécifications du FD P18-541.
- ✓ Le béton est formulé avec des granulats classés comme PRP conformément au FD P18-542 et qualifiés sur la base d'un dossier carrière, et répondant en outre aux conditions particulières du FD P18-464 §6.3.1.2
- ✓ La formule de béton satisfait aux critères du bilan des alcalins TOTAUX (voir FD P18-464 §6.3.2 avec le critère du §6.3.2.2.4.2 sur l'application de la limite aux alcalins totaux du ciment).
- ✓ La formule de béton satisfait aux critères de l'essai de performance (voir FD P18-464 §6.3.3).

### Réaction au feu

Les ciments H-UKR bénéficient d'un classement A1.

### Sécurité d'utilisation

Les ciments H-UKR N et H-UKR R ne contiennent pas de substances classées comme substances extrêmement préoccupantes par l'Agence Européenne des produits chimiques (ECHA) conformément à l'article 57 du règlement REACH.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R font l'objet d'une fiche de sécurité type FDS et bénéficient d'un classement A+ pour les émissions de polluants volatils.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R ne sont pas considérés comme « nanomatériau », sur la base de la recommandation de la CE de 2022 relative à la définition des nanomatériaux (2022/C 229/01).

De la même façon qu'un ciment Portland, il est nécessaire lorsque l'on manipule les ciments H-UKR N et H-UKR R ou mortiers/bétons à base de ciments H-UKR N et H-UKR R de porter des équipements de protection individuels lors de l'utilisation (gants, bottes, lunettes, casque).

### Environnement

Les ciments H-UKR N et H-UKR R font l'objet d'un inventaire de cycle de vie (ICV) disponible sur la base INIES.

Les bétons à base de ciment H-UKR N et H-UKR R font l'objet de fiches FDES disponibles sur la base INIES.

## CONDITIONNEMENT DU CIMENT H-UKR N et H-UKR R

Pour le conditionnement des ciments H-UKR N et H-UKR R en big-bag ou en vrac, le stockage est effectué à l'abri de l'humidité.

L'aptitude de conditionnement en sac du ciment H-UKR N et H-UKR R a été effectuée et permet de justifier le maintien des performances mécaniques sur une durée de 24 mois. Néanmoins, il convient de rappeler que cette démarche d'évaluation ne vise que l'utilisation des ciments H-UKR pour des fabrications en centrale à béton.

## CONTROLES

La fabrication doit faire l'objet d'un contrôle portant sur la régularité de la fabrication. Les contrôles à réaliser sont décrits à l'article B du Dossier Technique.

## CONCLUSIONS

### Appréciation globale

L'évaluation du ciment H-UKR (ciments H-UKR N et H-UKR R) met en évidence les points suivants :

- Une performance similaire entre les deux références H-UKR N et H-UKR R, la référence H-UKR R étant une déclinaison du H-UKR N pour une utilisation sur une plage de température de 5°C à 18°C (les 2 ciments se distinguent par leurs activateurs). Cette équivalence de performance est basée sur un comparatif des caractéristiques chimiques, physiques et microstructurales des deux ciments et mortiers à base de ces ciments.
- Vis-à-vis du temps de prise : les mesures normalisées de temps de début de prise ne sont pas adaptées au ciment H-UKR du fait de la thixotropie du matériau. Néanmoins, les mesures de temps de prise effectuées selon la norme ASTM C403 ainsi les expériences chantiers présentées montrent une durée pratique d'utilisation de 120 minutes.
- Vis-à-vis des propriétés mécaniques : le ciment H-UKR présente une résistance mécanique sur mortier normalisé (basée sur des valeurs moyennes) :  $\geq 20,0$  MPa à 2 jours et  $\geq 52,5$  MPa à 28 jours en compression. Sur béton, pour une même classe de résistance, le module d'élasticité d'un béton fabriqué avec le ciment H-UKR est comparable à celui du béton Portland CEM I.  
Le comportement contrainte-déformation pour le chargement uni-axial instantané peut s'appliquer aux bétons à base de ciment H-UKR.
- Vis-à-vis du retrait : le ciment H-UKR présente un retrait endogène et un retrait de séchage, sur mortier normalisé et sur béton, plus élevés que celui d'un ciment Portland ou d'un béton à base de ciment Portland. A résistance équivalente, il convient ainsi de prendre en compte que le retrait total d'un béton à base de ciment H-UKR est le double de celui d'un béton à base de ciment Portland type CEM I.
- Vis-à-vis du fluage : le fluage du béton à base de ciment H-UKR est plus important que celui d'un béton à base de CEM I ou à base de CEM III. Il convient de prendre en compte ce constat pour le dimensionnement des éléments de structure associés. Il convient de considérer que le coefficient de fluage d'un béton à base de ciment H-UKR est le triple de celui d'un béton à base de ciment Portland type CEM I.
- 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 ciment H-UKR et un béton à base de ciment Portland type CEM I.
- Vis-à-vis de l'effet de la température à jeune âge : A long terme, l'effet de la température (jusqu'à 60°C) sur le ciment H-UKR est comparable voire meilleur que celui mesuré sur un ciment au laitier type CEM III/B (gain de résistance de 18% à 90 jours pour une température de 60°C).  
Par rapport à un ciment Portland type CEM I, il est observé une perte de résistance de l'ordre de 4% à 90 jours pour une température de 40°C et de 13% à 90 jours pour une température de 60°C.  
Le H-UKR est jugé compatible avec l'étuvage jusqu'à 60°C.

- Vis-à-vis de la porosité accessible à l'eau : la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire d'un mortier normalisé à base de ciment H-UKR sont plus élevées que celles d'un mortier normalisé à base de ciment Portland. Ceci est imputé à un diamètre moyen de la porosité plus faible, facilitant l'absorption. Ce constat est également observé sur béton.

- 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, vitesse de carbonatation et porosité à l'eau) et approche comparative.

La vitesse de carbonatation des bétons à base de ciment H-UKR, mesurée par des essais de carbonatation accélérés, est plus élevée que celle des bétons à base de CEM I ou CEM III/B. La nature des granulats (absorption d'eau) a une incidence sur la vitesse de carbonatation et peut dégrader la classe visée, mais sur l'ensemble des formulations évaluées y compris celles de référence. Les classes d'exposition XC justifiées sont données dans le [Tableau 3](#).

Pour une durée d'utilisation de 50 ans, l'ensemble des formulations de béton H-UKR répondent aux classes XC1, XC2 et XC4. Les formulations réalisées avec des granulats faiblement absorbants répondent également à la classe d'exposition XC3. Pour celles n'y répondant pas, une majoration de l'enrobage peut éventuellement être envisagée pour satisfaire cette classe d'exposition. Pour les durées d'utilisation de 100 ans, les classes d'exposition justifiées sont, de la même façon, présentées dans le [Tableau 3](#).

De plus, en comparant les résultats d'essais effectués sur bétons à base de ciments CEM I ou CEM III/B, l'impact de la cure (sa durée ainsi que sa nature : sèche ou humide) sur la profondeur de carbonatation est moins fort sur les échantillons à base de H-UKR que ceux à base de CEM I ou CEM III/B. Une cure sèche étant plus représentative de la situation réelle des éléments d'ouvrage dans le bâtiment (hormis les fondations pouvant être en contact permanent avec un milieu humide), ce constat est rassurant et pondère le constat d'une vitesse de carbonatation plus élevée pour le H-UKR.

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.

Des dérivées en composition peuvent être considérées comme satisfaisant aux mêmes exigences, sous réserve de respecter les critères suivants :

- Granulats ayant une absorption d'eau inférieure ou égale ( $\leq$ )
- Même nature de ciment et dosage a minima équivalent ( $\geq$ )
- Rapport  $E_{\text{eff}}/C$  a minima équivalent ( $\leq$ )
- Une durée d'utilisation de projet (DUP) équivalente

Vis-à-vis du risque de corrosion des aciers induites par les ions chlorures de l'eau de mer des bétons à base de H-UKR (classes d'exposition XS) : Des valeurs de coefficient de migration des ions chlorures équivalentes entre des bétons à base de ciment H-UKR et celui du béton de référence à base de CEM III/B.

La nature des granulats (absorption d'eau) a une incidence sur le coefficient de migration des ions chlorures et peut dégrader la classe visée. Les classes d'exposition XS justifiées sont données dans le [Tableau 4](#).

Enfin, la satisfaction aux classes d'exposition XS 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. Des dérivées en composition peuvent être considérées comme satisfaisant aux mêmes exigences, sous réserve de respecter les critères suivants :

- Granulats ayant une absorption d'eau inférieure ou égale ( $\leq$ )
- Même nature de ciment et dosage a minima équivalent ( $\geq$ )
- Rapport  $E_{\text{eff}}/C$  a minima équivalent ( $\leq$ )
- Une durée d'utilisation de projet (DUP) équivalente

- Vis-à-vis du risque de corrosion des aciers induites par les ions chlorures autres que ceux de l'eau de mer des bétons à base de H-UKR (classes d'environnement XD) : Des valeurs de coefficient de migration des ions chlorures équivalentes entre des bétons à base de ciment H-UKR et celui du béton de référence à base de CEM III/B.

La nature des granulats (absorption d'eau) a une incidence sur le coefficient de migration des ions chlorures et peut dégrader la classe visée. Les classes d'exposition XD justifiées sont données dans le [Tableau 5](#).

Enfin, la satisfaction aux classes d'exposition XD 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. Des dérivées en composition peuvent être considérées comme satisfaisant aux mêmes exigences, sous réserve de respecter les critères suivants :

- Granulats ayant une absorption d'eau inférieure ou égale ( $\leq$ )
- Même nature de ciment et dosage a minima équivalent ( $\geq$ )
- Rapport  $E_{eff}/C$  a minima équivalent ( $\leq$ )
- Une durée d'utilisation de projet (DUP) équivalente

- Vis-à-vis du risque de dégradation par le gel interne et par l'écaillage des bétons soumis au gel en présence des sels de déverglaçage (classes d'environnement XF) : Afin de garantir la satisfaction aux classes d'environnement de résistance au gel, le béton à base de ciment H-UKR devra disposer d'une formulation adaptée.

En effet, en considérant l'ensemble des campagnes d'essais de comportement au gel modéré et/ou au gel sévère, il apparaît que la satisfaction à certaines classes d'environnement XF dépend principalement de la nature des granulats (leur absorption) et de la compacité de la pâte de ciment (teneur en liant, rapport  $E_{eff}/C$ ). Néanmoins, au sens du fascicule FD P18-480 §7.6, la classe d'exposition XF1 peut être validée en approche performantielle sur la base des exigences requises pour la classe XC4. De même, la classe d'exposition XF2 peut être validée en approche performantielle sur la base des exigences requises pour la classe XD3f.

- Vis-à-vis des attaques par les acides et les eaux pures (classe d'environnement XA) : Le ciment H-UKR est considéré comme disposant d'une résistance aux milieux acides et eaux pures avec les restrictions mentionnées [Tableau 6](#) et [Tableau 9](#).

- Aptitude aux travaux à la mer et aux travaux en eaux à haute teneur en sulfate (classe d'environnement XA) : Le ciment H-UKR est considéré comme disposant d'une aptitude aux travaux à la mer et aux travaux en eaux à haute teneur en sulfate avec les restrictions mentionnées [Tableau 6](#).

- Vis-à-vis de la résistance aux attaques sulfatiques externes (classe d'environnement XA) : L'évaluation a été effectuée par une double approche : une approche comparative sur mortier et une approche absolue (essais protocole RSE par immersion séchage sur une formulation de béton à base de ciment H-UKR).

Les essais comparatifs montrent un comportement comparable du mortier à base de ciment H-UKR par rapport à un ciment CEM III/B, et plus durable par rapport à un ciment CEM I PM-ES.

L'approche absolue a permis de justifier la formulation testée pour une classe XA3 (milieux contenant des sulfates). La satisfaction aux classes d'exposition XA n'est valable que pour la formulation ayant fait l'objet de cette démarche d'évaluation (tel que défini dans le [Tableau 7](#)) ou des formulations équivalentes au sens du fascicule FD P18-480. Des dérivées en composition peuvent être considérées comme satisfaisant aux mêmes exigences, sous réserve de respecter les critères suivants :

- Granulats ayant une absorption d'eau inférieure ou égale ( $\leq$ )
  - Même nature de ciment et dosage a minima équivalent ( $\geq$ )
  - Rapport  $E_{\text{eff}}/C$  a minima équivalent ( $\leq$ )
  - Une durée d'utilisation de projet (DUP) équivalente
- Vis-à-vis de la résistance aux milieux propices à la biodétérioration (classe d'environnement XA) :  
L'évaluation a été effectuée par approche comparative par un essai selon le protocole PerfDub d'essai accéléré de biodétérioration en présence d'hydrogène sulfuré ( $H_2S$ ) sur des formulations de béton à base de ciment H-UKR.  
L'approche comparative a permis de justifier les formulations testées pour une classe XA2 (milieux propices à la biodétérioration). La satisfaction aux classes d'exposition XA n'est valable que pour les formulations ayant fait l'objet de cette démarche d'évaluation (tel que défini dans le **Tableau 8**) ou des formulations équivalentes au sens du fascicule FD P18-480. Des dérivées en composition peuvent être considérées comme satisfaisant aux mêmes exigences, sous réserve de respecter les critères suivants :
- Granulats ayant une absorption d'eau inférieure ou égale ( $\leq$ )
  - Même nature de ciment et dosage a minima équivalent ( $\geq$ )
  - Rapport  $E_{\text{eff}}/C$  a minima équivalent ( $\leq$ )
  - Une durée d'utilisation de projet (DUP) équivalente
- Vis-à-vis des risques liés à l'alcali-réaction : en référence au fascicule FD P18-464, seules les catégories d'ouvrage I et II sont visées. Par analogie au tableau 3 du FD P18-464, les niveaux de prévention et les dispositions à prendre pour l'emploi de formule de béton à base de ciment H-UKR ont été redéfinis. L'acceptation d'une formule de béton pour un niveau de prévention  $B_{HUKR}$  (tel que défini dans le **Tableau 10**) se fera uniquement par un essai de performance. L'utilisation de granulats PRP devra être justifiée par une démarche comparative, afin de valider leur possibilité d'emploi au même titre que pour un ciment Portland selon les critères du FD P18-464.

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

- L'impact à long terme de l'exposition à des températures importantes sur les propriétés mécaniques du matériau (par exemple, façades exposées au sud en été).

**Validité : 5 ans**

**Validité jusqu'au : 4 novembre 2029**

Direction Sécurité, Structures et Feu  
La Directrice



Valérie GOURVES

## DOSSIER TECHNIQUE ETABLI PAR LE DEMANDEUR

### A. INTRODUCTION

La société Hoffmann Green Cement Technologies est spécialisée dans la fabrication de ciments à base de co-produits et donc à très faibles émissions de CO<sub>2</sub>.

La technologie H-UKR se distingue des ciments Portland par sa composition à base de laitier de hauts fourneaux suractivé. Ces ciments sont des prémix obtenus par mélange à froid (sans aucune cuisson dans le process) dans les usines de Bournezeau situées en Vendée. Les ciments H-UKR sont ensuite utilisés comme un ciment traditionnel dans la composition de bétons fabriqués en centrale à béton dans des unités de :

- Béton Préfabriqué de réseaux ou forains
- Béton prêt à l'emploi de réseaux ou mobiles

La technologie H-UKR se décline en deux ciments destinés à réaliser des bétons structuraux et non structuraux sans clinker :

- H-UKR N, à prise normale, utilisable en conditions de température comprise entre +5°C et +30°C et particulièrement adapté pour des températures comprises entre **+12°C et +30°C**
- H-UKR R, à prise rapide, spécialement adapté aux conditions hivernales pour maintenir les cycles de décoffrages sur chantier par temps froid, particulièrement adapté aux températures comprises entre **+5°C et +18°C**

Les ciments H-UKR sont donc des matériaux qui se substituent au ciment Portland pour la fabrication de béton. Les ciments H-UKR se présentent sous la forme d'une poudre pouvant être conditionnée en sacs, en big-bag ou dans des silos.

La présente Evaluation Technique porte sur les ciments H-UKR N et H-UKR R et plusieurs bétons formulés à partir de ces ciments. Après coulage, ces bétons peuvent subir un traitement thermique ou être conservés en condition ambiante.

### B. FABRICATION DU CIMENT

#### a. Matières premières

Les matières premières constituant les ciments H-UKR N et H-UKR R sont les suivantes :

- Laitier granulé de haut fourneau broyé (GGBS)  
Poudre fine obtenue par broyage de laitier granulé de haut fourneau.  
Le GGBS est conforme à la norme EN 15167-1 pour les performances suivantes :
  - Constituants (§ 4 de l'EN 15167-1)
  - Exigences chimiques (§ 5.2 de l'EN 15167-1)
  - Durabilité (§ 5.4.1 de l'EN 15167-1)
  - Émission de substances dangereuses (§ 5.4.2 de l'EN 15167-1)et, en outre, répondre à des exigences spécifiques en ce qui concerne :
  - La surface spécifique déterminée conformément à la méthode de perméabilité à l'air (Blaine) spécifiée dans la norme EN 196-6, ne doit pas être inférieure à 400 m<sup>2</sup>/kg.Des exigences supplémentaires peuvent être incluses dans les spécifications et le plan de contrôle du fabricant
- Activateur alcalin  
L'activateur alcalin déclenche la réaction chimique qui conduit au durcissement du béton.  
Les activateurs alcalins peuvent provenir de la famille des produits chimiques alcalins, principalement l'hydroxyde, le silicate ou le carbonate.

Différents activateurs alcalins peuvent être utilisés en combinaison dans un même liant.

- **Addition minérale**  
Constituant inorganique finement divisé utilisé dans le béton pour améliorer certaines propriétés ou pour obtenir des propriétés spéciales, conformément à la norme EN 206, comme suit :  
Addition de type I : granulats d'apport conformes à la norme EN 12620 ou EN 13055,
- **Composants additionnels mineurs**  
Matière inorganique spécialement sélectionnée, utilisée dans une proportion n'excédant pas un total de 5 % en masse par rapport à la somme de tous les constituants additionnels principaux et mineurs.  
Le ciment Portland et/ou le clinker Portland broyé ne peut pas faire partie des constituants mineurs additionnels.
- **Additifs**  
Les additifs sont des constituants non énumérés dans les paragraphes précédents qui sont ajoutés pour améliorer la production ou les propriétés du liant.

Le dosage des constituants des ciments H-UKR N et H-UKR R est unique et a été communiqué au CSTB.

Ces deux ciments se présentent sous la forme d'une poudre de couleur blanche.

## b. Fabrication

Les ciments H-UKR N et H-UKR R sont fabriqués par mélange de plusieurs poudres constitutives dans un mélangeur d'une capacité allant de 700 kg à 4,8T selon l'usine. Les tolérances des proportions sont indiquées dans le plan contrôle qualité sur chaque constituant [5].

## c. Contrôles

Les contrôles sont réalisés sur les matières premières et les produits finis selon les protocoles et les fréquences décrites dans le système qualité H-UKR [5]. Ces contrôles sont résumés dans le tableau ci-dessous :

No	Contrôle	Critère	Nombre minimum d'éprouvettes	Fréquence minimale de contrôle
1	Résistance à jeune âge (à 7 jours)	Selon le plan de contrôle	1	2/semaine
2	Résistance standard (à 28d)	Selon le plan de contrôle	1	2/ semaine
3	Chaleur d'hydratation	Selon le plan de contrôle	1	1/mois
4	Teneur en sulfates	Selon le plan de contrôle	1	2/ semaine
5	Teneur en chlorures	Selon le plan de contrôle	1	2/ mois
6	Composition du ciment	Selon le plan de contrôle	1	1/ mois

Les spécifications des contrôles sont données dans le système qualité H-UKR [5].

Une des usines produisant la technologie H-UKR, produit par ailleurs, un ciment normalisé EN 15743 sous marquage CE (système EVCP : 1+).



#### **d. Conditionnement et livraison**

Le conditionnement des ciments H-UKR N et H-UKR R peut être en sac, en big-bag ou en vrac. Dans le cas de conditionnement en sac, ces derniers sont disposés sur une palette qui est houssée et stockée dans une zone couverte à l'abri de l'humidité.

Les sacs et big-bags sont transportés par camion-plateau.

Le ciment vrac est transporté par camion-citerne.

### **C. FABRICATION DU BETON**

#### **a. Centres de fabrication**

##### **Introduction**

Les ciments de la gamme H-UKR sont utilisés comme 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 sera équipée

- De silos de stockage pour le ciment ;
- De cases à granulats ;
- De pompes à adjuvants ;
- D'un malaxeur.

##### **Equipements nécessaires**

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

#### **b. Compositions**

Les bétons H-UKR sont préparés par mélange des constituants suivants :

- Ciment H-UKR N ou H-UKR R ;
- Additions ;
- Granulats ;
- Eau ;
- Adjuvants.

La liste des adjuvants autorisés pour formuler un béton à base de ciment H-UKR N ou H-UKR R est disponible auprès de la société Hoffmann Green Cement Technologies.

Les dosages en ciment H-UKR N ou H-UKR R pour la fabrication de béton peuvent varier selon les performances mécaniques recherchées et la consistance béton recherchée entre 150 kg/m<sup>3</sup> et 450 kg/m<sup>3</sup>.

La société Hoffmann Green Cement Technologies s'engage à mettre à disposition de ses clients son service Assistance Technique et Innovation ainsi que son Laboratoire de Recherche pour accompagner ces derniers dans la mise au point de leur formulation béton.

Les formulations sont réalisées par le laboratoire de Hoffmann Green Cement Technologies.

La centrale BPE peut ajuster la valeur d'eau d'ajout pour prendre en compte l'eau contenue dans les granulats et les adjuvants de la même manière qu'elle peut le faire pour un béton à base de ciment Portland. Toute autre modification de la formule est interdite sauf accord du laboratoire de Hoffmann Green Cement Technologies.

## D. APPLICATIONS ENVISAGEES

Les applications envisagées des bétons à base de ciment H-UKR N et H-UKR R sont les mêmes que celles d'un béton traditionnel.

Les principales sont 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...
- Infrastructures : fondations, semelles, massifs, longrines, radiers, murs enterrés...
- Dallage
- Gros béton, béton de propreté
- Éléments préfabriqués en béton: longrines, poteaux, poutres, escaliers, prémurs, candélabres, etc....

Quel que soit le mode de mise en œuvre du béton à base de ciment H-UKR N ou H-UKR R, une coloration vert-bleu temporaire est observée. Cette coloration se retrouve dans tous les matériaux contenant du laitier (béton, mortier, ciment, laitier seul).

La couleur ne s'exprime qu'en l'absence d'oxygène (condition dite anoxique). C'est le cas, par exemple, avec un coffrage [4].

## E. RESULTATS EXPERIMENTAUX

LERM SETEC, Bulletin d'analyse sur liant H-UKR E n°45357.16.001 du 05/03/2021

LERM SETEC, Comparaison des caractéristiques microstructurales et physiques obtenues sur pâtes et mortiers de liants H-UKR N et H-UKR R n°45357.050.01.A

Chapitre « Absorption capillaire » du Rapport d'essais « Durabilité de matériaux alcali activés », Laboratoire GCGM, IUT Rennes, Département Génie Civil (15 octobre 2019)

Chapitre « Propriétés mécaniques » du Rapport d'essais « Durabilité de matériaux alcali activés », Laboratoire GCGM, IUT Rennes, Département Génie Civil (15 octobre 2019)

Suivi des performances long terme sur mortiers de type H-UKR, HOFFMANN, janvier 2020

Etude statistique sur les performances du liant H-UKR E (production septembre 2020 à septembre 2021), HOFFMANN, Rapport n°1 (version 1.0)

CSTB et Cebtp, Rapport concernant les essais de retrait et de fluage en compression sur béton (formule 1) n°EEM 20 26085654-A-1, septembre 2021

CSTB et Cebtp, Rapport concernant les essais de retrait et de fluage en compression sur béton (formule 3) n°EEM 20 26085654-C, septembre 2021

CSTB et Cebtp, Rapport concernant les essais de retrait et de fluage en compression sur béton (formule 8) n°EEM 20 26085654-G, mars 2022

Rapport d'essais n°46390 « essais de compression et essais de module sur béton C25 Portland », GEOS, Aout 2021

Rapport d'essais n°46748 « essais de compression, essais de fendage et essais de module sur béton C25 C30 et C35 H-UKR », GEOS, Aout 2021

Rapport d'essais n°46121 « essais de compression, essais de fendage et essais de module sur bétons C30 et C25 Portland », GEOS, Juillet 2021

CSTB, rapport d'essais d'adhérence entre armature et béton n°EEM 19 26080852/A, septembre 2020

CSTB, rapport d'essais essais sismiques sur armature sur béton H-UKR n°EEM 21 02965, juillet 2021

CSTB, rapport d'essais de détermination du comportement postpic en compression sur bétons à base de ciment H-UKR n°EEM 19 26081303/A-1, décembre 2020

Chapitre « Porosité » du Rapport d'essais « Durabilité de matériaux alcali activés », Laboratoire GCGM, IUT Rennes, Département Génie Civil (15 octobre 2019)

LERM SETEC, Etude comparative des propriétés de transfert d'un béton à base de liant H-UKR avec deux bétons de référence (l'un à base d'un CEM I ou II et l'autre à base d'un CEM III) et pour différentes cures, N°49670.001.01.A, janvier 2022

CSTB, rapport essais de résistance au gel modéré des bétons avec ciment H-UKR n°33M 20 26085648-A, Mai 2021

CSTB, rapport essais de résistance au gel sévère des bétons avec ciment H-UKR n°33M 20 26085648-B, Septembre 2021

Rapport d'essais n°20B1723 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, janvier 2021

Rapport d'essais n°20B1724 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, janvier 2021

Rapport d'essais n°025601 « gel-dégel NF P18-425 », CERIB, février 2021

Rapport d'essais n°026364 « gel-dégel NF P18-425 », CERIB, avril 2021

[Rapport d'essais n°20B2315 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, Mars 2021

Rapport d'essais n°20B2316 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, Mars 2021

Rapport d'essais n°21B0257 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, Mai 2021

Rapport d'essais n°21B0258 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, Mai 2021

Rapport d'essais n°21B0259 « gel-dégel NF P18-425 », LD contrôles, Mai 2021

Chapitre « Attaque acide » du Rapport d'essais « Durabilité de matériaux alcali activés », Laboratoire GCGM, IUT Rennes, Département Génie Civil (15 octobre 2019)

Chapitre « Attaque sulfate » du Rapport d'essais « Durabilité de matériaux alcali activés », Laboratoire GCGM, IUT Rennes, Département Génie Civil (15 octobre 2019)

CSTB, Rapport de classement du produit H-UKR n°RA20-0082, janvier 2023.

CSTB, rapport d'essais de classement des polluants volatils sur ciment H-UBR n° SC-2021-06574/B, décembre 2021

Rapport d'étude C20LL029 « Comportement au gel des liants innovants pour béton », Cerema, février 2022

CSTB et Université Gustave Eiffel, Etude n° XX2-F20713, Etude comparative de la résistance de mortiers à base d'un ciment H-UKR vis-à-vis de la carbonatation, janvier 2021

CSTB et Université Gustave Eiffel, Etude n° XX2-F21709 : essais d'attaque sulfatique externe, janvier 2023

Rapport d'essais n°22-03-0779 « essai de résistance aux sulfates », I.M.P., 18.10.2022

CSTB, rapport essais « étude de l'effet de la température à jeune âge sur la résistance du ciment H-UKR en comparaison avec des ciments de référence de type CEM I et CEM III », n° 21 08590, Septembre 2022

LERM SETEC, Etude des propriétés de transfert de durabilité en classe d'exposition XS-XD de formulations de béton innovant (liant H-UKR), N°51851.001.01.A, février 2023

LERM SETEC, Etude des propriétés de transfert de durabilité en classe d'exposition XC de formulations de béton innovant (liant H-UKR), N°51851.002.01.A, février 2023

HOFFMANN GREEN CEMENT, Tests conservatoires pour justifier de la conservation du ciment H-UKR en sac et en big-bag, ENR-CTQ-80, juillet 2024

HOFFMANN GREEN CEMENT, Rapport d'essais interne « H-UKR – Principe de liant équivalent », janvier 2024

CERIB, Rapport d'essais n° 042817-A « Essai de lixiviation à l'acide nitrique à pH constant sur deux bétons durcis », octobre 2023

CERIB, Rapport d'essais n° 045753-A « Essai de lixiviation à l'acide nitrique à pH constant sur deux bétons durcis », novembre 2023

FILAB, rapport n°A2404504 2404-E0180982, Nano et extrême surface : classification nanométrique sur le ciment H-UKR N, Mai 2024

FILAB, rapport n°A2404504 2404-E0180983, Nano et extrême surface : classification nanométrique sur le ciment H-UKR R, Mai 2024

CERIB Rapport d'essais n° 050824-A « Essai de biodégradation sur quatre bétons durcis », septembre 2024

HOFFMANN GREEN CEMENT, Rapport d'étude n°UKR2318, Essai RSE sur granulats SMBP (essais réalisés I.M.P.), août 2024

## F. REFERENCES DOCUMENTAIRES

- [1] RT\_ETPM-18/0056-V6 – Rapport technique de l’Evaluation Technique de Produits et Matériaux N° ETPM-18/0056-V6 du 4 novembre 2024 concernant le produit de « ciment pour béton H-UKR »
- [2] FD P18-480 Béton – Justification de la durabilité des ouvrages en béton par méthode performantielle (octobre 2022)
- [3] Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel. Environnements hivernaux rigoureux. Guide technique. Techniques et Méthodes. Université Gustave Eiffel. Octobre 2021.
- [4] Décryptage n°5 – Verdissement des bétons à base de ciment contenant du laitier de haut-fourneau, L’essentiel, décembre 2017, ATILH (Association Technique de l’Industrie des Liants Hydraulique)
- [5] PRO-CTQ-26 H2 – Plan de contrôle qualité H-UKR – usine H2.

## G. CHANTIERS DE REFERENCE

Plusieurs procédés à base de béton H-UKR sont couverts par des ATEx de cas a.  
 Dans ce cadre, un suivi des chantiers de référence est réalisé par Hoffmann Green.

Lieu	Période de construction	Type de liant	Applications*	Procédé
Paris 18	Février 2022	H-UKR N	Escaliers droits + bétons de propreté	Eléments en béton préfabriqués et gros béton coulés en place
Osny (95)	Février 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Lagord (17)	Février 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Angers (49)	Février 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (44)	Février/Mars 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Laval (53)	Mars 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Rivière (37)	Mars 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Dugny (93)	Avril 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Angers (49)	Avril 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Palaiseau (91)	Mai 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Hénin-Beaumont (62)	Mai 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Chemillé-en-Anjou (49)	Juin 2022	H-UKR N	Gros béton	Infrastructures
Paris 12	Juin 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Tingueux (51)	Juin 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Villejuif (94)	Juin 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Thiais (94)	Août 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
St Denis (93)	Septembre 2022	H-UKR N	Longrines, socles & murets Escaliers droits	Infrastructures Eléments en béton préfabriqués
La Haie les Roses (94)	Septembre 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Angers (49)	Octobre 2022	H-UKR N	Voiles	Superstructures
Vermandovillers (80)	Octobre 2022	H-UKR N	Bétons de propreté	Infrastructures
Lieu	Période de construction	Type de liant	Applications*	Procédé
Antony (92)	Novembre 2022	H-UKR N	Fondations superficielles	Infrastructures
Talence (33)	Décembre 2022	H-UKR N	Bétons de propreté	Infrastructures
Chatenay Malabry (92)	2022-2023	H-UKR N	Escaliers droits	Eléments en béton préfabriqués
Vallet (44)	Janvier 2023	H-UKR N	Massifs	Infrastructures
Saint Laurent Blangy (62)	Janvier 2023	H-UKR R	Voiles	Superstructures
Melun (77)	Janvier 2023	H-UKR R	Voiles	Superstructures

\* Liste non exhaustive