

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3305_V2

Version modifiée le 07/02/2024, annule et remplace l'ATEx n°3305_V1

ATEx de cas a

Validité du 13/12/2023 au 12/12/2025



Copyright : Société HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES

6 Rue de la Bretau dière, Chaille sous les ormeaux, 85 310 RIVES DES L'YON

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3305_V2

Note Liminaire : Cette Appréciation porte sur le procédé de « Béton à base de liant H-UKR pour la réalisation de murs, poutre-voiles, poteaux et planchers coulés en place ».

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 13/12/2022, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- demandeur : Société **HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES (HGCT)**
- technique objet de l'expérimentation : Mise en œuvre de béton prêt à l'emploi à base de liant H-UKR N (à prise normal) ou H-UKR R (à prise rapide) pour la réalisation de murs, poutre-voiles, poteaux et planchers coulés en place

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3305_V2 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée, donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulés au § 4 de la présente Appréciation.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages

Le béton à base de liant H-UKR N (à prise normal) ou H-UKR R (à prise rapide) n'est pas conforme à la norme NF EN 206+A2/CN. Les règles de calcul définies par la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale ne lui sont donc pas directement applicables. Une approche expérimentale a été adoptée pour caractériser le béton à base de liant H-UKR N ou H-UKR R, dans le but d'ajuster certains paramètres. Il en résulte les conclusions suivantes.

- Le béton à base de liant H-UKR N ou H-UKR R présente des résistances mécaniques comparables à celles d'un béton traditionnel ;
- La contrainte d'adhérence acier-béton d'un béton à base de liant H-UKR est comparable à celle d'un béton traditionnel ;
- Le retrait libre du béton à base de liant H-UKR est près de deux fois supérieur à celui du béton traditionnel, à formulation identique. Le retrait gêné du béton à base de liant H-UKR est quatre fois plus rapide que celui du béton traditionnel ;
- Le fluage du béton à base du liant H-UKR est de l'ordre de 3 fois supérieur à celui d'un béton traditionnel. Le coefficient de fluage d'un béton traditionnel a donc été multiplié par 3 pour le béton H-UKR ;
- Les résultats des essais de reprise de bétonnage mettant en jeu le béton H-UKR ont permis d'évaluer la contribution de ce béton à la contrainte de cisaillement résistante le long des surfaces de reprise pour les surfaces lisses et rugueuses. Le coefficient c défini au §6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 est applicable.

Pour une durée d'utilisation de projet de 50 ans, les classes d'expositions visées sont X0, XC1 à XC4/XF1, XD1, XD2, XD3/ XF2, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2 et la classe d'exposition XA3 est admise dans les limites des dispositions du Dossier Technique et à condition que les granulats justifient d'une absorption inférieure à 2,6%. L'enrobage, $c_{min,dur}$, à considérer pour une classe d'exposition donnée est précisé dans le dossier technique.

La stabilité des ouvrages visée par la présente Appréciation est ainsi assurée.

1.2 – Sécurité des intervenants

La mise en œuvre du béton à base du liant H-UKR N ou H-UKR R est similaire à celle d'un béton traditionnel. La sécurité des intervenants est assurée, à condition que les règles de sécurité applicables aux opérations classiques de coulage du béton soient respectées. Concernant les usagers, leur sécurité est assurée au même titre que pour les procédés de béton traditionnel coulés en place.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Le béton à base de liant H-UKR a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire n°AL19-253 pour le coulage en place des planchers et murs. L'Appréciation de Laboratoire précise les vérifications à mener afin d'écartier ou non le risque d'écaillage et permet l'utilisation l'Eurocode 2 partie 1-2 pour étudier la stabilité au feu des ouvrages.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3305_V2

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Les résultats d'essais sur le matériau ou sur des parties d'ouvrages verticaux montrent que les règles et principes de dimensionnement de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe nationale NF EN 1998-1/NA peuvent être utilisés pour le dimensionnement des éléments en béton H-UKR, et notamment pour la prise en compte des coefficients de comportement et des coefficients partiels de ce béton.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les liants H-UKR N ou H-UKR R sont produits par Hoffman Green Cement Technologies. Le béton à base du liant H-UKR N ou H-UKR R est fabriqué soit dans des centrales de béton prêt à l'emploi puis livré sur chantier soit dans des centrales foraines.

2.2 – Mise en œuvre :

La mise en œuvre du béton à base du liant H-UKR N ou H-UKR R, pour la réalisation des ouvrages, est similaire à celle d'un béton traditionnel, et ne nécessite pas de contrôles additionnels.

2.3 – Assistance technique

Lorsque du béton à base du liant H-UKR est utilisé, la société HGCT s'engage à apporter une assistance technique dans le cas où un besoin serait formulé par les acteurs d'une opération de construction, qu'il s'agisse de la maîtrise d'œuvre, du bureau d'études d'exécution, du fabricant de béton ou de l'entreprise de gros œuvre.

3°) Risques de désordres

Compte-tenu du comportement des bétons à base du liant H-UKR N ou H-UKR R vis-à-vis du fluage et du retrait, la fissuration du béton est probable. Par exemple, certains planchers pourront s'appuyer d'un côté sur un voile en béton traditionnel et d'un autre côté sur un voile en béton à base de liant H-UKR. Du fait que le béton à base de liant H-UKR présente un coefficient de fluage plus élevé que celui du béton traditionnel, un risque de fissuration en sous-face du plancher, induit par des légers tassements d'appui, n'est pas à exclure. Une fissuration verticale due au retrait est aussi probable. Ces fissures ne sont pas structurales et ne présentent pas d'autre inconvénient que leur aspect.

4°) Recommandations

Les recommandations suivantes devront être respectées :

- L'utilisation des granulats recyclés est exclue et les granulats doivent être non réactifs vis-à-vis de l'alcali réaction ;
- La fabrication du béton sur site doit être associée au suivi de la conformité du béton qui doit être fait conformément au tableau 17 de la norme NF EN 206+A2/CN. Il convient de considérer chaque formulation de béton constitué de liant H-UKR comme une famille de béton au sens du §8.2.1.2 de la norme NF EN 206+A2/CN ;
- L'utilisation de superplastifiant est exclue pour les maisons individuelles ;
- L'utilisation de plastifiant est possible sous réserve de réalisation d'essais préalablement ;
- La classes d'exposition XA3 est admise uniquement vis-à-vis des milieux contenant des sulfates, des acides ou des eaux pures.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est réelle,
- Les risques de désordres sont minimes.

Champs sur Marne,
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3305_V2

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société **HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES (HGCT)**
6 Rue de la Bretaudière, Chaille sous les ormeaux, 85 310 RIVES DES L'YON

Définition de la technique objet de l'expérimentation : Mise en œuvre de béton prêt à l'emploi à base de liant H-UKR pour la réalisation de murs, poutre-voiles, poteaux et planchers coulés en place.

- Les liants H-UKR N et H-UKR R, composés de laitier de hauts fourneaux, d'activateurs carbo-silicates et d'un mélange de filler calcaire, est produit par la société HGCT.
- Les liants H-UKR N et H-UKR R ont fait l'objet d'une Évaluation Technique de Produits et de Matériaux – ETMP-18/0056-D.
- Le béton mis en œuvre pour le coulage des éléments de structure vise les caractéristiques suivantes : classe de résistance C40/50, classes d'exposition considérées X0, XC1, XC2, XC3, XC4/ XF1, XD1, XD2, XD3/ XF2, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2 et XA3⁽²⁾.
- Les bétons à base de liant H-UKR ont des caractéristiques particulières caractérisées par essais et dont il convient de tenir compte pour le dimensionnement suivant les règles de dimensionnement Eurocodes.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEEx 3305_V2 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

(2) La classe XA3 fait l'objet de restrictions (cf. Recommandations de l'ATEEx).

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 19 pages.

H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 13 décembre 2023

A été enregistré au CSTB sous le numéro d'ATEX 3305_V2.

Fin du rapport

DOSSIER TECHNIQUE

H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers

Titulaire : Hoffmann Green Cement Technologies

6 la Bretaudière - Chaillé-sous-les-Ormeaux

85310 RIVES DE L'YON

Usines de production : Hoffmann Green Cement Technologies // Rue Archereau – 85480 BOURNEZEAU

Version du 13/12/2023

Table des matières

2.	Dossier Technique.....	3
2.1.	Mode de commercialisation	3
2.1.1.	Coordonnées	3
2.1.2.	Rôle des intervenants	3
2.2.	Description.....	3
2.2.1.	Principe.....	3
2.2.2.	Domaine d'emploi.....	3
2.2.3.	Matériaux, produits et composants	5
2.3.	Disposition de conception.....	6
2.3.1.	Généralités.....	6
2.3.2.	Principes de dimensionnement des voiles et poutre-voiles	9
2.3.3.	Principes de dimensionnement des poteaux	10
2.3.4.	Principes de dimensionnement des poutres.....	11
2.3.5.	Principes de dimensionnement des planchers.....	13
2.3.6.	Justification de la tenue au feu.....	15
2.3.7.	Dimensionnement des fixations.....	15
2.4.	Disposition de mise en œuvre	16
2.4.1.	Principe de mise en œuvre	16
2.4.2.	Revêtement de surface	16
2.5.	Maintien en service du produit	16
2.5.1.	Entretien courant	16
2.5.2.	Traitement des désordres (épaufures, éclats, etc.)	16
2.6.	Traitement en fin de vie	17
2.7.	Assistance technique	17
2.8.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	17
2.8.1.	Principe de fabrication.....	17
2.8.2.	Plans d'Assurance Qualité.....	17
2.9.	Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES	17
2.10.	Mention des justificatifs	18
2.10.1.	Résultats Expérimentaux.....	18
2.11.	Annexe du Dossier Technique – Exemples de teintes de parements d'ouvrages réalisés en béton H-UKR.....	19

2. Dossier Technique

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : Hoffmann Green Cement Technologies
6 rue de la Bretauillère - Chaillé-sous-les-Ormeaux
85310 RIVES DE L'YON

Usines de production ciment : Rue Archereau – 85480 BOURNEZEAU

2.1.2. Rôle des intervenants

Le procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers faisant l'objet de la demande d'ATEX de cas a concernent les ouvrages coulés sur place en superstructure avec du béton confectionné à partir de ciment H-UKR N ou H-UKR R, ciments « bas carbone » innovants à faible empreinte environnementale.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R sont produits par la société Hoffman Green Cement Technologies – demandeur de l'ATEX.

Le béton H-UKR est produit à partir de ciment H-UKR N (à prise normal) ou H-UKR R (à prise rapide) dans des centrales à bétons et livré sur le chantier, ou bien directement produit sur site dans une centrale de chantier.

Les ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers sont réalisés en béton H-UKR coulé sur place par l'entreprise de gros-œuvre de l'opération.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est réalisé par un Bureau d'Etude Structure ou toute personne possédant les compétences de dimensionnement suivant les Eurocodes, notamment EC2 et EC8.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Les ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers sont des éléments en béton armé coulés en place à l'aide de béton H-UKR confectionnée à partir de ciment H-UKR N ou H-UKR R.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R sont produits par Hoffman Green Cement Technologies, puis livrés en vrac ou conditionnés aux centrales de béton prêt à l'emploi pour être utilisés dans les formulations de béton H-UKR.

Le béton H-UKR est fabriqué dans les centrales de béton prêt à l'emploi puis livré sur chantier ou bien directement fabriqué dans des centrales de chantier sur site.

Le béton H-UKR est mis en œuvre sur chantier comme un béton traditionnel à base de ciment conforme à la norme NF EN 197-1, NF EN 197-5 ou NF 15743.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R n'étant pas couverts par les normes NF EN 197-1, NF EN 197-5 ou NF 15743, le béton H-UKR n'est pas couvert par la norme NF EN 206/CN. Toutefois, la production de béton est soumise aux référentiels décrits dans la norme NF EN 206/CN.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est réalisé par un Bureau d'Etude Structure ou toute personne possédant les compétences de dimensionnement suivant les Eurocodes, notamment EC2 et EC8.

Au décoffrage des éléments coulés en place, les parements peuvent présenter une teinte bleutée plus ou moins prononcée qui s'estompera dans le temps plus ou moins rapidement en fonctions des conditions environnantes (température, hygrométrie, exposition aux UV, etc.). Cette variation de teinte est purement d'ordre esthétique et n'affecte en aucun cas les caractéristiques du béton H-UKR. Des exemples de parements sont donnés en Annexe au présent Dossier Technique établi par le demandeur.

2.2.2. Domaine d'emploi

2.2.2.1. Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est destiné à la réalisation d'ouvrages en béton armé en infrastructure et/ou superstructure, et destinés aux constructions neuves ou existantes :

- Bâtiment à usage d'habitation de 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} famille,
- Etablissement recevant du public, de 1^{ère} à 5^{ème} catégorie,
- Bâtiments relevant du Code du Travail.
- Petits ouvrages annexes : voiles de piscine, voiles de soutènement, etc.

Les constructions visées ne font pas l'objet de limitation de hauteur. Les IMH et IGH sont visés sous réserve de procéder aux vérifications usuelles (ELU, ELS, ELUA sismique, ELUA incendie, etc.).

Les éléments en béton H-UKR visés sont les éléments en béton armé ou non armé tels que : voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres, planchers, console courte, escaliers, etc. coulés en place sur chantier. La réalisation de balcons se fera par la mise en œuvre de balcons préfabriqués en usine uniquement.

La durée d'utilisation du projet est limitée à 50 ans.

Les classes d'expositions visées sont X0, XC1, XC2, XC3, XC4 & XF1, XD1, XD2, XD3 & XF2, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2 et XA3 (milieux contenant des sulfates, des acides ou des eaux pures).

Les balcons coulés en place sur chantier ne sont pas visés.

Les ouvrages en milieux propices à la biodétérioration au sens du FD P18-011 ne sont pas visés.

2.2.2.2. Sécurité en cas d'incendie

Le dimensionnement du procédé sera réalisé à l'aide de la NF EN 1992-1-2 et de son Annexe Nationale NF EN 1992-1-2/NA, et conformément aux dispositions prévues par l'Appréciation de Laboratoire AL19-253_26080930_HGCT_Béton-HUKR_v5 du 24/10/2022 délivrée par le CSTB.

Ces critères seront rappelés dans le § 2.3.6 Justification de la tenue au feu.

2.2.2.3. Sismicité

Les ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers peuvent être mis en œuvre dans les zones de sismicité 1 à 5, dans des bâtiments de catégorie d'importance I à IV.

Ces éléments devront respecter les critères de conception, dimensionnement et dispositions constructives de la NF EN 1998-1 et de son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

Les caractéristiques mécaniques du béton H-UKR et son comportement sous actions sismiques sont données respectivement dans les § 2.3.1.3 Caractéristiques mécaniques & 2.3.1.6 Durabilité et enrobage des armatures.

2.2.3. Matériaux, produits et composants

2.2.3.1. Béton H-UKR

2.2.3.1.1. Ciments H-UKR N et H-UKR R

2.2.3.1.1.1. Evaluation Technique de Produits et de Matériaux

La gamme de ciment H-UKR a fait l'objet d'une Évaluation Technique de Produits et de Matériaux – ETMP-18/0056-D en date du 28 avril 2023.

2.2.3.1.1.2. Constitution des ciments H-UKR N et H-UKR R

Les ciments utilisés dans la formulation du béton sont les ciments H-UKR N et H-UKR R fabriqués et fournis par le demandeur, Hoffmann Green Cement Technologies.

Ils sont composés de laitier de hauts fourneaux, d'activateurs carbo-silicates et d'un mélange de filler calcaire.

Les ciments H-UKR N et H-UKR R sont des ciments réactifs (alcali-activation), qui se distinguent des ciments traditionnels par leur composition, présentée dans le tableau ci-dessous (source ETMP-18/0056-D).

Les % indiqués sont des pourcentages massiques		Ciment H-UKR N	Ciment H-UKR R	Ciment conforme NF EN 197-1	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 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 = 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 15743+A1 (Juin 2015) : Ciment sursulfaté - Composition, spécifications et critères de conformité.

2.2.3.1.2. Filler

Le filler utilisé dans la formulation du béton devra être conforme à la norme NF EN 12620+A1.

2.2.3.1.3. Agrégats

Le sable utilisé dans la formulation du béton devra être conforme aux normes NF EN 12620+A1 et NF P 18-545 art. 10.

Les graviers utilisés dans la formulation du béton devront être conformes aux normes NF EN 12620+A1 et NF P 18-545 art. 10. L'utilisation d'agrégats recyclés et d'agrégats réactifs à l'alcali-réaction dans la formulation du béton est exclue.

2.2.3.1.4. Adjuvants

Les adjuvants utilisés dans la formulation du béton devront être conforme à la norme NF EN 934.

2.2.3.1.5. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans la formulation du béton H-UKR devra être conforme à la norme NF EN 1008, et faire l'objet de d'analyses chimiques périodiques suivant les fréquences exigées par la norme.

2.2.3.1.6. Produit de cure

Les produits de cure utilisés pour la cure du béton H-UKR devront être conforme à la norme NF P18-370.

2.2.3.2. Armatures

2.2.3.2.1. Armatures CFA

Les armatures CFA mises en œuvre dans les ouvrages en béton H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers sont réalisées en usine de préfabrication d'armatures ou sur chantier, et sont obtenues à l'aide d'acier HA en couronne, de classe B500A, B500B ou B500C suivant les exigences requises par le projet et certifié NF suivant la norme NF A 35-080-1.

2.2.3.2.2. Treillis soudés

Le treillis soudé mis en œuvre dans les ouvrages en béton H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est de classe B500A, B500B ou B500C suivant les exigences requises par le projet et certifié NF suivant la norme NF A 35-080-2.

2.2.3.3. Inserts

Les inserts de type boîtes d'attente d'armatures, boîtiers électriques, gaines, fourreaux, décaissés, etc. peuvent être insérés à la réalisation des ouvrages en béton H-UKR suivant les mêmes dispositions que pour un béton traditionnel.

2.3. Disposition de conception

2.3.1. Généralités

2.3.1.1. Application Eurocode

Hors indications et spécifications contraires indiquées dans les paragraphes suivants de la présente ATEX de cas a, la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA, la NF EN 1992-1-2 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-2/NA, ainsi que la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA sont applicables pour le dimensionnement des ouvrages coulés en place en béton à base de ciments H-UKR N et H-UKR R.

2.3.1.2. Formulation du béton

Une formulation de référence en béton H-UKR a fait l'objet de qualification et est référencée comme suivant :

- H-UKR 380 – Formule n°1 (formule de référence)

Les formulations peuvent faire l'objet d'ajustement dans leur composition (ajustement de la quantité d'eau pour garantir la classe de résistance C40/50, etc.), et sont soumises à validation du laboratoire de Hoffmann Green Cement Technologies.

Formulation	X0	XC				XD				XS				XA		
		XC1	XC2	XC3	XC4 /XF1	XD1	XD2	XD3f /XF2	XD3tf	XS1	XS2	XS3e	XS3m	XA1	XA2	XA3
H-UKR 380 C40 U.a	380 kg/m ³	✓	✓	✓	1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

¹⁾ La formulation du béton H-UKR est utilisable pour un ouvrage soumis à une classe d'exposition XC3 sous réserve de respecter les deux conditions suivantes :

- la formulation utilisée doit obligatoirement répondre à la classe d'exposition XC4
- et l'enrobage des armatures sera déterminé en considérant une classe d'exposition XC4

²⁾ La classe d'exposition XA3 est admise pour les milieux contenant des sulfates, des acides ou des eaux pures et pour des bétons H-UKR formulés avec des granulats ayant un taux d'absorption d'eau inférieur à 2,6%.

2.3.1.3. Caractéristiques mécaniques

La classe de résistance visée et garantie est C40/50 pour la formulation H-UKR 380 C40 U.a.

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont récapitulées dans le tableau ci-après.

	H-UKR 380 C40 U.a
f_{ck} (MPa)	40
$f_{ck,cube}$ (MPa)	50
$f_{ctk 0,05}$ (MPa)	2,5
E_{cm} (GPa)	32

2.3.1.4. Fluage

Le coefficient de fluage du béton H-UKR est déterminé à partir du coefficient d'un béton à base de ciment Portland, et doit être modulé à l'aide d'un facteur k_{creep} et déterminé à l'aide de l'expression suivante :

$$\varphi_{H-UKR}(\infty, t_0) = k_{creep} \times \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$$

Avec :

- k_{creep} : facteur de fluage H-UKR
- $\varphi_{CEM}(\infty, t_0)$: coefficient de fluage pour un béton de classe de résistance équivalente C40/50 avec un ciment de classe N, dans les conditions du projet
- Le coefficient k_{creep} est défini à partir d'essai expérimentaux, dont la valeur est indiquée ci-dessous en fonction de la formulation de béton :

	H-UKR 380 C40 U.a
k_{creep}	3

2.3.1.5. Retrait

2.3.1.5.1. Retrait libre

Le retrait libre est de l'ordre de deux fois plus important pour du béton à base de ciment H-UKR que du béton à base de ciment CEM I, à formulation identique, soit :

$$\varepsilon_{cs\ H-UKR} = 2 \cdot \varepsilon_{cs\ CEM\ I}$$

2.3.1.5.2. Retrait gêné – comportement en termes de fissuration

Il est rappelé que pour tout béton, à base de ciment Portland ou H-UKR, le risque de fissuration n'est pas à exclure.

La vérification de l'ouverture des fissures w_k se fera conformément :

- à l'article 7.3.4 de la NF EN 1992-1-1
- à l'Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA si les sections d'armatures sont inférieures ou égales à 16 mm (pour le cas des voiles).

2.3.1.6. Durabilité et enrobage des armatures

Les minorations liées à l'approche prescriptive proposées dans le Tableau 4.3NF de la NF EN 1992-1-1 ne sont pas applicables pour le béton à base de ciments H-UKR N et H-UKR R.

Seule une minoration d'une classe structurale liée à l'approche performantielle pourra être appliquée pour le béton à base de ciment H-UKR N et H-UKR R uniquement pour les classes d'expositions XC1, XC2, XC4, XD1, XD2, XD3f, XD3tf XS1, XS2, XS3e et XS3m.

Les enrobages des armatures seront déterminés conformément à la Section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, en tenant compte des valeurs de $c_{min,dur}$ données dans le tableau ci-après. L'enrobage $c_{min,dur}$ est l'enrobage minimal des armatures de béton armé qui tient compte des classes d'exposition.

Formulation	Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)										
	Classe d'exposition selon Tableau 4.1 de l'EC 2-1-1 et son A.N.F										
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4/XF1	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XF2/XS3	XA1	XA2	XA3
H-UKR 380 C40 U.a	10	10	20	30		30	35	40	30	40	50

Les enrobages $c_{min,dur}$ indiqués dans le tableau ci-dessus correspondent à une durée d'utilisation du projet de 50 ans, et tiennent compte des minorations possibles selon les critères définis dans l'approche performantielle. Aucune autre minoration n'est permise pour la détermination des enrobages $c_{min,dur}$.

La détermination des enrobages pour les parements irréguliers devra respecter l'article 4.4.1.3(4) de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA.

2.3.1.7. Comportement du béton H-UKR sous actions sismiques

Les règles et principes de dimensionnement de la NF EN 1998-1 et son Annexe nationale NF EN 1998-1/NA peuvent être utilisés pour le dimensionnement des éléments en béton H-UKR, et notamment pour la prise en compte des coefficients de comportement et des coefficients partiels de ce béton.

Les hypothèses suivantes peuvent être prises en compte pour les éléments en béton H-UKR :

- Murs de grandes dimensions
- Classe de ductilité :
 - DCL selon la NF EN 1998-1, article 5.2.1. et article 5.3
 - DCM (périmètre d'utilisation des murs de grandes dimensions faiblement armé) selon la NF EN 1998-1, article 5.2.2.1. et article 5.2.2.2. (13)
- Coefficient de comportement $q \leq 2,0$

La définition d'un mur de grandes dimensions en béton peu armé est donnée dans la NF EN 1998-1, article 5.1.2.

Dans le cas d'exigences parasismiques, les ancrages des barres devront respecter la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF 1998-1/NA ainsi que les dispositions constructives (majorations d'ancrages en fonction de la formulation béton) décrites au § 2.3.1.8 Détermination de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures.

2.3.1.8. Détermination de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures

La détermination et la vérification de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures dans le béton H-UKR seront réalisés suivant la méthode décrite dans la Section 8 Dispositions constructives relatives aux armatures de béton armé et de

précontrainte – généralités de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, ainsi que selon le § 5.6 Dispositions pour ancrages et jonctions de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

2.3.1.9. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

La vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage, dans le cas de :

- Béton H-UKR – béton traditionnel
- Béton traditionnel – béton H-UKR
- Béton H-UKR – béton H-UKR

sera justifiée en appliquant la formule (6.25) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Art. 6.2.5 :

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Dans le cas des combinaisons à l'ELUA sismique, la valeur du coefficient c sera divisée par deux conformément à la NF EN 1992-1-1, art. 6.2.5 (5).

2.3.2. Principes de dimensionnement des voiles et poutre-voiles

2.3.2.1. Généralités

Le principe de dimensionnement d'un voile ou d'une poutre-voile en béton H-UKR est le même que pour un voile ou une poutre-voile en béton à base de ciment Portland, en prenant en compte les paramètres spécifiques intrinsèque au matériau qui sont récapitulés ci-après :

- Caractéristiques mécaniques
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la traction
 - Module d'élasticité
- Comportement au fluage
 - Coefficient k_{creep}
 - Coefficient de fluage : $\varphi_{(H-HUR)}(\infty, t_0) = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont données dans le Tableau du § 2.3.1.3 Caractéristiques mécaniques.

Dans le cas où des voiles et/ou poutre-voiles d'un même niveau serait réalisé à partir de matériaux de caractéristiques mécaniques différentes, il conviendra de bien prendre en compte la distribution des efforts au prorata des raideurs.

2.3.2.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un voile ou poutre-voile en béton H-UKR est identique à celui d'un voile ou poutre-voile en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.2.1 Généralités.

Compte tenu des caractéristiques mécaniques du béton H-UKR (fluage), il conviendra de vérifier la prise en compte du second ordre dans le dimensionnement suivant la NF EN 1992-1-1, Art. 5.8.3.

2.3.2.3. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'un voile ou poutre-voile en béton H-UKR est identique à celui d'un voile ou poutre-voile en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 7 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.2.1 Généralités.

2.3.2.4. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'un voile ou poutre-voile en béton H-UKR est identique à celui d'un voile ou poutre-voile en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.2.1 Généralités.

Les voiles peuvent être considérés comme des éléments sismiques primaires ou secondaires conformément à l'article 4.2.2 Eléments sismiques primaires et secondaires de la NF EN 1998-1, et nécessitent une vérification vis-à-vis des actions sismiques dans le cas d'éléments primaires.

2.3.2.5. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

L'interface de la reprise de bétonnage sera justifiée en appliquant la formule (6.25) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Art. 6.2.5 :

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Dans le cas des combinaisons à l'ELUA, la valeur du coefficient c sera divisée par deux conformément à la NF EN 1992-1-1, art. 6.2.5 (5).

2.3.3. Principes de dimensionnement des poteaux

2.3.3.1. Généralités

Le principe de dimensionnement d'un poteau en béton H-UKR est le même que pour un poteau en béton à base de ciment Portland, en prenant en compte les paramètres spécifiques intrinsèque au matériau qui sont récapitulés ci-après :

- Caractéristiques mécaniques
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la traction
 - Module d'élasticité
- Comportement au fluage
 - Coefficient k_{creep}
 - Coefficient de fluage : $\varphi_{(H-HUR)}(\infty, t_0) = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont données dans le Tableau du § 2.3.1.3 Caractéristiques mécaniques.

Dans le cas où des poteaux d'un même niveau serait réalisé à partir de matériaux de caractéristiques mécaniques différentes, il conviendra de bien prendre en compte la distribution des efforts au prorata des raideurs.

2.3.3.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un poteau en béton H-UKR est identique à celui d'un poteau en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.3.1 Généralités.

Compte tenu des caractéristiques mécaniques du béton H-UKR (fluage), il conviendra de vérifier la prise en compte du second ordre dans le dimensionnement suivant la NF EN 1992-1-1, Art. 5.8.3.

2.3.3.1. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'un poteau en béton H-UKR est identique à celui d'un poteau en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 7 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.3.1 Généralités.

2.3.3.2. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'un poteau en béton H-UKR est identique à celui d'un poteau en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.3.1 Généralités.

Les poteaux peuvent être considérés comme des éléments sismiques primaires ou secondaires conformément à l'article 4.2.2 Eléments sismiques primaires et secondaires de la NF EN 1998-1, et nécessitent une vérification vis-à-vis des actions sismiques dans le cas d'éléments primaires.

2.3.3.1. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

L'interface de la reprise de bétonnage sera justifiée en appliquant la formule (6.25) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Art. 6.2.5 :

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Dans le cas des combinaisons à l'ELUA sismique, la valeur du coefficient c sera divisée par deux conformément à la NF EN 1992-1-1, art. 6.2.5 (5).

2.3.4. Principes de dimensionnement des poutres

2.3.4.1. Généralités

Le principe de dimensionnement d'une poutre en béton H-UKR est le même que pour une poutre en béton à base de ciment Portland, en prenant en compte les paramètres spécifiques intrinsèque au matériau qui sont récapitulés ci-après :

- Caractéristiques mécaniques
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la traction
 - Module d'élasticité
- Comportement au fluage
 - Coefficient k_{creep}
 - Coefficient de fluage : $\varphi_{(H-HUR)}(\infty, t_0) = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont données dans le Tableau du § 2.3.1.3 Caractéristiques mécaniques.

Dans le cas où des poutres d'un même niveau serait réalisé à partir de matériaux de caractéristiques mécaniques différentes, il conviendra de bien prendre en compte la distribution des efforts au prorata des raideurs.

2.3.4.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'une poutre en béton H-UKR est identique à celui d'une poutre en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.4.1 Généralités.

2.3.4.3. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'une poutre en béton H-UKR est identique à celui d'une poutre en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 7 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.4.1 Généralités..

Compte tenu des caractéristiques mécaniques du béton H-UKR, les flèches totale et nuisible des poutres peuvent être dimensionnantes et nécessitent une vérification systématique.

2.3.4.3.1. Vérification de la flèche totale

2.3.4.3.1.1. Détermination de flèche totale

Le calcul de la flèche totale se fera conformément à la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et notamment suivant l'article 7.4.3.

La flèche est déterminée sous la combinaison de charges quasi-permanente.

2.3.4.3.1.2. Valeur limite de la flèche totale

À défaut d'indications dans les DPM ou de données plus précises, la valeur limite de la flèche totale sera prise égale à la valeur donnée dans la NF EN 1992-1-1, article 7.4.1. (4), et ne devra pas excéder la valeur de $l/250$.

2.3.4.3.1.3. Contreflèche

Une contreflèche pourra être mise en œuvre pour limiter la flèche totale, dans la limite de $l/250$ conformément à la NF EN 1992-1-1, article 7.4.1. (4).

2.3.4.3.2. Vérification de la flèche nuisible

Dans le cas où la flèche de la poutre est susceptible de mettre en cause le bon comportement d'éléments dit fragiles tels que des cloisons, des revêtements de sols ou de plafond, il est nécessaire de vérifier la flèche nuisible de celle-ci.

2.3.4.3.2.1. Détermination de la flèche nuisible

Le calcul de la flèche nuisible se fera conformément au FD P18-717 (août 2021) Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Guide d'application des normes NF EN 1992, et notamment suivant l'article 7.4.3 (7) - Flèches nuisibles dans le cas des bâtiments - (II).

La flèche nuisible sera calculée à partir de l'expression suivante :

$$\Delta f_t = f_{gv} - f_{ji} + f_{pi} - f_{gi}$$

où :

- $f_{gv} - f_{ji}$ est la flèche nuisible due aux charges permanentes ;
- $f_{pi} - f_{gi}$ est la flèche instantanée due aux charges d'exploitation.

La flèche nuisible est calculée en prenant en compte la valeur du module d'élasticité effectif, déterminé à l'aide de l'expression suivante :

$$E_{c,eff\ H-UKR} = \frac{E_{cm\ H-UKR}}{1 + \varphi_{H-UKR}(\infty, t_0)}$$

2.3.4.3.2.2. Valeur limite de la flèche nuisible

À défaut d'indications dans les DPM ou de données plus précises, il est possible d'admettre que la part de flèche Δf_t , qui est susceptible de mettre en cause le bon comportement des cloisons et des revêtements de sols ou de plafonds, ne doit pas dépasser :

- pour les éléments supports reposant sur deux appuis, les valeurs :

$$l_n / 500 \text{ si } l_n \leq 5 \text{ m}$$

$$(0,005 + l_n) / 1000 \text{ si } l_n > 5 \text{ m}$$

- pour les éléments supports en console, les valeurs :

$$l_n / 250 \text{ si } l_n \leq 2,5 \text{ m}$$

$$(0,005 + l_n) / 500 \text{ sinon}$$

2.3.4.4. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'une poutre en béton H-UKR est identique à celui d'une poutre en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.4.1 Généralités.

Les poutres peuvent être considérés comme des éléments sismiques primaires ou secondaires conformément à l'article 4.2.2 Eléments sismiques primaires et secondaires de la NF EN 1998-1, et nécessitent une vérification vis-à-vis des actions sismiques dans le cas d'éléments primaires.

2.3.4.5. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

L'interface de la reprise de bétonnage sera justifiée en appliquant la formule (6.25) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Art. 6.2.5 :

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Dans le cas des combinaisons à l'ELUA sismique, la valeur du coefficient c sera divisée par deux conformément à la NF EN 1992-1-1, art. 6.2.5 (5).

2.3.5. Principes de dimensionnement des planchers

2.3.5.1. Généralités

Le principe de dimensionnement d'un plancher en béton H-UKR est le même que pour un plancher en béton à base de ciment Portland, en prenant en compte les paramètres spécifiques intrinsèque au matériau qui sont récapitulés ci-après :

- Caractéristiques mécaniques
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la traction
 - Module d'élasticité
- Comportement au fluage
 - Coefficient k_{creep}
 - Coefficient de fluage : $\varphi_{(H-HUR)}(\infty, t_0) = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont données dans le Tableau du § 2.3.1.3 Caractéristiques mécaniques.

Dans le cas où des poteaux d'un même niveau serait réalisé à partir de matériaux de caractéristiques mécaniques différentes, il conviendra de bien prendre en compte la distribution des efforts au prorata des raideurs.

2.3.5.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un plancher en béton H-UKR est identique à celui d'un plancher en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 6 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.5.1 Généralités.

2.3.5.3. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'un plancher en béton H-UKR est identique à celui d'un plancher en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la Section 7 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.5.1 Généralités.

Compte tenu des caractéristiques mécaniques du béton H-UKR (fluage), les flèches totale et nuisible des planchers peuvent être dimensionnantes et nécessitent une vérification systématique.

2.3.5.3.1. Vérification de la flèche totale

2.3.5.3.1.1. Détermination de flèche totale

Le calcul de la flèche totale se fera conformément à la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA, et notamment suivant l'article 7.4.3.

La flèche est déterminée sous la combinaison de charges quasi-permanente.

2.3.5.3.1.2. Valeur limite de la flèche totale

À défaut d'indications dans les DPM ou de données plus précises, la valeur limite de la flèche totale sera prise égale à la valeur donnée dans la NF EN 1992-1-1, article 7.4.1. (4), et ne devra pas excéder la valeur de $l/250$.

2.3.5.3.1.3. Contreflèche

Une contreflèche pourra être mise en œuvre pour limiter la flèche totale, dans la limite de $l/250$ conformément à la NF EN 1992-1-1, article 7.4.1. (4).

2.3.5.3.2. Vérification de la flèche nuisible

Dans le cas où la flèche du plancher est susceptible de mettre en cause le bon comportement d'éléments dit fragiles tels que des cloisons, des revêtements de sols ou de plafond, il est nécessaire de vérifier la flèche nuisible de celui-ci.

2.3.5.3.2.1. Détermination de la flèche nuisible

Le calcul de la flèche nuisible se fera conformément au FD P18-717 (août 2021) Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Guide d'application des normes NF EN 1992, et notamment suivant l'article 7.4.3 (7) - Flèches nuisibles dans le cas des bâtiments - (II).

La flèche nuisible sera calculée à partir de l'expression suivante :

$$\Delta f_t = f_{gv} - f_{ji} + f_{pi} - f_{gi}$$

où :

- $f_{gv} - f_{ji}$ est la flèche nuisible due aux charges permanentes ;
- $f_{pi} - f_{gi}$ est la flèche instantanée due aux charges d'exploitation.

La flèche nuisible est calculée en prenant en compte la valeur du module d'élasticité effectif, déterminé à l'aide de l'expression suivante :

$$E_{c,eff\ H-UKR} = \frac{E_{cm\ H-UKR}}{1 + \varphi_{H-UKR}(\infty, t_0)}$$

2.3.5.3.2.2. Valeur limite de la flèche nuisible

À défaut d'indications dans les DPM ou de données plus précises, il est possible d'admettre que la part de flèche Δf_t , qui est susceptible de mettre en cause le bon comportement des cloisons et des revêtements de sols ou de plafonds, ne doit pas dépasser :

- pour les éléments supports reposant sur deux appuis, les valeurs :

$$l_n / 500 \text{ si } l_n \leq 5 \text{ m}$$

$$(0,005 + l_n) / 1000 \text{ si } l_n > 5 \text{ m}$$

- pour les éléments supports en console, les valeurs :

$$l_n / 250 \text{ si } l_n \leq 2,5 \text{ m}$$

$$(0,005 + l_n) / 500 \text{ sinon}$$

2.3.5.4. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'un plancher en béton H-UKR est identique à celui d'un plancher en béton traditionnel, en appliquant les règles et principes définis dans la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA, et sous réserve de prendre en compte les valeurs des paramètres intrinsèques spécifiques du béton H-UKR données au § 2.3.5.1 Généralités.

Les planchers peuvent être considérés comme des diaphragmes sous réserve de respecter les conditions énoncées dans la NF EN 1998-1, art. 5.10 et notamment (1), (2), (4), (5), (6) et (7) pour les classes DCL et DCM.

2.3.5.5. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

L'interface de la reprise de bétonnage sera justifiée en appliquant la formule (6.25) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Art. 6.2.5 :

$$v_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk,0,05} / \gamma_c$$

Dans le cas des combinaisons à l'ELUA, la valeur du coefficient c sera divisée par deux conformément à la NF EN 1992-1-1, art. 6.2.5 (5).

2.3.5.6. Effet du fluage relatif entre deux bétons de caractéristiques mécaniques différentes

Dans le cas d'ouvrages coulés en place avec du béton H-UKR et du béton traditionnel d'un même niveau, sous l'effet des sollicitations verticales et compte tenu des coefficients de fluage différents entre le béton à base de ciment H-UKR et le béton à base de ciment Portland, un raccourcissement relatif se produira entre les ouvrages réalisés avec deux bétons différents et induira des sollicitations additionnelles dans le plancher à prendre en compte.

2.3.5.6.1. Détermination du raccourcissement relatif

Le raccourcissement relatif pour un niveau i considéré est déterminé à l'aide de la relation suivante :

$$s_i = \sum_{j=0}^i \Delta s_j \quad \text{où} \quad \Delta s_j = \Delta h_j^{H-UKR} - \Delta h_j$$

$$\text{Avec : } \Delta h_j^{H-UKR} = \frac{h_j^{H-UKR} \cdot \sigma_j^{H-UKR}}{E_{H-UKR}} \cdot (1 + \varphi_{H-UKR}) \quad \text{et} \quad \Delta h_j = \frac{h_j \cdot \sigma_j}{E} \cdot (1 + \varphi)$$

Les différentes valeurs utilisées dans les relations précédentes sont explicitées ci-après :

- h_j est la hauteur du niveau j
- Δh_j^{H-UKR} et Δh_j sont respectivement les raccourcissements de l'élément en béton à base de ciment H-UKR et de l'élément en béton à base de ciment Portland
- E_{H-UKR} et E sont respectivement les modules d'élasticité instantanés du béton à base de ciment H-UKR et du béton à base de ciment Portland
- φ_{H-UKR} et φ sont respectivement les coefficients de fluage en béton à base de ciment H-UKR et du béton à base de ciment Portland
- σ_j^{H-UKR} et σ_j sont respectivement les contraintes de compression dues à la descente de charges dans l'élément en béton à base de ciment H-UKR et de l'élément en béton à base de ciment Portland, pour le niveau considéré j

La vérification se fera suivant le cas le plus défavorable, avec prise en compte ou non du fluage, soit :

- Cas n°01 : fluage négligé soit $\varphi = \varphi_{H-UKR} = 0$
- Cas n°02 : prise en compte du fluage soit $\varphi = 2$ et $\varphi_{H-UKR} = 6$

2.3.5.6.2. Détermination des sollicitations additionnelles

Les sollicitations additionnelles dans le plancher située au niveau i considéré sont égales à :

	Côté élément en béton à base de ciment H-UKR	Côté élément en béton à base de ciment Portland
Moment de flexion sur appui	$\Delta M_i^{H-UKR} = 6 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2} \cdot s_i$	$\Delta M_i = 3 \cdot \frac{E \cdot I}{L^2} \cdot s_i$
Effort tranchant sur appui	$\Delta V_i^{H-UKR} = 0$	$\Delta V_i = 3 \cdot \frac{E \cdot I}{L^3} \cdot s_i$

- E : module d'élasticité instantané du béton du plancher
- I : moment d'inertie de la section droite du plancher
- L : portée utile du plancher

2.3.6. Justification de la tenue au feu

Les ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers ont fait l'objet d'une Appréciation de Laboratoire AL19-253_26080930_HGCT_Béton-HUKR_v5 du 24/10/2022 délivrée par le CSTB.

Cette Appréciation de Laboratoire permet de valider l'application de la NF EN 1992-1-2 et de son Annexe Nationale NF EN 1992-1-2/NA.

Des critères permettant d'écarter tout risque d'écaillage ont été formulés dans cette Appréciation de Laboratoire, et qui sont :

- Ratio Eau efficace / Quantité de liant supérieur à 0,39 avec $f_{ck} \leq 65 \text{ MPa}$
- Contrainte à la compression en plan du béton sous combinaison accidentelle incendie $G + \psi_1 \cdot Q$ inférieure à :
 - $\sigma_c \leq 20 \text{ MPa}$ pour les éléments type poteaux/poutres,
 - $\sigma_c \leq 11,4 \text{ MPa}$ pour les éléments type voiles/planchers.

Les contraintes doivent être évaluées sous combinaison d'action incendie mais à froid, c'est-à-dire sans affaiblissement des matériaux. Cette vérification permet de décider de la section à retenir pour le calcul à chaud.

Si le risque d'écaillage ne peut pas être écarté, il est que la contrainte à la compression en plan du béton sous combinaison accidentelle incendie dépasse le seuil défini ci-avant, le béton d'enrobage des aciers en face exposée doit être négligé.

2.3.7. Dimensionnement des fixations

Les chevilles utilisées bénéficieront d'une Evaluation Technique Européenne (ETE) délivrée selon le Document d'Evaluation Européen (DEE) :

- 330232-01-0601 pour les chevilles mécaniques
- 330499-01-0601 pour les chevilles chimiques

Des essais comparatifs ont été menés pour vérifier l'aptitude du béton H-UKR à reprendre les contraintes inhérentes au chevillage, et démontrent un comportement similaire que pour un béton à base de ciment Portland.

Il conviendra de suivre les Recommandations Professionnelles du chevillage de 2014 d'EVOLIS (ex CISMA), conformément au § 6.5.7.1. et de réaliser des essais sur site pour valider les valeurs annoncées par le fabricant de fixations.

2.4. Disposition de mise en œuvre

2.4.1. Principe de mise en œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est identique à celui d'éléments en béton à base de ciment Portland, et ne requiert pas de sujétions spécifiques.

2.4.2. Revêtement de surface

2.4.2.1. Généralités

Dans le cadre d'une application d'un revêtement de type peinture, enduits ou colle sur un support, les essais de convenances sont à la charge de l'applicateur.

Dans le cas des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers, le demandeur Hoffmann Green Cement Technologies propose une liste de produits compatibles à la disposition des applicateurs.

Cette liste de produit compatible a été dressée sur la base d'essais, normalisés dans le cas d'existence d'une norme, et est susceptible d'évoluer en fonction des essais à venir. Dans le cas où un produit n'est pas présent dans la liste, l'applicateur peut se rapprocher du demandeur pour évaluer la compatibilité de réaliser des essais sur ce produit.

2.4.2.2. Cas des sols fragiles (carrelage, pierre, etc.)

La mise en œuvre des sols fragiles devra être conforme aux normes et règlements en vigueur, notamment à la NF DTU 52.1 (P61-202) : Revêtements de sol scellés.

Dans le cas de pose de sol fragile, le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR - Poutres & planchers devra tenir compte de la flèche nuisible conformément aux § 2.3.4.3.2 Vérification de la flèche nuisible & 2.3.5.3.2 Vérification de la flèche nuisible.

2.4.2.3. Autres revêtements

2.4.2.3.1. Peinture et lasure

La mise en œuvre de revêtement de type peinture sera conforme aux NF DTU 59.1 (P74-201) : Revêtements de peinture en feuil mince, semi-épais ou épais (juin 2013) et DTU 59.3 (P74-203) : Peinture de sols (mai 1993).

L'application de revêtement de type peinture sur béton H-UKR est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

2.4.2.3.2. Sols souples

La mise en œuvre de revêtement de type sols souples sera conforme à la NF DTU 53.12 (P62-207) : Préparation du support et revêtements de sol souples (décembre 2020).

L'application de revêtement de type sol souple sur béton H-UKR est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

2.4.2.3.3. Parquets collés

La mise en œuvre de revêtement de type parquets collés sera conforme à la NF DTU 51.2 (P63-202) : Parquets collés (mai 2020).

L'application de revêtement de type parquets collés sur béton H-UKR est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

2.4.2.3.4. Sols en résine de synthèse

La mise en œuvre de revêtement de type résine de synthèse sera conforme à la NF DTU 54.1 (P62-206) : Revêtements de sol coulés à base de résine de synthèse (février 2018).

L'application de revêtement de type résine de synthèse sur béton H-UKR est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

2.4.2.3.5. Revêtement d'étanchéité

La préparation du support se fait conformément au NF DTU 20.12 et au NF DTU 43.1.

Sont admis, les revêtements d'étanchéité :

- Fixés mécaniquement au support, conformément au DTU 43.1 (NF P84-204) ou au DTU 43.11 (NF P84-211)
- Soudés au chalumeau, conformément aux prescriptions des ATEC ou DTA des produits retenus
- Auto-adhésifs, conformément aux prescriptions des ATEC ou DTA des produits retenus

2.5. Maintien en service du produit

2.5.1. Entretien courant

L'entretien des ouvrages en béton H-UKR est identique à celui des ouvrages en béton à base de ciment Portland.

Dans le cas d'utilisation de produit chimique, il conviendra de se rapprocher des fabricants de ces produits pour utilisation sur béton.

2.5.2. Traitement des désordres (épaufrures, éclats, etc.)

Dans le cadre d'une réparation à l'aide d'un mortier ou enduit, les essais de convenances sont à la charge de l'applicateur.

Dans le cas des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers, le demandeur Hoffmann Green Cement Technologies propose une liste de produits compatibles à la disposition des applicateurs.

Cette liste de produit compatible a été dressée sur la base d'essais, normalisés dans le cas d'existence d'une norme, et est susceptible d'évoluer en fonction des essais à venir. Dans le cas où un produit n'est pas présent dans la liste, l'applicateur peut se rapprocher du demandeur pour évaluer la compatibilité de réaliser des essais sur ce produit.

2.6. Traitement en fin de vie

A la fin de la durée de vie du produit, les ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers pourront faire l'objet du même traitement que les éléments en béton armé avec une dépose, concassage et séparation des armatures et du béton pour réemploi après retraitement.

2.7. Assistance technique

L'équipe technique de la société Hoffmann Green Cement Technologies assure un accompagnement tout au long de la mise en œuvre du produit :

- Dimensionnement des ouvrages
Le Bureau d'étude structure du projet a la responsabilité de la réalisation des plans structure et exécution des ouvrages, dans le respect de l'ATEX.
Le bureau d'étude interne d'Hoffmann Green Cement Technologies est disponible pour former les bureaux d'étude externes aux spécificités du béton à base de ciment H-UKR et pour répondre aux questions relatives au dimensionnement.
- Fabrication du béton en centrale
Le béton à base de ciment H-UKR est fabriqué dans un réseau de centrale BPE partenaire ou en centrale de chantier dans le respect des prescriptions de l'ATEX.
Dans le cas de la première production initiale de béton à base de ciment H-UKR N ou H-UKR R d'une nouvelle centrale à béton, une assistance technique est apportée par Hoffmann Green Cement Technologies pour la mise au point des essais initiaux de production des formulations béton et pour l'analyse des résultats.
- Mise en œuvre du béton
La mise en œuvre du béton est réalisée par l'entreprise de gros œuvre du chantier.
Lors des premières mises en œuvre, une formation est dispensée sur le chantier par un employé Hoffmann. Les premiers coulages et décoffrages sont accompagnés (arrivée du béton sur chantier, coulage, vibration, décoffrage, etc.)
Hoffmann met à disposition une liste de produit de ragréage et de réparation compatibles.
- Assistance aux corps d'état du second œuvre pour la pose de systèmes en adhérence
Hoffmann met à disposition une liste de produits compatibles avec le H-UKR (essais d'adhérence en laboratoire selon la norme dont les produits relèvent) : colles, peintures, lasures, mastics, enduits, mortiers de réparation, etc.

2.8. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Principe de fabrication

Le principe de fabrication du béton H-UKR est identique à celui du béton à base de ciment Portland.

2.8.2. Plans d'Assurance Qualité

2.8.2.1. Plan d'Assurance Qualité de production des ciments H-UKR N et H-UKR R

Les sites de production des ciments H-UKR N et H-UKR R disposent d'un Plan d'Assurance Qualité permettant de s'assurer de l'ensemble des contrôles des matières premières, ainsi que de la répétabilité des caractéristiques physico-chimique du ciment.

2.8.2.2. Plan d'Assurance Qualité de la centrale de béton

Les sites de production du béton prêt à l'emploi disposeront d'un Plan d'Assurance Qualité permettant de s'assurer de la qualité des matières premières, ainsi que de la qualité du béton confectionné.

2.8.2.3. Plan d'Assurance Qualité Gros-Œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers est identique à celui des ouvrages en béton à base de ciment Portland, et ne nécessite pas de contrôles additionnels autre que ceux nécessaires à la réalisation des ouvrages en béton armé.

Le Plan d'Assurance Qualité de l'entreprise de gros-œuvre devra intégrer les contrôles et leurs fréquences associées relatifs à la réalisation d'ouvrage en béton armé.

2.9. Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES

La gamme de ciments H-UKR fait l'objet d'un inventaire de cycle de vie (ICV) disponible sur la base INIES.

Le béton à base de ciment H-UKR fait l'objet de fiches FDES disponibles sur la base INIES. Un configurateur de FDES, certifié INIES, est disponible à l'adresse <https://calculateurco2.ciments-hoffmann.fr/login>.

2.10. Mention des justificatifs

2.10.1. Résultats Expérimentaux

Caractérisation des ciments H-UKR N et N-UKR R

- ETPM-18_0056-D du 28 avril 2023

Caractérisation vis-à-vis du feu

- AL19-253_26080930_HGCT_Béton-HUKR_v5 du 24/10/2022 délivrée par le CSTB.

Caractérisation du fluage

- Rapport d'essai n° EEM 20 26085654-A-1 (fluage-retrait) – Formule n°1 – H-UKR 380
- Rapport d'essai n° EEM 20 26085654-C (fluage-retrait) – Formule n°4 – CEM I

Caractérisation du retrait :

- Rapport d'essai n° HGCT EEM 20 26085703 (retrait gêné)

Caractérisation comportement du béton sous actions sismiques :

- Rapport d'essai n° EEM 20 26083955-B (essais de compression cyclique sur béton H-UKR)
- Rapport d'essai n° EEM 20 26083995-C (essais de contreventement sous chargement cyclique sur murs en béton H-UKR)
- Rapport d'essai n° EEM 19 26083995-A (ancrages HA8 et 25)
- Rapport d'essai n° EEM 21 02965 (essais sismiques sur armatures sur béton H-UKR)

Caractérisation adhérence acier béton

- Rapport d'essai n° EEM 19 26080852-A (adhérence acier béton)

Caractérisation comportement du béton à l'interface de reprise de bétonnage

- Rapport d'essai n° EEM 20 26085033-A (reprise de bétonnage)
- Rapport d'essai n° EEM 21 03565 (reprise de bétonnage complément)
- Rapport d'essai n° EEM 23 16167-1 (reprise de bétonnage)

Caractérisation des fixations

- Rapport d'essai n° EEM 21 03511

Caractérisation des revêtements d'étanchéité

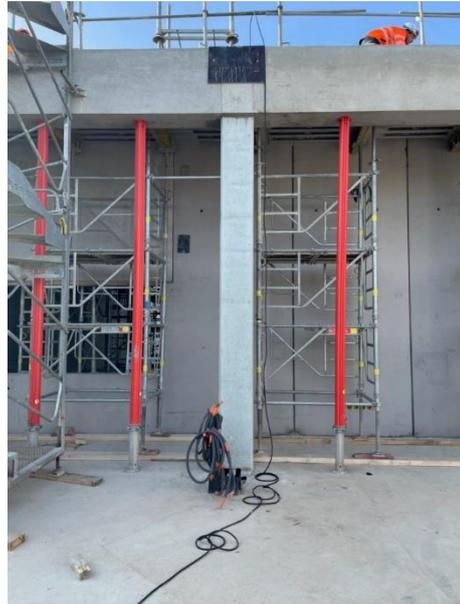
- Rapport d'essai n° DEB-23-19523/B (pelage du support)

2.11. Annexe du Dossier Technique – Exemples de teintes de parements d'ouvrages réalisés en béton H-UKR

Exemple poteau en béton H-UKR



Teinte parement juste après décoffrage



Teinte parement après échange avec l'air ambiant

Exemple voile en béton H-UKR



Teinte parement début de décoffrage



Teinte parement fin de décoffrage

Extrait du document « 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) » :

- Une coloration vert-bleu temporaire est observée sur les bétons contenant du laitier sous forme de ciment CEM III ou CEM I + addition, et ce, quel que soit le mode de mise en œuvre (BPE, préfabrication, gros œuvre, ...)
- 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.