

# APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3237\_V2

*ATEx de cas a*

**Validité du 19/07/2023 au 19/07/2025**



---

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 Bretauillère - Chaillé-sous-les-Ormeaux, 85 310 RIVES DES L'YON

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3237\_V2

*Note Liminaire* : Cette Appréciation porte sur le procédé « H-UKR – Fondations superficielles » pour la réalisation d'ouvrages de fondations superficielles & radiers coulés sur place avec du béton confectionné à partir de ciment H-UKR N ou H-UKR R, ciments « bas carbone » innovants à faible empreinte environnementale.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 12/10/2022, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- demandeur : Société HOFFMANN GREEN CEMENT TECHNOLOGIES,
- technique objet de l'expérimentation : Béton prêt à l'emploi à base de ciment H-UKR N (à prise normal) ou H-UKR R (à prise rapide) pour la réalisation d'ouvrages de fondations superficielles & radiers coulés sur place.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3237\_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 ultérieure de l'ensemble des recommandations formulées au §4.**

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 et sécurité des intervenants

Le béton à base de ciments 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 DTU 13.1 ne lui sont donc pas directement applicables. Une approche expérimentale a été adoptée pour caractériser le béton à base de ciments 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 ciments 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 fluage est de l'ordre de trois fois supérieur à celui d'un béton traditionnel. Le coefficient de fluage d'un béton traditionnel a donc été multiplié, pour le calcul, par trois pour le béton H-UKR ;
- Du fait du comportement du béton H-UKR par rapport aux phénomènes de fluage et de retrait, le calcul des déformations des fondations et radiers devra être systématiquement réalisé suivant les hypothèses du projet.

Compte tenu du domaine d'emploi en fondations superficielles et radiers tel que décrit au §2.2.2 du Dossier Technique, l'incidence et le risque de désordre lié à un retrait important du béton à base de ciments H-UKR N ou H-UKR R est négligeable moyennant le respect des recommandations du §4 ci-après.

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

La mise en œuvre du béton à base de ciments 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.

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3237\_V2

### 1.2 Sécurité en cas d'incendie

Compte tenu de l'usage de fondations superficielles et radiers en béton armé, la sécurité en cas d'incendie est assurée.

### 2°) Faisabilité

#### 2.1 Production

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

Les formules de béton à base de ciments H-UKR N ou H-UKR R ont été adaptées à l'usage en fondations superficielles et radiers et sont dénommées :

- H-UKR 200+150 C16 : Béton de rattrapage (gros béton) / Béton de propreté ;
- H-UKR 320+60 C30 : Toutes applications sauf radiers et longrines ;
- H-UKR 350 C35 : Toutes applications sauf radiers et longrines ;
- H-UKR 380 C40 U.b : Toutes applications.

Les classes de résistance visées et garanties sont :

- C16/20 pour la formulation H-UKR 200+150 C16 ;
- C30/37 pour la formulation H-UKR 32+60 C30 ;
- C35/45 pour la formulation H-UKR 350 C35 ;
- C40/50 pour la formulation H-UKR 380 C40 U.b.

#### 2.2 Mise en œuvre

La mise en œuvre des bétons à base de ciments H-UKR N ou H-UKR R, pour la réalisation de fondations superficielles et radiers coulés en place, est similaire à celle d'un béton traditionnel, et ne nécessite pas de contrôles additionnels.

Seule est exigée la réalisation des essais initiaux et de convenance pour les formulations qui doivent être effectués pour toute nouvelle centrale, Hoffman Green Cement Technologies devant porter assistance et analyser ces résultats.

### 3°) Risques de désordres

Les exigences de fabrication et de mise en œuvre, ainsi que les résultats d'essais fournis permettent de considérer les risques de désordres comme « maîtrisés » à ce stade de conception du projet.

### 4°) Recommandations

- L'utilisation des granulats recyclés est exclue et les granulats doivent être non réactifs à l'alcali réaction ;
- En l'absence de justification de compatibilité de couche d'usure et de résistance à l'usure, les couches d'usure sont exclues ;
- La fabrication du béton sur site est exclue. Compte tenu des formulations, seules des centrales BPE-NF préalablement accompagnées par Hoffman Green Cement Technologies ont la capacité de maîtriser la constance de fabrication et les contrôles associés ;
- Pour les massifs sous éoliennes, la contrainte de compression du béton sous combinaison ELS à la fatigue doit être limitée à la valeur minimale obtenue entre le calcul Eurocode 2 et la valeur 0,40 fcd ;
- Pour les radiers, la distance entre joints est limitée à 70% de la distance normative ;
- L'utilisation de superplastifiant est exclue pour les maisons individuelles ;
- L'utilisation de plastifiant est possible sous réserve de réalisation d'essais préalablement ;
- Les milieux sensibles à la biotétérioration (H<sub>2</sub>S) sont exclus du domaine d'emploi ;
- La classes d'exposition XA3 est exclue pour les milieux acides et les eaux pures ;

Le présent document comporte 6 pages dont une page d'annexe ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

## Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3237\_V2

- La classes d'exposition XA3 est admise uniquement vis-à-vis des attaques sulfatiques si les granulats justifient d'une absorption inférieure à 1% ;
- Compte tenu du retrait plus important du bétons, une ouverture des joints plus importante se produira et impliquera une fréquence de maintenance des joints plus élevée ;
- Préalablement à la mise en œuvre de revêtement, des essais d'adhérence doivent être effectués, et les produits de cure doivent être éliminés.

### EN CONCLUSION

En conclusion, et sous réserve du respect des recommandations figurant au paragraphe 4 ci-avant, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée ;
- La faisabilité est avérée ;
- Les risques de désordres sont considérés comme limités.

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

Ménad CHENAF

## ANNEXE 1

### FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

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

#### Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Le procédé H-UKR – Fondations superficielles faisant l'objet de la demande d'ATEX de cas a concernent les ouvrages de fondations superficielles & radiers coulés sur place avec du béton confectionné à partir de ciment H-UKR N ou H-UKR R, ciments « bas carbone » innovants à faible empreinte environnementale.

#### Spécificité des ciments H-UKR N et H-UKR R :

- Les ciments H-UKR N et H-UKR R, composés de laitier de hauts fourneaux, d'activateurs carbo-silicates et d'un mélange de filler calcaire, sont produits par la société HGCT ;
- Les ciments 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 : classes d'expositions visées X0, XC1, XC2, XC3, XC4 & XF1, XD1, XD2, XD3 & XF2, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2 et XA3<sup>(2)</sup> ;
- 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.

Le domaine d'emploi du procédé « H-UKR - Fondations superficielles » est destiné à la réalisation des fondations superficielles et radiers en béton non armé ou armé destinés aux constructions neuves ou existantes (au sens de la NF DTU 13.1) :

- Bâtiment à usage d'habitation de 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> famille ;
- Etablissement recevant du public, de 1<sup>ère</sup> à 5<sup>ème</sup> catégorie ;
- Bâtiments relevant du Code du Travail ;
- Ouvrages hors bâtiments cités ci-avant (massifs d'éoliennes, panneaux photovoltaïques, piscines, etc.).

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

Les éléments en béton H-UKR visés sont les éléments en béton armé ou non armé tels que : semelles filantes ou isolées, casque sur fondations semi-profonde ou profonde, radier, chaînage et longrines, etc. coulés en place sur chantier.

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

Le béton de propreté ou de rattrapage type gros béton est visé.

La réalisation des ouvrages de type dalles portées en plancher bas du rez-de-chaussée est visée par l'ATEX a « H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers » en tenant compte de la classe d'exposition des ouvrages considérés.

Les fondations semi-profondes ou profondes (micropieux, pieux, etc.) ne sont pas visées.

Les radiers étanches au sens du Fascicule 74 et/ou de la norme NF DTU 14.1 ne sont pas visés.

Les ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles 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, et de la NF EN 1998-5 et de son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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 & 2.3.1.7 Comportement du béton H-UKR sous actions sismiques.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEX 3238\_V1.

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

Le présent document comporte 6 pages dont une page d'annexe ; il ne peut en être fait état qu'in extenso.

## **ANNEXE 2**

Dossier Technique du demandeur

Ce document comporte un dossier technique principal (17 pages joint à ce PV) + 30 annexes (non jointes).

Procédé de « H-UKR - Fondations superficielles »

« DT-ATEx\_a - H-UKR - Fondations superficielles - DT demandeur V2 »

Daté du 27/07/2023

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 3237\_V2

Fin du rapport

# DOSSIER TECHNIQUE

## H-UKR - Fondations superficielles

**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 27/07/2023

## 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 .....	4
2.3.	Disposition de conception.....	6
2.3.1.	Généralités.....	6
2.3.2.	Principes de dimensionnement des semelles filantes ou isolées .....	9
2.3.3.	Principes de dimensionnement des casques de micropieux / pieux.....	10
2.3.4.	Principes de dimensionnement des radiers.....	11
2.3.5.	Principes de dimensionnement des chaînages ou longrines .....	12
2.3.6.	Dimensionnement des fixations.....	13
2.3.7.	Vérification du comportement à la fatigue .....	13
2.4.	Disposition de mise en œuvre .....	14
2.4.1.	Principe de mise en œuvre .....	14
2.4.2.	Revêtement de surface .....	14
2.5.	Maintien en service du produit .....	15
2.5.1.	Entretien courant .....	15
2.5.2.	Traitement des désordres (épaufrures, éclats, etc.) .....	15
2.6.	Traitement en fin de vie .....	15
2.7.	Assistance technique .....	15
2.8.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	15
2.8.1.	Principe de fabrication.....	15
2.8.2.	Plans d'Assurance Qualité.....	15
2.9.	Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES .....	15
2.10.	Mention des justificatifs .....	16
2.10.1.	Résultats Expérimentaux .....	16
2.11.	Annexe du Dossier Technique – Exemples de teintes de parements d'ouvrages réalisés en béton H-UKR.....	17

## 2. Dossier Technique

---

### 2.1. Mode de commercialisation

---

#### 2.1.1. Coordonnées

Le procédé H-UKR – Fondations superficielles est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : Hoffmann Green Cement Technologies  
6 la Bretauière - 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 – Fondations superficielles faisant l'objet de la demande d'ATEX de cas a concernent les ouvrages de fondations superficielles & radiers coulés sur place 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 – Fondations superficielles sont réalisés en béton H-UKR coulés sur place par l'entreprise de gros-œuvre de l'opération.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles est réalisé par un Bureau d'Etude Structure ou toute personne possédant les compétences de dimensionnement suivant les Eurocodes, notamment EC2, EC7 et EC8 et des caractéristiques mécaniques du sol du projet déterminé à l'aide d'une étude géotechnique.

---

### 2.2. Description

---

#### 2.2.1. Principe

Les ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles sont des éléments en béton armé ou non armé coulés sur 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 livré en vrac ou conditionné aux centrales de béton prêt à l'emploi pour être utilisé 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 couvert 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+A2/CN. Toutefois, la production de béton est soumise aux référentiels décrits dans la norme NF EN 206+A2/CN. Toutefois, la production de béton est soumise aux référentiels décrits dans la norme NF EN 206+A2/CN.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles est réalisé par un Bureau d'Etude Structure ou toute personne possédant les compétences de dimensionnement suivant les Eurocodes, notamment EC2, EC7 et EC8 et des caractéristiques mécaniques du sol du projet déterminé à l'aide d'une étude géotechnique.

Les parements des éléments coulés en place 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 – Fondations superficielles est destiné à la réalisation d'ouvrages de fondations superficielles en béton armé ou non armé, et destinés aux constructions neuves ou existantes, avec ou sans niveau en infrastructure :

- Bâtiment à usage d'habitation de 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> famille,
- Etablissement recevant du public, de 1<sup>ère</sup> à 5<sup>ème</sup> catégorie,
- Bâtiments relevant du Code du Travail,
- Ouvrages hors bâtiments cités ci-avant (massifs d'éoliennes, panneaux photovoltaïques, piscines, etc.)

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

Les éléments en béton H-UKR visés sont les éléments en béton armé ou non armé tels que : semelles filantes ou isolées, casque sur fondations semi-profonde ou profonde, radier, chaînage et longrines, etc. coulés en place sur chantier.

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 uniquement).

Le béton de propreté ou de rattrapage type gros béton est visé.

La réalisation des ouvrages de type dalles portées en plancher bas du rez-de-chaussée est visée par l'ATEX a H-UKR - Voiles, poutre-voiles, poteaux, poutres & planchers en tenant compte de la classe d'exposition des ouvrages considérés.

Les fondations semi-profondes ou profondes (micropieux, pieux, etc.) ne sont pas visées.

Les radiers étanches au sens du Fascicule 74 et/ou de la NF DTU 14.1 ne sont pas visés.

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

### 2.2.2.2. Sismicité

Les ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles 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, et de la NF EN 1998-5 et de son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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 & 2.3.1.7 Comportement du béton H-UKR sous actions sismiques.

## 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

Le 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 ETPM-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.

**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 – Fondations superficielles 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 – Fondations superficielles 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 suivant 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 1997-1 et son Annexe nationale NF EN 1997-1/NA, ainsi que la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA ainsi que la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/NA sont applicables pour le dimensionnement des ouvrages coulés en place en béton à base de ciment H-UKR.

#### 2.3.1.2. Formulation du béton

Plusieurs formulations de référence en béton H-UKR ont fait l'objet de qualification vis-à-vis de la durabilité et sont référencées comme suivant :

- H-UKR 320+60 C30
- H-UKR 350 C35
- H-UKR 380 C40 U.b

	Applications
<b>H-UKR 200+150 C16</b>	Béton de rattrapage (gros béton) Béton de propreté
<b>H-UKR 320+60 C30</b>	Toutes applications sauf radiers et longrines
<b>H-UKR 350 C35</b>	Toutes applications sauf radiers et longrines
<b>H-UKR 380 C40 U.b</b>	Toutes applications

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

Formulation	Dosage ciment (+ filler)	X0	XC				XD				XS				XA		
			XC1	XC2	XC3	XC4 /XF1	XD1	XD2	XD3f /XF2	XD3tf	XS1	XS2	XS3e	XS3m	XA1	XA2	XA3 <sup>2)</sup>
H-UKR 200+150 C16	200+150 kg/m <sup>3</sup>	✓	x	x	x	x	✓	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
H-UKR 320+60 C30	320+60 kg/m <sup>3</sup>	✓	✓	✓	1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
H-UKR 350 C35	350 kg/m <sup>3</sup>	✓	✓	✓	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
H-UKR 380 C40 U.b	380 kg/m <sup>3</sup>	✓	✓	✓	1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

<sup>1)</sup> 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

<sup>2)</sup> La classe d'exposition XA3 est admise pour les milieux contenant des sulfates et pour des bétons H-UKR formulés avec des granulats ayant un taux d'absorption d'eau inférieur à 1%.

#### 2.3.1.3. Caractéristiques mécaniques

Les classes de résistance visées et garanties sont :

- C16/20 pour la formulation H-UKR 200+150 C16
- C30/37 pour la formulation H-UKR 32+60 C30
- C35/45 pour la formulation H-UKR 350 C35
- C40/50 pour la formulation H-UKR 380 C40 U.b

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

	<b>H-UKR 200+150 C16</b>	<b>H-UKR 320+60 C30</b>	<b>H-UKR 350 C35</b>	<b>H-UKR 380 C40 U.b</b>
$f_{ck}$ (MPa)	16	30	35	40
$f_{ck,cube}$ (MPa)	20	37	45	50
$f_{ctk\ 0,05}$ (MPa)	1,3	2,0	2,2	2,5
$E_{cm}$ (GPa)	-	32	30,4	32

#### 2.3.1.4. Fluage

Le fluage sera pris en compte dans le dimensionnement des ouvrages de types radiers et longrine.

Le fluage n'est pas un critère dimensionnant pour les ouvrages de types fondations superficielles (filante et/ou isolée), casque de procédé H-UKR – Fondations superficielles, et ne sera pas pris en compte dans le dimensionnement hormis pour les radiers et longrines.

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 :

	<b>H-UKR 380 C40 U.b</b>
$k_{creep}$	3

#### 2.3.1.5. 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 :

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

#### 2.3.1.6. Durabilité et enrobage des armatures

Les minoration 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.

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.

Formulations	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/XS3e	XS3m	XA1	XA2	XA3
<b>H-UKR 320+60 C30</b>	10	10	20	30	30	35	40	45	30	40	50	
<b>H-UKR 350 C35</b>	10	15	25	Non applicable	30	35	40	45	30	40	50	
<b>H-UKR 380 C40 U.b</b>	10	10	20	30	30	35	40	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 minoration 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 ainsi que de la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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.

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 vérification de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures dans le béton H-UKR seront réalisées 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.

Dans le cas d'exigence parasismiques, les ancrages d'armatures seront majorés de 30 % par rapport aux longueurs d'ancrage déterminées suivant l'EC2 et l'EC8 pour les formulations H-UKR 320+60 C30 et H-UKR 350 C35.

Aucune majoration complémentaire n'est à prévoir pour la formulation H-UKR 380 C40 U.b.

	Longueur d'ancrage de calcul		
	H-UKR 320+60 C30	H-UKR 350 C35	H-UKR 380 C40 U.b
Suivant NF EN 1992-1-1 & NF EN 1992-1-1/NA	$l_{bd}$	$l_{bd}$	$l_{bd}$
Suivant NF EN 1998-1 & NF EN 1998-1/NA	<b>1,30</b> × $l_{bd,sis}$	<b>1,30</b> × $l_{bd,sis}$	$l_{bd,sis}$

### 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) :

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

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage et seront déterminés en fonction de cette rugosité, suivant le tableau suivant :

Etat de surface	$c$	$\beta_{H-UKR}$	$c_{H-UKR}$	$\mu_{H-UKR} = \mu$
Lisse (brut)	0,2	0,6	<b>0,12</b>	<b>0,6</b>
Rugueux	0,4	0,3	<b>0,12</b>	<b>0,7</b>

Avec  $c_{H-UKR} = \beta_{H-UKR} \cdot c$  et  $\mu_{H-UKR} = \mu$

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 semelles filantes ou isolées

### 2.3.2.1. Généralités

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

- Caractéristiques mécaniques du béton
  - Résistance à la compression
  - Résistance à la traction
  - Module d'élasticité

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

### 2.3.2.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'une semelle filante ou isolée en béton H-UKR est identique à celui d'une semelle filante ou isolée 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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.

### 2.3.2.3. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'une semelle filante ou isolée en béton H-UKR est identique à celui d'une semelle filante ou isolée 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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'une semelle filante ou isolée en béton H-UKR est identique à celui d'une semelle filante ou isolée 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 ainsi que dans la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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 semelles filantes ou isolées devront respecter notamment les critères de l'article 5.8 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

### 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) :

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

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage et seront déterminés en fonction de cette rugosité, suivant le tableau suivant :

Etat de surface	$c$	$\beta_{H-UKR}$	$c_{H-UKR}$	$\mu_{H-UKR} = \mu$
Lisse (brut)	0,2	0,6	<b>0,12</b>	<b>0,6</b>
Rugueux	0,4	0,3	<b>0,12</b>	<b>0,7</b>

Avec  $c_{H-UKR} = \beta_{H-UKR} \cdot c$  et  $\mu_{H-UKR} = \mu$

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 casques de micropieux / pieux

#### 2.3.3.1. Généralités

Le principe de dimensionnement d'un casque de micropieux / pieux en béton H-UKR est le même que pour un casque de micropieux / pieux 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

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

#### 2.3.3.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un casque de micropieux / pieux en béton H-UKR est identique à celui d'un casque de micropieux / pieux 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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.

#### 2.3.3.1. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'un casque de micropieux / pieux en béton H-UKR est identique à celui d'un casque de micropieux / pieux 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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 casque de micropieux / pieux en béton H-UKR est identique à celui d'un casque de micropieux / pieux 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 ainsi que dans la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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 casque de micropieux / pieux devront respecter notamment les critères de l'article 5.8 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

#### 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) :

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

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage et seront déterminés en fonction de cette rugosité, suivant le tableau suivant :

Etat de surface	$c$	$\beta_{H-UKR}$	$c_{H-UKR}$	$\mu_{H-UKR} = \mu$
Lisse (brut)	0,2	0,6	<b>0,12</b>	<b>0,6</b>
Rugueux	0,4	0,3	<b>0,12</b>	<b>0,7</b>

Avec  $c_{H-UKR} = \beta_{H-UKR} \cdot c$  et  $\mu_{H-UKR} = \mu$

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 radiers

### 2.3.4.1. Généralités

Les radiers seront réalisés uniquement à partir de la formulation béton H-UKR 380 C40 U.b.

Le principe de dimensionnement d'un radier en béton H-UKR est le même que pour un radier 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 :  $\varphi_{H-UKR}(\infty, t_0) = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$

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

### 2.3.4.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un radier en béton H-UKR est identique à celui d'un radier 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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'un radier en béton H-UKR est identique à celui d'un radier 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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.

### 2.3.4.4. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'un radier en béton H-UKR est identique à celui d'un radier 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 ainsi que dans la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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.

### 2.3.4.5. 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 :

$$v_{Rd1} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \cdot v \cdot f_{ctd}$$

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

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

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage et seront déterminés en fonction de cette rugosité, suivant le tableau suivant :

Etat de surface	$c$	$\beta_{H-UKR}$	$c_{H-UKR}$	$\mu_{H-UKR} = \mu$
Lisse (brut)	0,2	0,6	<b>0,12</b>	<b>0,6</b>
Rugueux	0,4	0,3	<b>0,12</b>	<b>0,7</b>

Avec  $c_{H-UKR} = \beta_{H-UKR} \cdot c$  et  $\mu_{H-UKR} = \mu$

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).

### 2.3.4.6. Effet du retrait

Afin de tenir compte d'un retrait du béton H-UKR plus important que du béton à base de ciment Portland, il est proposé de limiter la longueur maximale de coulage d'un radier à 40 m en l'absence de calculs spécifiques.

Dans le cas de radier de longueur supérieure à 40 m, il conviendra de réaliser une bande de clavage de largeur d'un mètre environ entre les deux zones du radier.

## 2.3.5. Principes de dimensionnement des chaînages ou longrines

### 2.3.5.1. Généralités

Les longrines soumises à un critère de flèche seront réalisées uniquement à partir de la formulation béton H-UKR 380 C40 U.b. Le principe de dimensionnement d'un chaînage ou longrine en béton H-UKR est le même que pour un chaînage ou longrine 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.

### 2.3.5.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'un chaînage ou longrine en béton H-UKR est identique à celui d'un chaînage ou longrine 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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 chaînage ou longrine en béton H-UKR est identique à celui d'un chaînage ou longrine 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, dans la Section 6 de la NF EN 1997-1 et son Annexe Nationale NF EN 1997-1/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, les flèches totale et nuisible des longrines peuvent être dimensionnantes et nécessitent une vérification systématique.

#### 2.3.5.3.1. Vérification de la flèche totale des longrines

##### 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 de la poutre est susceptible de mettre en cause le bon comportement d'éléments dit fragiles tels que des cloisons ou des revêtements de sols, il est nécessaire de vérifier la flèche nuisible de celle-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  $\Delta f_t$ , qui est susceptible de mettre en cause le bon comportement des cloisons ou des revêtements de sols, 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 chaînage ou longrine en béton H-UKR est identique à celui d'un chaînage ou longrine 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 ainsi que dans la NF EN 1998-5 et son Annexe Nationale NF EN 1998-5/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 chaînage ou longrine devront respecter notamment les critères de l'article 5.8 de la NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

### 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) :

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

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage et seront déterminés en fonction de cette rugosité, suivant le tableau suivant :

Etat de surface	$c$	$\beta_{H-UKR}$	$c_{H-UKR}$	$\mu_{H-UKR} = \mu$
Lisse (brut)	0,2	0,6	<b>0,12</b>	<b>0,6</b>
Rugueux	0,4	0,3	<b>0,12</b>	<b>0,7</b>

Avec  $c_{H-UKR} = \beta_{H-UKR} \cdot c$  et  $\mu_{H-UKR} = \mu$

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).

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).

### 2.3.6. 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.

### 2.3.7. Vérification du comportement à la fatigue

La vérification du comportement à la fatigue sera justifiée en appliquant la formule (6.77) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Article 6.8.7 (2) avec  $f_{cd,fat}$  déterminé suivant la formule (6.76) de la norme NF EN 1992-1-1.

Le coefficient  $\beta_{cc}$  sera calculé selon la formule (3.2) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 3, article 3.1.2(6) en prenant  $s = 0,20$ .

Dans le cas des éléments soumis à des sollicitations d'effort tranchant, la formule (6.77) s'applique conformément à la norme NF EN 1992-1-1, Section 6, Article 6.8.7 (3). Il convient alors de réduire la résistance à la fatigue du béton  $f_{cd,fat}$  en appliquant le coefficient de réduction de la résistance  $v$  donné dans l'Article 6.2.2 (6) de la norme NF EN 1992-1-1, Section 6.

Pour les massifs sous éoliennes, la contrainte de compression du béton sous combinaison ELU à la fatigue sera limitée à la valeur minimale obtenue entre le calcul de la norme NF EN 1992-1-1 et la valeur  $0,40 \cdot f_{cd}$ .

---

## **2.4. Disposition de mise en œuvre**

---

### **2.4.1. Principe de mise en œuvre**

Le coulage des ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles 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 – Fondations superficielles, 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 – Fondations superficielles devra tenir compte de la flèche nuisible conformément aux § 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 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.

##### **2.4.2.3.1. Autre revêtement de sol**

La mise en œuvre des autres types de revêtements de sol devra être conforme au DTU respectifs des produits mis en œuvre.

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

##### **2.4.2.3.2. Revêtement d'étanchéité – anti capillarité**

Le traitement d'étanchéité au niveau des soubassements en béton H-UKR sera réalisé conformément à la NF DTU 20.1 (P10-202) : Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs (juillet 2020).

Dans le cas de fixations mécaniques, les fixations devront faire l'objet d'essais de convenance conformément au § 2.3.6 Dimensionnement des fixations.

---

## 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 (épaufures, 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 – Fondations superficielles, 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 – Fondations superficielles pourront faire l'objet du même traitement que les éléments en béton à base de ciment Portland avec une dépose, concassage et séparation des armatures et du béton pour réemploi après retraitement.

---

## 2.7. Assistance technique

---

Une assistance technique est apportée par le demandeur Hoffmann Green Cement Technologies dans le cas où un besoin serait formulé :

- à la maîtrise d'œuvre ou aux bureaux d'études d'exécution pour le dimensionnement des ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles,
- à la centrale de béton prêt à l'emploi pour la mise au point des formulations béton,
- à l'entreprise de gros-œuvre pour la mise en œuvre sur chantier du béton H-UKR dans le cadre du coulage des ouvrages du procédé H-UKR – Fondations superficielles.

---

## 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.

La fabrication sur site du béton base de ciment H-UKR est exclue.

### 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 N-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 – Fondations superficielles 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 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)

Caractérisation des fixations

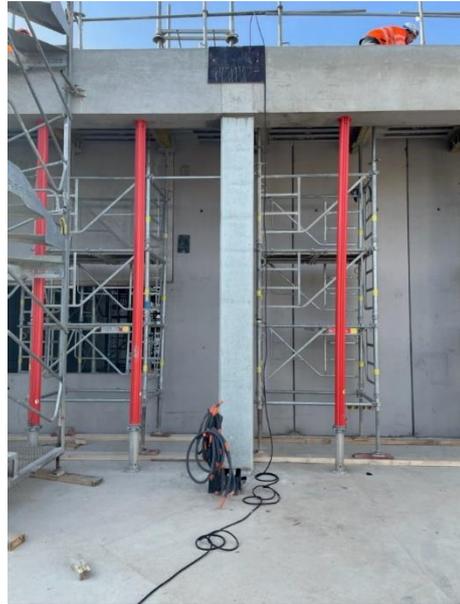
- Rapport d'essai n° EEM 21 03511

## 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 coulage/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 – Verdissage 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.