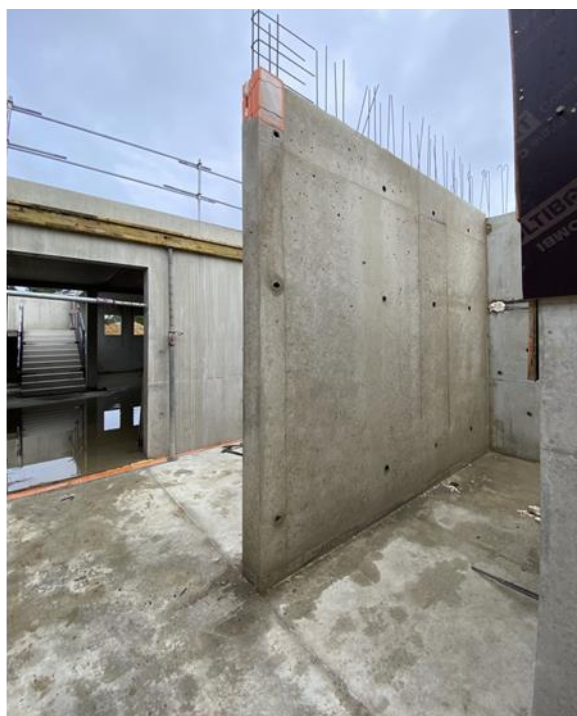


APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3510_V1

ATEx de cas a

Validité du 29/07/2025 au 29/07/2027



Copyright : Société MATERRUP

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 :

Materrup

440 rue des Estagnots

40230 St Geours-de-Maremne

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – Siret 775 688 229 00027 – www.cstb.fr

Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3510_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de « Voiles en Béton Materrup à partir de MCC1® ».

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 29/07/2025, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : Société MATERRUP
- Technique objet de l'expérimentation : Le procédé concerne les voiles coulés sur place avec du béton formulé à partir de ciment d'argile MCC1®.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3510_V1 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 ne vaut que pour une durée limitée au **29 07 2027**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations et attendus formulés aux §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/ou sécurité des équipements

Le béton Materrup MCC1® à base de ciment d'argile MCC1® 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. Pour caractériser le béton à base de ciment d'argile MCC1®, une approche expérimentale a été adoptée. Il en résulte les conclusions suivantes :

- Le béton Materrup MCC1® à base de ciment d'argile MCC1® présente des résistances mécaniques comparables à celles d'un béton traditionnel ;
- La contrainte d'adhérence acier-béton d'un béton Materrup MCC1® à base de ciment d'argile MCC1® est comparable à celle d'un béton traditionnel ;
- Le retrait et le fluage du béton MCC1® à base de ciment d'argile MCC1® est comparable à celui du béton traditionnel, à formulation identique ;
- Les résultats des essais de reprise de bétonnage mettant en jeu le béton Materrup 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.
- L'enrobage, $c_{min,dur}$ à considérer pour une classe d'exposition donnée est précisé dans le dossier technique et aucune autre minoration n'est permise pour la détermination des enrobages $c_{min,dur}$.

La stabilité des ouvrages visée par la présente Appréciation est ainsi assurée, moyennant un dimensionnement correct.

1.2 – Sécurité des intervenants

La mise en œuvre du béton Materrup MCC1® à base de ciment d'argile MCC1® 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.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Le béton à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire n° AL25-395-00231031 pour le coulage en place des murs. L'Appréciation de Laboratoire précise les vérifications à mener afin d'écarter ou non le risque d'écaillage et permet l'utilisation l'Eurocode 2 partie 1-2 pour étudier la stabilité au feu des ouvrages. En l'absence d'appréciation de laboratoire justifiant la résistance au feu du béton Materrup de classes de résistance C30/37 et C35/45, l'emploi de ces bétons est limité à des ouvrages ne faisant l'objet d'aucune exigence réglementaire en termes de stabilité au feu.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3510_V1

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Les résultats d'essais effectués sur le matériau 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 Materrup.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Le ciment d'argile MCC1® est produit par Materrup. Le béton à base du ciment MCC1 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 ciment MCC1, pour la réalisation des murs, est similaire à celle d'un béton traditionnel, et ne nécessite pas de contrôles additionnels.

2.3 – Assistance technique

Dans le cas de la première production de béton à base de Ciment d'argile MCC1® d'une nouvelle centrale à béton, une assistance technique est apportée par Materrup.

3°) Risques de désordres

Moyennant le respect de la recommandation du §4 ci-après, les risques de désordres liés au procédé sont minimes.

4°) Recommandations

Les recommandations suivantes devront être respectées :

- Sauf pour les adjuvants cités dans le dossier technique, des essais de compatibilité devront faire l'objet d'une validation de compatibilité par MATERRUP, ainsi qu'un essai de coulage à échelle réelle sur une hauteur d'étage ;
- Les voiles des piscines et réservoirs sont exclus du domaine d'emploi accepté.

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

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

Conclusion FAVORABLE

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

Champs sur Marne,

Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3510_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société Materrup
440 rue des Estagnots
40230 St-Geours-de-Mareme

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Le procédé MCC1® voiles faisant l'objet de la demande d'ATEx de cas A, concerne les murs coulés sur place avec du béton Materrup MCC1® formulé à partir de Ciment d'argile MCC1®, ciment « bas carbone » à base d'argile crue, présentant une faible empreinte environnementale.

Le Ciment d'argile MCC1® a fait l'objet d'une Évaluation Technique de Produits et de Matériaux – ETPM-22/0077. Cette ETPM est disponible sur le site internet du CSTB

Le domaine d'emploi du procédé MCC1® Voiles est destiné à la réalisation de tous types de voiles en béton non armé ou armé coulé sur place, destinés aux constructions neuves ou existantes. Les constructions visées sont limitées à R+6.

Les classes d'expositions visées sont X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XS2, XD1, XD2, XF1, XF3, XA1, XA2 et une durée d'utilisation de 50 ans.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3510_V1 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.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 19 pages.

Procédé de « Voiles en Béton Materrup à partir de MCC1® »

« Dossier technique établi par le demandeur »

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

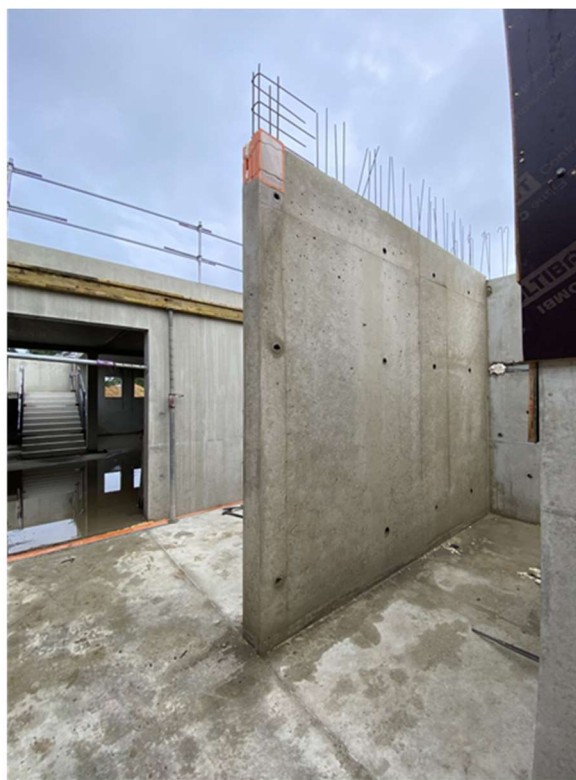
Datée du 29 juillet 2025

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3510_V1.

Fin du rapport

Dossier Technique Voiles en Béton Materrup à partir de MCC1®

Version du 27/08/2025 (incrémentée suite retours comité du 29/07/2025)



Sommaire

1	Mode de commercialisation.....	4
1.1	Coordonnées	4
1.2	Rôle des intervenants.....	4
2	Domaine d'emploi	4
2.1	Domaine d'emploi accepté.....	4
2.2	Sécurité en cas d'incendie	5
2.3	Sismicité.....	6
2.4	Matériaux, produits et composants	7
2.4.1	Ciment d'argile MCC1®	7
2.4.2	Filler	7
2.4.3	Agrégats.....	7
2.4.4	Adjuvants.....	8
2.4.5	Eau de gâchage.....	8
2.4.6	Utilisation de fibres polypropylène	8
2.4.7	Produit de cure	9
2.4.8	Armatures.....	9
3	Disposition de conception	10
3.1	Points généraux.....	10
3.1.1	Application DTU & Eurocode.....	10
3.1.2	Formulation du béton	10
3.1.3	Caractéristiques mécaniques	11
3.1.4	Fluage	12
3.1.5	Retrait.....	12
3.1.6	Durabilité et enrobage des armatures	12
3.1.7	Détermination de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures	13
3.1.8	Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage	13
3.2	Principes de dimensionnement de voiles en béton armé.....	13
3.2.1	Généralités	13
3.2.2	2.3.2.2. Dimensionnement à l'ELU	14
3.2.3	2.3.2.3. Dimensionnement à l'ELS.....	14
3.2.4	2.3.2.4. Dimensionnement à l'ELUA.....	14
3.2.5	2.3.2.5. Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage	14
4	Disposition de mise en œuvre	15
4.1	Principe de mise en œuvre.....	15
4.2	Cure de la face supérieure des Voiles et des linteaux.....	15
4.3	Tolérances d'exécution	15
4.4	Revêtement de surface	15
4.4.1	Généralités	15
4.4.2	Autres revêtements.....	16
5	Maintien en service du produit	16
5.1	Entretien courant	16

5.2	Traitement des désordres (épaufrures, éclats, etc.)	16
6	Traitement en fin de vie	16
7	Assistance technique.....	16
8	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication	17
8.1	Principe de fabrication	17
8.2	Plans d'Assurance Qualité	17
8.2.1	Plan d'Assurance Qualité de production du ciment MCC1®	17
8.2.2	Plan d'Assurance Qualité de la centrale de béton	17
8.2.3	Plan d'Assurance Qualité Gros-Œuvre	17
8.3	Désignations des bétons à la livraison (bons de livraison) :.....	18
9	Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES.....	18
10	Mention des justificatifs.....	18

1 Mode de commercialisation

1.1 Coordonnées

Le procédé Ciment d'argile MCC1® pour béton Materrup MCC1® est commercialisé par le titulaire.

Titulaire :

Materrup
440 rue des Estagnots
40 230 St-Geours-de-Maremne

Usine de production ciment : 440 rue des Estagnots 40 230 St-Geours-de-Maremne

1.2 Rôle des intervenants

Le procédé MCC1® Voiles faisant l'objet de la demande d'ATEx de cas A, concerne les voiles coulés sur place avec du béton confectionné à partir de Ciment d'argile MCC1®, ciment « bas carbone » innovant à base d'argile crue non calcinée, présentant une faible empreinte environnementale.

Le Ciment d'argile MCC1® est produit par la société Materrup – demandeur de l'ATEx.

Le béton Materrup MCC1® est produit à partir de Ciment d'argile MCC1® 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 MCC1® Voiles sont réalisés en béton Materrup MCC1® coulé sur place par une entreprise de gros-œuvre.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé MCC1® Voiles est réalisé par un Bureau d'Etude Structure ou toute personne possédant les compétences de dimensionnement suivant les Eurocodes, notamment EC2, EC8 et la NF DTU 21 - Exécution des ouvrages en béton et DTU 23.1 - Murs en béton banché y compris leurs annexes.

2 Domaine d'emploi

2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi du procédé MCC1® Voiles est destiné à la réalisation de tous types de voiles en béton armé ou non destinés aux constructions neuves ou existantes (au sens de la NF DTU 21 et DTU23.1) :

- Maison individuelle
- Maison individuelle en bande
- Collectifs
- ERP
- Voiles de séparation d'atelier, d'usines, de soutènement etc.

Les constructions visées sont limitées à R+6. Des parties d'IMH et d'IGH sont visés sous réserve de procéder aux vérifications usuelles (ELU, ELS, ELUA sismique, ELUA incendie, etc.).

Les éléments en béton Materrup MCC1® visés sont les voiles, armés ou non armés, coulés en place sur chantier.



Les classes d'expositions visées sont X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XS1, XS2, XD1, XD2, XD3f, XF1, XF3, XA1, XA2 et une durée d'utilisation de 50 ans [1].

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

2.2 Sécurité en cas d'incendie

Le comportement au feu des bétons Materrup MCC1® voiles a été évalué dans l'**Appréciation de Laboratoire AL25-395-00231031 [9]** délivrée par le CSTB. Cette appréciation de laboratoire concerne uniquement les bétons MCC1® de classe de résistance C25/30.

En l'état actuel des essais réalisés et de l'APL, **les bétons MCC1® de classe de résistance C30/37 et C35/45 sont exclus de tout usage présentant une exigence de résistance au feu.**

Conformément aux dispositions prévues par l'Appréciation de Laboratoire le dimensionnement du procédé béton Materrup MCC1® voiles C25/30 avec 2 kg/m³ de fibres polypropylène sera réalisé à l'aide de la NF EN 1992-1-2 et de son Annexe Nationale NF EN 1992-1-2/NA. En effet, la stabilité au feu REI180 a été démontrée pour le voile en béton fibré et l'utilisation des modèles de l'Eurocode 2 partie 1-2 a été justifiée pour calculer la stabilité au feu ce type de béton fibré à condition de retenir une teneur initiale en eau de 1,5% pour être sécuritaire lors de la phase de calculs thermiques.

La stabilité au feu REI180 peut être extrapolée à d'autres voiles en béton MCC1 C25/30 fibré sans calculs si toutes les conditions suivantes sont vérifiées :

- E/C compris entre 0,5 et 0,55.
- Le type de granulat est calcaire.
- Même dosage en fibres (2 kg/m³) et mêmes fibres que celles mentionnées dans le Tableau 2 de l'APL.
- Chargement inférieur ou égal à 20 tonnes /ml en tête du voile.
- Ferrailage supérieur ou égal à ST25C par face avec enrobage minimal de 30 mm.
- Hauteur inférieure ou égal à 3 m.
- Epaisseur supérieure ou égale à 18 cm.
- Exposition au feu sur une seule face.

Concernant les voiles en béton Materrup MCC1® C25/30 non fibré, la stabilité au feu REI60 a été démontrée uniquement par essai et l'utilisation des modèles de l'Eurocode 2 partie 1-2 n'a pas pu être justifiée pour le cas du béton non fibré.

Cette conclusion sur la stabilité au feu REI60 peut être extrapolée à d'autres voiles en béton MCC1 C25/30 non fibré si toutes les conditions suivantes sont vérifiées :

- E/C compris entre 0,5 et 0,55
- Le type de granulat est calcaire.
- Chargement inférieur ou égal à 20 tonnes /ml en tête du voile
- Ferrailage supérieur ou égal à ST25C par face avec enrobage minimal de 30 mm.
- Hauteur inférieure ou égal à 3 m.
- Epaisseur supérieure ou égale à 18 cm.
- Exposition au feu sur une seule face.

En résumé et pour être parfaitement clair, voici un **tableau récapitulatif des conclusions de l'APL du CSTB :**

La stabilité au feu REI60 peut être extrapolée à d'autres voiles en béton MCC1 C25/30 <u>non fibré</u> si :	La stabilité au feu REI180 peut être extrapolée à d'autres voiles en béton MCC1 C25/30 <u>fibré sans calculs</u> si :	Cette colonne prend en compte les linteaux intégrés dans les voiles L'Eurocode 2 partie 1-2 peut être utilisé pour calculer la stabilité au feu de ce type de béton MCC1 C25/30 <u>fibré</u> si :
-E/C compris entre 0,5 et 0,55 (voir Tableau 1 de l'APL). -Granulat calcaire (voir Tableau 1 de l'APL). -Chargement inférieur ou égal à 20 tonnes /ml en tête du voile. -Ferrailage supérieur ou égal à ST25C par face avec enrobage minimal de 30 mm. -Hauteur inférieure ou égal à 3 m. -Epaisseur supérieure ou égale à 18 cm. -Exposition au feu <u>sur une seule face</u> .	-E/C compris entre 0,5 et 0,55 (voir Tableau 1). - Granulat calcaire (voir Tableau 1 de l'APL). -Même dosage en fibres (2 kg/m3) et mêmes fibres que celles mentionnées dans le Tableau 2 de l'APL. -Chargement inférieur ou égal à 20 tonnes /ml en tête du voile. -Ferrailage supérieur ou égal à ST25C par face avec enrobage minimal de 30 mm. -Hauteur inférieure ou égal à 3 m. -Epaisseur supérieure ou égale à 18 cm. -Exposition au feu <u>sur une seule face</u> .	-E/C compris entre 0,5 et 0,55 (voir Tableau 1 de l'APL). - Granulat calcaire (voir Tableau 1 de l'APL). -Même dosage en fibres (2 kg/m3) et mêmes fibres que celles mentionnées dans le Tableau 2 de l'APL. -Prise en compte d'une teneur en eau initiale de 1,5% dans les calculs thermiques. -Contrainte de compression en tête de voile inférieure ou égale à 1,1 MPa selon combinaison accidentelle incendie (G+ψ1.Q). - <u>Exposition au feu sur 1 ou 2 faces</u>

2.3 Sismicité

Les ouvrages en béton Materrup MCC1® voiles peuvent être mis en œuvre dans les zones de sismicité 1 à 4¹, 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 Materrup et son comportement sous actions sismiques ont été évalués dans le **rapport CSTB EEM 22 12875 [5]** ainsi que dans le **rapport d'expertise CSTB**

¹ Limitation volontaire du demandeur à la classe de ductilité DCM avec un coefficient de comportement max q = 2 (couvrant la France Métropolitaine)

P00210055 [21] « Exploitation et interprétation des essais post-pic et des essais cycliques à petite et grande échelles ».

2.4 Matériaux, produits et composants

Le béton Materrup MCC1® est composé de ciment d'argile MCC1® et de composants traditionnels : granulats, sables, eau et adjuvants.

2.4.1 Ciment d'argile MCC1®

Evaluation Technique de Produits et de Matériaux

Le Ciment d'argile MCC1® a fait l'objet d'une **Évaluation Technique de Produits et de Matériaux – ETPM-22/0077-V2 [1]** dont la seconde version date du 26 mai 2025 (incrément par rapport à la première version datant de juin 2022). Cette ETPM est disponible sur le site internet du CSTB.

Constitution du ciment MCC1®

Le ciment utilisé dans la formulation du béton est le Ciment d'argile MCC1®, fabriqué et fourni par le demandeur, Materrup. Il est composé d'argile crue non calcinée, d'un activateur et d'un précurseur pouzzolanique complémentaire.

Le Ciment d'argile MCC1® est un ciment qui se distingue des ciments traditionnels par sa composition, présentée dans le tableau ci-dessous (source **ETPM-22/0077 -V2 [1]**) :

Les % indiqués sont des pourcentages massiques		Ciment d'argile MCC1®	Ciment conforme NF EN 197-1 ou EN 197-5
Constituants	Argile crue non calcinée	30 à 50%	Non couvert
	Précurseur pouzzolanique Complémentaire	10 à 30%	-
	Activateur	20 à 50%	
	Agent de mouture spécifique	0,2 à 1,5%	Couvert en tant qu'additif organique dans l'EN197-1 (paragraphe 5.5)

2.4.2 Filler

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

2.4.3 Agrégats

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

Les graviers utilisés dans la formulation du béton doivent être conformes aux normes NF EN 12620+A1 et NF P 18-545 art. 10.

Seule l'utilisation d'agrégats, ayant une absorption d'eau $\leq 2,5$ % est autorisée.

Concernant l'alcali réaction, pour un niveau de prévention A, l'utilisation de granulats potentiellement réactifs (PR) et potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP) est autorisée (cf. ETPM).

L'utilisation d'agrégats recyclés est proscrite.

2.4.4 Adjuvants

Seuls les adjuvants ayant fait l'objet d'une validation de compatibilité par Materrup pourront être mis en œuvre dans le béton à base de Ciment d'argile MCC1®. Une liste est disponible sur demande auprès de Materrup [23], ces adjuvants sont de différentes natures : plastifiants, superplastifiants, retardateurs de prise, entraîneurs d'air, désactivant, produits de cure.

Sauf pour les adjuvants cités dans le dossier technique, des essais de compatibilité devront faire l'objet d'une validation de compatibilité par MATERRUP, ainsi qu'un essai de coulage à échelle réelle sur une hauteur d'étage.

2.4.5 Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans la formulation du béton Materrup MCC1® devra être conforme à la norme NF EN 1008, et faire l'objet d'analyses chimiques périodiques suivant les fréquences exigées par la norme.

Aucun rajout d'eau sur chantier n'est autorisé.

2.4.6 Utilisation de fibres polypropylène

Des fibres polypropylène peuvent être utilisées pour les bétons Materrup à base de MCC1® afin d'améliorer les propriétés de résistance au feu comme cela a été évoqué au paragraphe 2.2.

L'utilisation de fibres polypropylène à un dosage de 2kg/m³ comme préconisé dans l'Eurocode 2, permet d'améliorer significativement le comportement en feu d'un béton à base de MCC1® (voir l'APL mentionné au paragraphe 2.2).

L'ajout de telles fibres polypropylène à 2 kg/m³ a un impact sur la rhéologie du béton à l'état frais sans impacter les performances du béton durci (résistance mécanique inchangée).

Des essais ont démontré [25] l'obtention d'un béton C25/30 de classe de consistance S3 avec un maintien en rhéologie de 90 min en présence de fibres polypropylène dosées à 2kg/m³.

La photo ci-dessous illustre le coulage d'un béton Materrup C25/30 dosé à 300kg/m³, avec 2 kg/m³ de fibres et un E/C de 0,55. Le béton a été fabriqué dans une centrale à béton partenaire, il est coulé dans un camion toupie puis livré sur un site de coulage situé à 15 km de la centrale. La mise en place est effectuée dans les blocs Lego à l'aide d'une aiguille vibrante similaire au procédé pour un voile béton. Le béton s'écoule bien de la benne dans le bloc et la mise en place s'effectue facilement avec l'aiguille vibrante. Le bloc béton est décoffré le lendemain, avec un niveau de parement satisfaisant.



2.4.7 Produit de cure

Seuls les produits de cure ayant fait l'objet d'une validation de compatibilité par Materrup pourront être utilisés pour la cure du béton Materrup MCC1® conformément au §4.2 Cure de la face supérieure des Voiles et des éléments horizontaux. Une liste est disponible sur demande auprès de Materrup.

2.4.8 Armatures

Armatures CFA

Les armatures CFA mises en œuvre dans les ouvrages en béton MCC1® - Voiles 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.

Treillis soudés

Le treillis soudé mis en œuvre dans les ouvrages en béton MCC1® - Voiles 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.

Inserts

Les inserts de type boîtes d'attente d'armatures, boîtiers électriques, gaines, fourreaux, décaissés, etc. peuvent être insérés à la réalisation des Voiles en béton Materrup MCC1® suivant les mêmes dispositions que pour un béton traditionnel.

3 Disposition de conception

3.1 Points généraux

3.1.1 Application DTU & 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 ainsi que la NF EN 1998-1 et son Annexe nationale NF EN 1998-1/NA de décembre 2007 sont applicables pour le dimensionnement des Voiles en béton armé ou non à base de Ciment d'argile MCC1®.

3.1.2 Formulation du béton

Les formulations de références sont les suivantes :

- MCC1®-C25-30
- MCC1®-C30-37
- MCC1®-C35-45

Le rapport Eeff/Leq devra respecter les critères spécifiés dans la norme NF-EN 206/CN en vigueur et devra faire l'objet d'une validation par Materrup mais le rapport Eeff/Leq **ne devra en aucun cas être supérieur à 0,55**.

De manière analogue au Tableau NA.F.1 de la norme NF-EN 206/CN, il est possible de formuler des bétons avec des dosages en ciment MCC1® minimum pour des classes de résistance données, comme l'illustre le tableau ci-dessous :

Formulation	
MCC1®	Dosage ciment minimum (kg/m ³)
C25/30	300
C30/37	300
C35/45	350

Pour les classes d'exposition, le tableau page suivante illustre quelques cas concrets et le lecteur peut se référer directement à l'**ETPM-22/0077-V2 [1]** pour le détail des dosages et E/C en fonction de la classe d'exposition visée.

L'un des objectifs de l'ATEx étant de rationaliser les utilisations possibles du procédé, dans l'objectif d'une maîtrise de la sinistralité, il est précisé ici que les formulations possibles du béton MCC1® peuvent permettre d'atteindre différentes performances, mais celles-ci ne sont pas forcément cumulatives (comme c'est le cas pour les bétons conformes à la norme NF EN 206/CN, voir par exemple le tableau NA.F.1).

Ainsi, à titre d'illustration, il faut un E/C élevé pour justifier de la résistance au feu, alors qu'il peut être nécessaire d'avoir un E/C relativement faible pour justifier d'une durabilité aux environnements agressifs. Pour être le plus explicite possible, nous proposons le tableau ci-dessous qui donne un aperçu des classes d'expositions possibles ainsi que de la justification au feu selon l'APL pour des formulations données :

Classe de résistance	C25/30	C25/30	C25/30	C30/37	C35/45
Dosage en ciment MCC1 (kg/m ³)	≥300	≥300	≥300	≥300	≥380
Efficace/C	< 0,55	= 0,55	= 0,55	≤0,52	≤0,42
Dosage en fibres PP (kg/m ³)	0	0	2	0	0
Justification de la performance au feu selon APL	Aucune	REI 60 (exposition 1 face)	REI 180 1 (exposition 1 face) 2 (Calcul selon NF EN 1992-1-2 exposition 1 ou 2 faces)	Aucune	Aucune
Classe d'exposition selon ETPM	XC1 à XC4 ; XS1 ; XD1 et XF1	XC1 à XC4 ; XS1 ; XD1 et XF1	XC1 à XC4 ; XS1 ; XD1 et XF1	XC1 à XC4, XS1, XD1, XF1	XC1 à XC4, XS1 à XS2 XD1 à XD2 XF1(+XF3 avec entraîneur d'air 6 % air occlus) XA 1 et X2 (cas spécifique des milieux acides et les eaux pures et granulats d'absorption d'eau inférieure à 1,5%)
Destination possible du béton pour la présente ATEX	Voiles sans exigence au feu	Voiles avec exigence au feu maximale 60 min	Voiles avec exigence au feu maximale de 180 min	Voiles sans exigence au feu	Voiles sans exigence au feu
Classes de consistance possibles	S1 à S5	S1 à S5	S1 à S3	S1 à S5	S1 à S5

Excepté pour les adjuvants cités dans le dossier technique, des essais de compatibilité devront faire l'objet d'une validation de compatibilité par MATERRUP, ainsi qu'un essai de coulage à échelle réelle sur une hauteur d'étage

3.1.3 Caractéristiques mécaniques

Les classes de résistances visées et garanties sont C25/30, C30/37 et C35/45.



L'ensemble des caractéristiques mécaniques à 28 jours sont récapitulées dans le tableau ci-après.

MCC1® -	C25/30	C30/37	C35/45
f_{ck} (MPa)	25	30	35
$f_{ck,cube}$ (MPa)	30	37	45
$f_{ctk\ 0,05}$ (MPa)	1,8	2	2,2
E_{cm} (GPa)	31	33	34

3.1.4 Fluage

Le coefficient de fluage du béton MCC1® 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 :

$$\varphi_{MCC1®}(\infty, t_0) = k_{creep} \times \varphi_{CEM}(\infty, t_0)$$

Avec :

- k_{creep} : facteur de fluage béton MCC1®
- $\varphi_{CEM}(\infty, t_0)$: coefficient de fluage pour un béton de classe de résistance équivalente C25/30 C30/37 ou C35/45 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 :

MCC1®-C25/30		MCC1®-C30/37		MCC1®-C35/45	
k_{creep}	1	1		1	

Le coefficient k_{creep} de 1 considéré pour la totalité des classes de résistances visées permet une approche sécuritaire de la prise en compte du fluage lors de l'utilisation de béton MCC1®.

3.1.5 Retrait

Retrait

Le retrait du béton à base de Ciment d'argile MCC1® est pris égal au retrait linéaire du béton à base de ciment CEM I soit : $\varepsilon_r \text{ MCC1®} = 1 \cdot \varepsilon_r \text{ CEM I}$

MCC1®- C25/30		MCC1®-C30/37		MCC1®-C35/45	
$\varepsilon_r \text{ MCC1®}$	1	1		1	

Au sens de l'**Eurocode 2 (EN 1992-1-1 §3.1.2)**, le ciment MCC1® peut être assimilé à un ciment de classe R [1].

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 Ciment d'argile MCC1®, ce afin de rester sécuritaire dans tous les cas.

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 conditions indiquées ci-après :

Formulation	Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)			
	Classe d'exposition selon Tableau 4.1			
	X0	XC1	XC2	XC3 /XC4/XF1
MCC1®-C25/30	10	15	25	40
MCC1®-C30-37	10	15	25	40
MCC1®-C35-45	10	15	25	40

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 performancielle.

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.

3.1.7 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 MCC1® 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.

3.1.8 Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage

Les reprises de bétonnage sont possibles sous réserve de respecter les calculs de la norme NF EN 1992-1-1) §6.2.5 (formule 6.25), en considérant $c=0,2$ pour une interface lisse et $c=0,4$ pour une interface rugueuse (c'est-à-dire avec reprise de cisaillement par le béton).

Voir le rapport d'essai CSTB **EEM_24 36516 [4]** Reprise de bétonnage ainsi que le rapport d'expertise **P00210057 [20]** dont les conclusions principales sont :

- Le comportement en cisaillement du béton Materrup MCC1 testé présente des performances équivalentes ou meilleures en comparaison à un béton standard de même classe de résistance. En particulier, la configuration MCC1/MCC1, présente une très bonne aptitude à la reprise de bétonnage.
- Les règles de calcul de la résistance en cisaillement le long des surfaces de reprise selon le **§6.2.5 de l'Eurocode 2 partie 1-1** s'appliquent pour le béton Materrup MCC1.

3.2 Principes de dimensionnement de voiles en béton armé

3.2.1 Généralités

Le principe de dimensionnement de voiles en béton armé réalisé en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est le même que pour des bétons armés réalisés en béton à base de ciment Portland, en prenant en compte les paramètres spécifiques intrinsèque au matériau qui sont les suivants :

- Caractéristiques mécaniques
 - Résistance à la compression
 - Résistance à la traction
 - Module d'élasticité
- Comportement au fluage

- Coefficient $k_{creep} = 1$
- Coefficient de fluage : $\varphi_{MCC1}^{\infty, t_0} = k_{creep} \cdot \varphi_{CEM I}^{\infty, t_0}$
- Comportement au retrait
 - Retrait linéaire $\varepsilon_{rMCC1}^{\infty} = 1 \cdot \varepsilon_{rCEM I}$

L'ensemble des caractéristiques mécaniques sont données dans les Tableaux du § 3.1.3 Caractéristiques mécaniques, 3.1.4 Fluage & 3.1.5 Retrait.

Les valeurs obtenues devront être comparées aux exigences requises dans les DPM² ou à défaut à la NF DTU 21 & 23.1.

3.2.2 2.3.2.2. Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) de voiles en béton Materrup est identique à celui d'éléments similaires 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 Materrup données au § 2.3.2.1 Généralités.

3.2.3 2.3.2.3. Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) de voiles en béton Materrup est identique à celui d'un 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 Materrup données au § 2.3.2.1 Généralités.

3.2.4 2.3.2.4. Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) de voiles en béton Materrup est identique à celui d'un 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 MATERRUP 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.

Voir le rapport d'essai CSTB **EEM 22 12875 [5]** réalisé sur voile Materrup en annexe et le rapport d'expertise **P00210055 [21]**, dont la conclusion est la suivante :

« Pour conclure, toutes ces différentes constatations faites sur la base de l'exploitation des campagnes d'essais à petite et grande échelles, valident donc la possibilité d'utilisation des modèles de béton standard pour justifier l'aptitude à l'emploi des éléments de structure en béton MATERR'UP MCC1 vis-à-vis d'une utilisation dans les bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques ».

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

Avec f_{ctd} déterminé suivant l'expression (NF EN 1992-1-1, art. 3.1.6 (2)P) : $f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot f_{ctk} / 1,05 \gamma_c$

² Documents Particuliers du Marché

Les coefficients c et μ dépendent de la rugosité de la surface de reprise de bétonnage.

Voir le rapport d'essai CSTB **EEM_24 36516 [4]** Reprise de bétonnage et le rapport d'expertise CSTB **P00210057 [20]**.

4 Disposition de mise en œuvre

4.1 Principe de mise en œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé MCC1® voiles est identique à celui de Voiles en béton à base de ciment Portland, et ne requiert pas de disposition spécifique.

Les conditions d'exécution du procédé MCC1® voiles respecteront les spécifications définies dans la NF DTU 21 et 23.1.

Pas de coulage dans le cas d'une température ambiante prévisible sur chantier inférieure à 5°C et supérieure à 30°C.

4.2 Cure de la face supérieure des Voiles et des linteaux

Les rotations de débanchage sont similaires aux autres bétons dits bas carbone et conformes à la norme NF EN 206/CN tels que les bétons à base de CEM II B. typiquement entre 16 et 24h en fonction des conditions météorologiques (été / hiver).

La cure par arrosage ou pulvérisation d'eau est proscrite.

Le demandeur Materrup propose une liste de produits compatibles à la disposition des applicateurs disponible sur demande.

Le produit de cure doit être nettoyé soigneusement avant pose de tout revêtement adhérent (par collage ou scellement).

4.3 Tolérances d'exécution

Les tolérances d'exécution de voile armé ou non armé réalisé en béton à base de Ciment d'argile MCC1® sont identiques à celles de voile en béton armé ou non armé réalisé en béton à base de ciment Portland.

Sauf prescriptions particulières des DPM, les tolérances d'exécution de voiles réalisés en béton à base de Ciment d'argile MCC1® sont identiques à celles précisées dans la NF DTU 21 et 23.1.

4.4 Revêtement de surface

4.4.1 Généralités

Dans le cadre d'une application d'un revêtement de type peinture, enduits ou colle sur un support, des essais de convenances sont à prévoir. Une assistance aux corps d'états du second œuvre pour la pose de systèmes en adhérence est assurée par le Demandeur.

A titre informatif des résultats de tractions directe du béton MCC1® et d'adhérences de revêtements (mortier de pose, mortier de ragréage, peinture) sont disponibles en annexe **[10]**.

Les résultats de tractions directe sur support béton à base de Ciment d'argile MCC1® sont d'environ 2 MPa.

Zone	Moyenne (MPa)	Facies de rupture
Béton MCC1®	2,0	Adhésif colle /béton
Peinture Polyuréthane	1,4	Adhésif peinture /béton
Mortier de pose	1,2	Cohésif mortier
Mortier ragréage	2,1	Adhésif mortier-béton et mortier-colle

Le demandeur Materrup propose une liste de produits compatibles à la disposition des applicateurs.

4.4.2 Autres revêtements

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).

5 Maintien en service du produit

5.1 Entretien courant

L'entretien des ouvrages en béton à base de Ciment d'argile MCC1® 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.

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 ce cas, un accompagnement est réalisé Materrup. Des exemples de produits de réparation sont donnés [24]. De plus, Le demandeur Materrup propose une liste de produits compatibles à la disposition des utilisateurs.

6 Traitement en fin de vie

A la fin de la durée de vie du produit, les ouvrages du procédé MCC1®- Voiles 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.

7 Assistance technique

Une assistance technique est apportée par le demandeur Materrup :

- à la maîtrise d'œuvre ou aux bureaux d'études d'exécution pour l'aide au dimensionnement des ouvrages du procédé MCC1® - Voile
- 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 Materrup MCC1® dans le cadre du coulage des ouvrages du procédé MCC1® - Voile.
- aux corps d'états du second œuvre pour la pose de systèmes en adhérence.



Dans le cas de la première production de béton à base de Ciment d'argile MCC1® d'une nouvelle centrale à béton, une assistance technique est apportée par Materrup pour la mise au point des formulations, des essais initiaux de production, des planches d'essais, d'épreuves de convenance ainsi que l'analyse des résultats.

Des planches d'essais sont systématiquement réalisées avant un chantier avec la présence du producteur de béton ainsi que de Materrup afin de valider la formulation.

La réalisation de planches d'essais n'est pas nécessaire pour les voiles pour les maisons individuelles du moment que cela a déjà été réalisé avec la centrale à béton partenaire.

Materrup, effectue en complément systématiquement des contrôles sur chantier lors des premiers coulages de bétons avec un nouveau partenaire, avec rédaction d'un rapport de contrôle et retour d'expérience voir annexes.

Les bons de pesées correspondant aux prélèvements peuvent être joints.

Materrup peut, si besoin, en parallèle du coulage, être présente lors de la fabrication du béton en centrale pour les 1ers camions.

Ces contrôles portent à la fois sur béton frais (slump, Mv, ...) et durci (résistances mécaniques...) sur plusieurs camions dont les premiers pour la consistance.

Un contrôle par un laboratoire extérieur peut être aussi organisé par le demandeur Materrup en complément des contrôles internes. De tels contrôles sont systématiquement réalisés pour des chantiers de plus de 100m3.

8 Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

8.1 Principe de fabrication

Le principe de fabrication du béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui du béton traditionnel à base de ciment Portland.

8.2 Plans d'Assurance Qualité

8.2.1 Plan d'Assurance Qualité de production du ciment MCC1®

Les sites de production du Ciment d'argile MCC1® 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 MCC1® **[13]**.

8.2.2 Plan d'Assurance Qualité de la centrale de béton

Les sites de production du béton prêt à l'emploi disposent d'un Plan d'Assurance Qualité permettant de s'assurer de la qualité des matières premières, ainsi que de la qualité du béton confectionné **[14]**.

8.2.3 Plan d'Assurance Qualité Gros-Œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé MCC1® - Voiles est identique à celui des ouvrages en béton traditionnel, 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 associés relatifs à la réalisation d'ouvrage en béton armé.



8.3 Désignations des bétons à la livraison (bons de livraison) :

Les bons de livraison des partenaires bétonniers doivent mentionner :

- La classe de résistance ;
- les classes d'exposition ;
- la classe de teneur en chlorures ;
- la classe ou la valeur cible de consistance ainsi que la teneur en eau ;
- le type du ciment : MCC1 et le dosage
- le type d'adjuvant préconisé par MATERRUP
- le type et la teneur en fibres si employées
- Dmax du granulat ;
- Le volume de béton livré
- L'adresse du chantier
- Le numéro de formule

Voici un exemple de désignation de béton : C25/30 XF1 MCC1 300 Dmax 22 S3 cl 0.4.

9 Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES

Le Ciment d'argile MCC1® fait l'objet d'un inventaire de cycle de vie (ICV) certifiée INIES et disponible sur demande.

Le béton à base de Ciment d'argile MCC1® fait l'objet de Fiches de Données Environnementales et Sanitaires (FDES) disponibles sur la base INIES [18].

10 Mention des justificatifs

- [1] CSTB – ETPM N° 22-0077-v2 incrémentée le 26 mai 2025
- [2] CSTB - Rapport d'essais n° EEM 24-35849/A Adhérence statiques et sismiques sur armatures
- [3] CSTB - Rapport d'essais n° EEM 24-35849 Post-pic
- [4] CSTB - Rapport d'essais n° EEM_24 36516 Reprise de bétonnage
- [5] CSTB - Rapport d'essais n° EEM 22 12875 Essais de contreventement sous chargement cyclique
- [6] CSTB - Rapport d'essais n° EEM 24-35849-C Compression cyclique
- [7] CSTB - Rapport d'essais n° DSSF24-36538/A
- [8] CSTB - Rapport d'essais n° DSSF24-36538/B
- [9] CSTB - Appréciation de Laboratoire AL 25-395-00231031
- [10] Auto Béton Contrôles - Rapports mesures d'adhérence L05/23/24/004
- [11] CRIC - fluage sur béton Materrup - rapports E-24-970 et E-24-995
- [12] Materrup - Liste des chantiers à base de béton Materrup
- [13] Materrup - Plan de contrôle qualité (usine et produits finis)
- [14] Materrup - Plan de contrôle qualité béton
- [15] CSTB - ATEX Fondations Materrup
- [16] CSTB - ATEX Dallage Materrup
- [17] Materrup - Catalogue
- [18] EVEA - FDES voile à base de MCC1
- [19] Materrup - Liste de préconisations
- [20] CSTB - Rapport sur interprétation des reprises de bétonnage
- [21] CSTB - Rapport sur interprétation post-pic, essais cycliques et sismiques
- [22] Materrup - Tableau de prévention d'éventuels désordres
- [23] Materrup - liste des adjuvants compatibles
- [24] Rapport sur l'utilisation de produits de réparation



- [25] Materrup - impact de la présence de fibres PP sur le maintien de rhéologie
- [26] Auto Béton Contrôles - Essais sur chevilles

