

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3199_V1

ATEx de cas a

Validité du 10/05/2023 au 10/05/2025



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 :

Materrup
440 rue des Estagnots
40 230 St6Geours-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° 3199_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte sur le procédé de « FONDATIONS SUPERFICIELLES Materrup à partir de MCC1® ».

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 10/05/2023, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- demandeur : Société Materrup,
- technique objet de l'expérimentation : Le procédé MCC1-Fondations concerne les fondations superficielles et radiers coulés sur place avec du béton formulé à partir de Ciment d'argile MCC1®, ciment « bas carbone » innovant à base d'argile crue, présentant une faible empreinte environnementale.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3199_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 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 Materrup Agiroc® 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 DTU 13.3 ne lui sont donc pas directement applicables. Une approche expérimentale a été adoptée pour caractériser le béton à base de ciment d'argile MCC1®, dans le but d'ajuster certains paramètres. Il en résulte les conclusions suivantes :

- Le béton Materrup Agiroc® 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 Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® est comparable à celle d'un béton traditionnel ;
- Le retrait libre du béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 est près de deux fois supérieur à celui du béton traditionnel, à formulation identique ;
- Le fluage est de l'ordre de 2 fois supérieur à celui d'un béton traditionnel. Le coefficient de fluage d'un béton traditionnel a donc été multiplié par 2 pour le béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 ;
- Du fait du comportement du béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 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 tel que décrit en annexe 1 et au § 2.1 du Dossier Technique, l'incidence et le risque de désordre lié à un retrait important du béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 est négligeable moyennant le strict respect des recommandations du § 4.

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

La mise en œuvre du béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 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° 3199_V1

1.2 – Sécurité en cas d'incendie

Compte tenu de l'usage en fondations superficielles en béton armé, la sécurité en cas d'incendie n'a pas à être prise en compte.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Le ciment d'argile MCC1® est produit par Materrup. Le béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® 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.

La formule de béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30 a été adaptée à l'usage en fondation superficielle et est dénommée MCC1-C25/30-F1 (cf. § 3.1.2. du dossier technique).

2.2 – Mise en œuvre

La mise en œuvre du béton Materrup Agiroc® à base de ciment d'argile MCC1® de classe de résistance C25/30, pour la réalisation de fondations superficielles coulées 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 pour la formulation qui doivent être effectués pour toute nouvelle centrale, Materrup 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 ».

4°) Recommandations

- Seule la classe de résistance de béton C25/30 est admise et la valeur du retrait à prendre en compte est le double de celle d'un béton traditionnel C25/30, conformément aux résultats de l'ETPM ;
- Pour les semelles filantes et les radiers, une section minimale d'armatures de 0,2% est à ajouter en plus de celle issue du dimensionnement classique ;
- La classe d'exposition XA1 doit être exclue car non justifiée totalement par méthode comparative ;
- Les scellements après coulage sont proscrits ;
- Pour les radiers sous éoliennes, la contrainte de compression du béton sous combinaison ELS à la fatigue doit être limitée à $0,40 f_{cd}$.

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

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3199_V1

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

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

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

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

Spécificité du Ciment d'argile MCC1® :

- Le Ciment d'argile MCC1® a fait l'objet d'une Évaluation Technique de Produits et de Matériaux – ETPM-22/0077 du 2 Juin 2022. Cette ETPM est disponible sur le site internet du CSTB ;
- Le ciment utilisé dans la formulation du béton est le Ciment d'argile MCC1®, fabriqué et fourni par Materrup. Il est composé d'argile crue non calcinée, d'un activateur et d'un précurseur pouzzolanique complémentaire ;
- Le béton Materrup Agiroc® à base de Ciment d'argile MCC1® mis en œuvre pour le coulage ces éléments de structure vise la classe de résistance C25/30 ;

Le domaine d'emploi du procédé MCC1 – Fondations est destiné à la réalisation de tous types de fondations superficielles ou de radier en béton armé destinés aux constructions neuves ou existantes, avec ou sans niveau en infrastructure :

- Bâtiment à usage d'habitation de 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} famille ;
- Etablissement recevant du public, de 1^{ère} à 5^{ème} catégorie ;
- Bâtiments relevant du Code du Travail ;
- Fondation pour éolienne, panneaux solaires, etc..

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

Les éléments en béton Materrup Agiroc® 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, coulés en place sur chantier.

Les classes d'expositions visées sont X0, XC1, XC2, XC3, XC4 & XF1 et une durée d'utilisation de 50 ans.

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

Les fondations semi-profondes ou profondes (micropieux, pieux, etc.) et les radiers étanches au sens du Fascicule 74 et/ou de la NF DTU 14.1 ne sont pas visés.

Pour l'application en zone sismique, l'EC 8 (NF EN 1998) est à prendre en compte pour le calcul des tirants et rigidité des soubassements.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 3199_V1.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3199_V1

ANNEXE 2

Dossier Technique du demandeur

Ce document comporte un dossier technique principal (17 pages joint à ce PV).

Procédé de « FONDATIONS SUPERFICIELLES Materrup à partir de MCC1® »

« Dossier Technique FONDATIONS SUPERFICIELLES Materrup à partir de MCC1® »

Daté du 16/05/2023

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3199_V1

Fin du rapport



Dossier Technique
FONDATIONS SUPERFICIELLES Materrup à partir de
MCC1®



Version 5 du 12 mai 2023

Avec l'accompagnement du bureau d'étude Ouest Structures



Sommaire

1	Mode de commercialisation.....	3
1.1	Coordonnées	3
1.2	Rôle des intervenants.....	3
2	Domaine d'emploi	4
2.1	Domaine d'emploi accepté.....	4
2.2	Sismicité.....	4
2.3	Matériaux, produits et composants	4
2.3.1	Ciment d'argile MCC1®	4
2.3.2	Filler	5
2.3.3	Agrégats.....	5
2.3.4	Adjuvants.....	5
2.3.5	Eau de gâchage.....	5
2.3.6	Produit de cure	5
2.3.7	Armatures.....	6
3	Disposition de conception.....	6
3.1	Points généraux.....	6
3.1.1	Application DTU & Eurocode.....	6
3.1.2	Formulation du béton	6
3.1.3	Caractéristiques mécaniques	7
3.1.4	Fluage	7
3.1.5	Retrait.....	7
3.1.6	Durabilité et enrobage des armatures	8
3.1.7	Comportement du béton MCC1 sous actions sismiques	8
3.1.8	Détermination de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures	8
3.1.9	Vérification du cisaillement à l'interface de reprise de bétonnage	8
3.2	Principes de dimensionnement général d'une fondation.....	9
3.2.1	Généralités	9
3.2.2	Dimensionnement à l'ELU	9
3.2.3	Dimensionnement à l'ELS.....	9
3.2.4	Dimensionnement à l'ELUA.....	9
3.3	Principes de dimensionnement spécifique d'un radier.....	9
3.3.1	Généralités	9
3.3.2	Dimensionnement à l'ELU	10
3.3.3	Dimensionnement à l'ELS.....	10
3.3.4	Dimensionnement à l'ELUA.....	10
4	Disposition de mise en œuvre.....	10
4.1	Principe de mise en œuvre.....	10
4.2	Cure de la face supérieure.....	10
4.3	Revêtement de surface	11
4.3.1	Généralités	11
4.3.2	Cas des sols fragiles (carrelage, pierre, etc.)	11

4.3.3	Autres revêtements.....	11
5	Maintien en service du produit	11
5.1	Entretien courant	11
5.2	Traitement des désordres (épaufrures, éclats, etc.)	11
6	Traitement en fin de vie	12
7	Assistance technique.....	12
8	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication	12
8.1	Principe de fabrication	12
8.2	Plans d'Assurance Qualité	12
8.2.1	Plan d'Assurance Qualité de production du ciment MCC1	12
8.2.2	Plan d'Assurance Qualité de la centrale de béton	13
8.2.3	Plan d'Assurance Qualité Gros-Œuvre	13
9	Fiche de Déclaration Environnementale et de Sécurité – FDES.....	13
10	Mention des justificatifs	13
10.1	Résultats Expérimentaux.....	13
10.2	Annexes – exemples de chantiers réalisés en béton.....	14

1 Mode de commercialisation

1.1 Coordonnées

Le procédé Ciment d'argile MCC1® pour béton Materrup Argiroc® 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-Fondations faisant l'objet de la demande d'ATEx de cas A, concerne les fondations superficielles et radiers coulés sur place avec du béton formulé à partir de Ciment d'argile MCC1®, ciment « bas carbone » innovant à base d'argile crue, présentant une faible empreinte environnementale.

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

Le béton Materrup Argiroc® peut être 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 – Fondations sont réalisés en béton Materrup Argiroc® coulé sur place par l'entreprise de gros-œuvre.

Le dimensionnement des ouvrages du procédé MCC1 - Fondations 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 Domaine d'emploi

2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi du procédé MCC1 – Fondations est destiné à la réalisation de tous types de fondations superficielles ou de radier en béton armé destinés aux constructions neuves ou existantes, avec ou sans niveau en infrastructure :

- Bâtiment à usage d'habitation de 1ère, 2ème, 3ème et 4ème famille,
- Etablissement recevant du public, de 1ère à 5ème catégorie,
- Bâtiments relevant du Code du Travail,
- Fondation pour éolienne, panneaux solaires, etc..

Les constructions visées ne font pas l'objet de limitation de hauteur. Les fondations superficielles des IMH sont visées sous réserve de procéder aux vérifications usuelles (ELU, ELS, ELUA sismique, etc.). Les éléments en béton Materrup Argiroc® 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, coulés en place sur chantier.

Les classes d'expositions visées sont X0, XC1, XC2, XC3, XC4 & XF1 ~~et XA1~~¹ et une durée d'utilisation de 50 ans

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

Les fondations semi-profondes ou profondes (micropieux, pieux, etc.) et les radiers étanches au sens du Fascicule 74 et/ou de la NF DTU 14.1 ne sont pas visés.

2.2 Sismicité

Les ouvrages du procédé MCC1 – Fondations 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.

Des essais sismiques sur éléments béton à base de MCC1® ont été réalisés au CSTB. Les résultats sont similaires à des bétons à base de ciment Portland. Voir le PV d'essai N° RE EEM 22-12875

2.3 Matériaux, produits et composants

Le béton Materrup Argiroc ® est composé de ciment d'argile MCC1 et de composants traditionnels.

2.3.1 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 du 2 Juin 2022. Cette ETPM est disponible sur le site internet du CSTB.

Constitution du ciment MCC1®

¹ ~~Les essais de résistance à l'attaque acide et sulfatique réalisés dans le cadre de l'ETPM montrent que le comportement sur mortier à base de ciment MCC1® est similaire à celui d'un mortier à base de ciment Portland.~~

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 -A) :

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 70%	Non couvert
	Précurseur pouzzolanique Complémentaire	10 à 30%	-
	Activateur	20 à 50%	
	Agent de mouture spécifique	0,2 à 1,5% de la masse d'argile	Couvert en tant qu'additif organique dans l'EN197-1 (paragraphe 5.5) avec une borne de 0,2% maximum en poids de ciment.

2.3.2 Filler

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

2.3.3 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.

L'utilisation d'agrégats, ayant une absorption $\geq 2,5$ % ou recyclés, dans la formulation du béton est exclue.

2.3.4 Adjuvants

Seuls les adjuvants ayant fait l'objet d'une validation de compatibilité par le laboratoire R&D Materrup pourront être mis en œuvre dans le béton à base de Ciment d'argile MCC1®.

2.3.5 Eau de gâchage

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

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

2.3.6 Produit de cure

Seuls les produits de cure ayant fait l'objet d'une validation de compatibilité par le laboratoire R&D Materrup pourront être utilisés pour la cure du béton Materrup Argiroc® conformément au §4.2 Cure de la face supérieure des voiles.



2.3.7 Armatures

Armatures CFA

Les armatures CFA mises en œuvre dans les ouvrages en béton MCC1 - Fondations 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 - Fondations 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 Argiroc® 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, 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, NF DTU13.1 sont applicables pour le dimensionnement des ouvrages coulés en place en béton à base de Ciment d'argile MCC1®.

3.1.2 Formulation du béton

Une formulation de référence en béton MCC1 (Cf 10.1 Résultats expérimentaux) a fait l'objet de qualifications mécaniques et physiques et est référencée : MCC1-C25/30-F1.

La formulation béton Materrup Argiroc® devra respecter en autres les dosages en ciments, spécifié dans l'EN 206 en vigueur.

Le rapport Eeff/Leq devra respecter les critères spécifiés dans l'EN 206 en vigueur et devra faire l'objet d'une validation par le laboratoire R&D Materrup mais le rapport Eeff/C **ne devra en aucun cas être supérieur à 0,55**.

Les formulations peuvent faire l'objet d'ajustement dans leur composition (ajustement de la quantité d'eau et de ciment pour garantir d'autres classes de résistance, etc.), et sont soumises à validation du laboratoire R&D Materrup.

MCC1- C25/30-F1	Formulation	X0	XC			
	Dosage ciment		XC1	XC2	XC3	XC4/XF1
	300		√	√	1)	√



1) La formulation du béton MCC1 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

3.1.3 Caractéristiques mécaniques

La classe de résistance visée et garantie est C25/30 pour la formulation MCC1-C25/30-F1.

L'ensemble des caractéristiques mécaniques à 28 jours sont récapitulées dans le tableau ci-après. MCC1-C25/30-F1.

MCC1-C25/30-F1	
f_{ck} (MPa)	25
$f_{ck,cube}$ (MPa)	30
f_{cm} (MPa)	28
$f_{ctk\ 0,05}$ (MPa)	1,8
E_{cm} (GPa)	31

3.1.4 Fluage

Le coefficient de fluage du béton Materrup Argiroc[®] 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 Materrup Argiroc[®]
- $\varphi_{CEM}(\infty, t_0)$: coefficient de fluage pour un béton de classe de résistance équivalente C25/30 avec un ciment de classe N, dans les conditions du projet
- Le coefficient k_{creep} est défini à partir d'essai expérimentaux (Cf. ETPM), dont la valeur est indiquée ci-dessous :

MCC1-C25/30-F1	
k_{creep}	2

3.1.5 Retrait

Retrait libre

Le retrait libre est de l'ordre de 2 fois plus important pour du béton à base de Ciment d'argile MCC1[®] que du béton à base de ciment CEM I, à formulation identique, soit : $\varepsilon_{cs\ MCC1} = 2 \cdot \varepsilon_{cs\ CEM\ I}$

Retrait linéaire

Le retrait linéaire à prendre en compte pour calculer les longueurs de soulèvement en angle et en bord est majoré et tient compte de la présence de condensation en sous face de dallage.

Le retrait linéaire du béton à base de Ciment d'argile MCC1[®] est pris égal à 2 fois le retrait linéaire du béton à base de ciment CEM I, soit : $\varepsilon_r\ MCC1 = 2 \cdot \varepsilon_r\ CEM\ I$

MCC1-C25/30-F1	
$\varepsilon_r\ MCC1$	2



3.1.6 Durabilité et enrobage des armatures

Les minorations liées à l'approche prescriptive proposées dans le Tableau 4.3 de la NF EN 1992-1-1 ne sont pas applicables pour le béton à base de Ciment d'argile MCC1®.

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-D1	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 minorations 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.

Les enrobages doivent en outre respecter le NF DTU13.1

3.1.7 Comportement du béton MCC1 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 MCC1, 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.

Voir le PV d'essai N° RE EEM 22-12875.

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 Materrup Argiroc ® 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.

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

Les reprises de bétonnage sont possibles sous réserve de respecter mes calculs de la norme NF EN 1992-1-1) §6.2.5 (formule 6.25), en considérant $c=0$ (donc en négligeant la reprise de cisaillement par le béton)

3.2 Principes de dimensionnement général d'une fondation

3.2.1 Généralités

Le principe de dimensionnement d'une fondation superficielle en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est le même qu'une fondation superficielle 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 § 3.1.3 Caractéristiques mécaniques.

3.2.2 Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

3.2.3 Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

3.2.4 Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

3.3 Principes de dimensionnement spécifique d'un radier

3.3.1 Généralités

Le principe de dimensionnement d'un radier (et notamment de grandes dimensions) en béton à base de Ciment d'argile MCC1® 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 § 3.1.3
Caractéristiques mécaniques, 3.1.4 Fluage et 3.1.5 Retrait.

3.3.2 Dimensionnement à l'ELU

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes (ELU) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

3.3.3 Dimensionnement à l'ELS

Le dimensionnement aux Etats Limites de Service (ELS) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

3.3.4 Dimensionnement à l'ELUA

Le dimensionnement aux Etats Limites Ultimes Accidentels (ELUA) d'une fondation en béton à base de Ciment d'argile MCC1® est identique à celui d'une fondation 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 MCC1 données au § 3.2.1 Généralités.

4 Disposition de mise en œuvre

4.1 Principe de mise en œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé MCC1 - Fondations est identique à celui d'éléments en béton traditionnel, et ne requiert pas de sujétions spécifiques, hormis le cas d'une température ambiante prévisible sur chantier inférieure à 5°C, où le coulage ne doit pas avoir lieu.

4.2 Cure de la face supérieure

La face supérieure des dallages doit systématiquement faire l'objet d'une cure par application d'un produit de cure.

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

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

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



4.3 Revêtement de surface

4.3.1 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.

4.3.2 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 MCC1 – Fondations devra tenir compte de la flèche nuisible conformément aux §. Vérification de la flèche nuisible.

4.3.3 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 NF DTU 59.3 (P74-203) : Peinture de sols (mai 1993).

L'application de revêtement de type peinture sur béton MCC1 est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

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 MCC1 est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

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 MCC1 est similaire à l'application sur béton à base de ciment Portland.

Revêtement d'étanchéité – anti-capillarité

Le traitement d'étanchéité au niveau des soubassements en béton MCC1 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 § Dimensionnement des fixations.

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.



6 Traitement en fin de vie

A la fin de la durée de vie du produit, les ouvrages du procédé MCC1- Fondations 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 - fondations,
- 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 Argiroc[®] dans le cadre du coulage des ouvrages du procédé MCC1 - Fondations.

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 seront systématiquement réalisées avant un chantier avec la présence du producteur de béton ainsi que le laboratoire R&D Materrup afin de valider la formulation.

Le laboratoire R&D Materrup, effectuera en complément systématiquement des contrôles sur chantier lors des premiers coulages de bétons avec un nouveau partenaire, avec rédaction d'un PV de contrôle.

Les bons de pesées correspondant aux prélèvements seront joints.

Le laboratoire R&D Materrup pourra, si besoin, en parallèle du coulage, être présent lors de la fabrication du béton en centrale pour les 1ers camions.

Ces contrôles porteront à la fois sur béton frais (slump, Mv, ...) et durci (résistances mécaniques...) sur plusieurs camions dont les 3 premiers pour la consistance.

Un contrôle par un laboratoire extérieur pourra être aussi organisé par le demandeur Materrup en complément des contrôles internes.

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 traditionnel.

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[®] disposeront 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.



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.

8.2.3 Plan d'Assurance Qualité Gros-Œuvre

Le coulage des ouvrages du procédé MCC1 - Fondation 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.

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) disponible sur demande.

Le béton à base de Ciment d'argile MCC1® fait l'objet de fiches en cours de validation.

10 Mention des justificatifs

10.1 Résultats Expérimentaux et retours d'expérience de chantier

Caractérisation du Ciment d'argile MCC1®

- ETPM-22/0077 du 2 juin 2022
- Rapport d'essai Sigma Béton n° R220803200019 - MCC1-C25/30-F1 (formule de référence)
- Retour d'expérience coulage Materrup à l'usine de Saint Geours de Maremne (40)
- Rapport d'essais du coulage dallage Materrup à Saint Geours de Maremne par ABC
- Retour d'expérience coulage allée piétonne chantier MAC Saint Vincent de Tyrosse (40)
- Retour d'expérience coulage aménagement d'une place à Soustons (40)
- Rapport d'essais du coulage aménagement d'une place à Soustons (40) par ABC
- Rapport d'essais sismiques du CSTB : RE EEM 22-12875
- Document « Propriétés physicomécaniques type des bétons Materrup »

10.2 Annexes – exemples de chantiers réalisés en béton

Coulage Béton C30/37 - dallage extérieur - Saint Geours de Maremne (40) - 21/12/2022



Coulage au camion pompe de deux dalles : environ 200 et 100 m²

Coulage béton C25/30 et C30/37 -allée piétonne et béton désactivé-
Saint Geours de Maremne (40) - 24/01/2023



Coulage allée piétonne d'environ 50 m de long



Coulage béton désactivé d'environ $2 \times 10 \text{ m}^2$



Coulage de l'allée : environ 100 m de longueur



Coulage au camion pompe d'une place : environ 1000 m²