

**GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS**

CAHIER DES CHARGES

CONCERNANT

LES TRAVAUX DE BETONNAGE

CDC-BET

CAHIER DES CHARGES CONCERNANT LES TRAVAUX DE BÉTONNAGE (CDC-BET)

TABLE DES MATIERES

1) GENERALITES	4	3.6) Propreté des coffrages.....	21
1.1) Définitions.....	4	3.7) Réservations, arêtes, trous d'ancrage	21
1.1.1) Entrepreneur.....	4	3.8) Produits de décoffrage.....	22
1.1.2) Entreprise soumissionnaire	5	3.9) Contrôle des coffrages.....	22
1.1.3) Direction des Travaux.....	5	4) PRODUCTION ET FOURNITURE DES BETONS	23
1.1.4) Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.)	5	4.1) Prescriptions générales	23
1.1.5) Documents de référence	5	4.2) Ciments.....	24
1.2) Règles générales.....	6	4.3) Eau de gâchage.....	24
2) ARMATURES EN ACIER	7	4.4) Sables et granulats	24
2.1) Généralités	7	4.5) Cendres volantes	24
2.2) Conditionnement	7	4.6) Adjuvants	25
2.3) Transport, manutention, stockage	7	4.7) Teneur en ions chlorures, réaction alcali-silice	25
2.4) Réception des lots d'armatures	7	4.8) Réaction alcali-silice	26
2.5) Façonnage.....	8	4.9) Types de béton	26
2.6) Arrimage.....	9	4.9.1) Béton brut de décoffrage	26
2.7) Calages et autres dispositifs.....	9	4.9.2) Béton poli en surface	26
2.8) Etat de propreté des armatures	10	4.9.3) Béton de granulats apparents	26
2.9) Enrobage des armatures en acier en fonction de la classe d'exposition	10	4.9.4) Béton léger	26
2.10) Contrôle des armatures avant bétonnage.....	12	4.9.5) Béton mousse pour application non structurelle	26
2.11) Plans de ferrailage.....	12	4.9.6) Béton drainant	27
2.12) Protection anticorrosion.....	13	4.9.7) Béton armé de fibres.....	27
3) COFFRAGES	14	4.9.8) Béton résistant au gel-dégel et au gel-dégel en présence d'agents de déverglaçage	27
3.1) Généralités	14	4.10) Information de l'Entrepreneur à la Direction des Travaux avant la commande du béton	27
3.2) Fonctions essentielles	15	4.11) Essai initial	28
3.3) Etude de coffrage	16	5) MISE EN ŒUVRE ET CONTROLES SUR CHANTIER DES BETONS	29
3.4) Nature et qualités des peaux de coffrage	17	5.1) Généralités	29
3.5) Etanchéité des joints entre les peaux de coffrage et des joints de reprise de bétonnage.....	21	5.2) Mise en œuvre du béton	30

5.2.1) Vibration interne	31
5.2.2) Vibration de surface.....	32
5.2.3) Surfaçage	32
5.2.4) Vibration externe	32
5.2.5) Bétonnage par temps froid	33
5.2.6) Bétonnage par temps chaud.....	35
5.2.7) Matériels de secours	35
5.3) Éléments massifs d'ouvrages en béton*.....	36
5.3.1) Généralités	36
5.3.2) Dispositions constructives et technologiques contre la formation de fissures dans le béton.....	36
5.3.2.1) Dispositions constructives	36
5.3.2.2) Dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait thermique	37
5.3.2.3) Dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait plastique	37
5.4) Décoffrage	38
5.5) Cure et protection du béton	39
5.5.1) Méthodes de cure.....	40
5.5.2) Commencement et durée de la cure	43
5.6) Programme de bétonnage.....	44
5.7) Programme de contrôles et d'analyses sur chantier du béton frais et durci et dispositions spécifiques	45
5.8) Tolérances dimensionnelles	47

6) DIRECTIVES POUR LA PRESCRIPTION ET L'ÉVALUATION DE BÉTON APPARENT	48
6.1) Définition	48
6.2) Éléments de prescription	48
6.3) Faisabilité.....	51
6.3.1) Caractéristiques dont l'atteinte ne peut techniquement être assurée.....	51
6.3.2) Écarts qui peuvent être évités de façon restreinte	51
6.3.3) Désordres techniquement évitables.....	52
6.4) Définition de la qualité d'aspect et de forme du parement	53
6.4.1) Généralités.....	53
6.4.2) Critères d'évaluation et exigences relatifs à la qualité d'aspect et de forme	53
6.5) Surfaces d'essais et surfaces de référence	54
6.6) Évaluation des parements.....	55
7) NETTOYAGE ET PROTECTION DES SURFACES DE BÉTON APRES RÉALISATION.....	56
ANNEXE A : CRITÈRES D'ÉVALUATION ET EXIGENCES RELATIVES AUX SURFACES DE BÉTON AVEC SPÉCIFICATIONS	57
A1) Généralités	57
ANNEXE B : PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ MODÈLE	

1) GENERALITES

Le présent cahier des charges fait partie intégrante du cadre normatif luxembourgeois 'Béton' tel que décrit dans la figure 1 du DNA EN 206. Il est d'application pour tous les travaux de bétonnage. L'utilisation d'éléments préfabriqués en béton est de plus soumise au respect des dispositions du cahier des charges concernant la fabrication et la mise en œuvre d'éléments préfabriqués en béton CDC-EPB.

1.1) Définitions

1.1.1) Entrepreneur

Entreprise adjudicataire responsable de l'exécution des travaux. Au sens de l'EN 206-1 : 2000 l'Entrepreneur est l'Utilisateur du béton. Au sens du présent document, l'Entrepreneur est responsable vis-à-vis de la Direction des Travaux de la qualité et de la mise en œuvre du béton.

L'entreprise adjudicataire désignera avant le début des travaux la personne responsable des travaux la représentant auprès de la Direction des Travaux. Tous les documents faisant partie du P.A.Q. sont à parapher par la personne responsable désignée.

Le responsable désigné des travaux ou son représentant qualifié, désigné dans le P.A.Q. en tant que responsable exécution, doit être présent sur le chantier lors des travaux.

Le responsable des travaux est plus particulièrement responsable :

- du contrôle de la conformité aux plans d'exécutions et au bordereau des prix, au cahier particulier des charges, au présent CDC, aux normes et dispositions de références des matériaux, des matériels, des éléments de construction ainsi que de l'ensemble de l'ouvrage ;
- de la réalisation dans le strict respect de toutes les mesures de sécurité de coffrages et d'échafaudages rigides et stables, aptes à reprendre toutes les charges en présence sans déformations ni déplacements inadmissibles ;
- de la détermination du moment de décoffrage et de démontage des échafaudages ;
- d'éviter la surcharge des éléments d'ouvrage réalisés ainsi que toutes les sollicitations au cours des diverses opérations et travaux ultérieurs qui pourraient nuire à la stabilité de la structure et à la qualité de surface des éléments d'ouvrage ;
- de mettre en œuvre toutes les mesures de sécurités temporaires nécessaires durant les travaux exécutés sous sa responsabilité.

COMMENTAIRES

Article 1.1.4)

* *Le plan de contrôle est également un guide destiné à structurer les phases d'organisation, de préparation et de contrôles avant, pendant et après l'exécution des travaux de bétonnage et à assurer la documentation de ceux-ci.*

1.1.2) Entreprise soumissionnaire

Entreprise ayant remis une offre valable mais à laquelle le marché des travaux n'a pas encore été attribué.

1.1.3) Direction des Travaux

La Direction des Travaux est constituée de la ou des personnes responsables désignée(s) par le Maître de l'ouvrage et représente celui-ci lors de l'exécution des travaux.

1.1.4) Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.)

Le P.A.Q. est un document établi par l'Entrepreneur avant les travaux en fonction d'un plan de contrôle prédéfini par le Maître de l'ouvrage dans le cahier particulier des charges. Le plan de contrôle doit répondre aux attentes et exigences en matière de documentation du présent cahier des charges, du cahier particulier des charges et du bordereau des prix. A cette fin, le plan de contrôle décrit de manière systématique l'ensemble des actions à mettre en œuvre afin de satisfaire aux exigences de qualité, d'information et de traçabilité du marché, avant, pendant et après l'exécution des travaux *. Il établit l'ampleur des autocontrôles que l'Entrepreneur doit formaliser. L'adaptation spécifique du P.A.Q. de l'Entrepreneur au plan de contrôle se fait en coordination avec la Direction des Travaux. En proposant une série de procédures, documents et formulaires standardisés, le PAQ et son plan de contrôle annexés en tant que modèles au présent CDC facilitent l'atteinte des objectifs mentionnés. Ces modèles ne sont pas exhaustifs. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, l'Entrepreneur complète le P.A.Q. par les différents documents demandés. Une version à jour du P.A.Q. doit être consultable sur le chantier. **La réception définitive de l'objet du marché ne peut être prononcée qu'après remise du P.A.Q. à la Direction des Travaux.** L'établissement du P.A.Q. fait l'objet d'une position distincte dans le bordereau des prix.

1.1.5) Documents de référence

Les documents de référence suivants font partie intégrale du présent CDC :

EC2 / EN 1992	Eurocode 2 : Calcul des structures en béton
EN 206-1	Béton - Partie 1: Spécification, performances, production et conformité
DNA EN 206	Document national d'application luxembourgeois de l'EN 206-1
EN 10080	Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé
DIN 488	Betonstahl
CDC - EPB	Fabrication et mise en œuvre d'éléments préfabriqués en béton
CDC - ETA	Travaux d'étanchéité des ouvrages d'art
CDC - GRA	Granulats et sables
CDC - CIM	Partie 1 Ciments à haute résistance aux sulfates
RILEM CDC 2	Méthodes d'essais de gel/dégel avec dégivants chimiques
Échelle CIB des teintes	
Échelle CIB du bullage	
DIN 18201	Toleranzen im Bauwesen: Begriffe, Grundsätze, Anwendung, Prüfung
DIN 18202	Toleranzen im Hochbau: Bauwerke

COMMENTAIRES

Article 1.2)

* Les dispositions de l'Annexe M du DNA EN 206 font partie intégrante du P.A.Q. de l'Entrepreneur.

** Dans le cadre des essais initiaux et du contrôle de la conformité du béton, la documentation de la certification suffit pour les recettes de béton certifiées resp. pour les centrales de bétons prêt à l'emploi pour lesquelles la production est certifiée par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées. Seules des centrales de bétons prêt à l'emploi bénéficiant d'une certification valide du contrôle de production suivant EN 206 DNA EN 206 sont habilitées à fournir un béton suivant DNA EN 206 (v. article 4.1)

*** Tous les bétons doivent être mis en œuvre et compactés dans le délai autorisé après leur malaxage. Ce délai doit impérativement figurer sur le bon de livraison du béton émis par la centrale à béton conformément au § 7.3 du DNA EN206.

1.2) Règles générales

- Le cadre normatif luxembourgeois 'Béton', décrit dans le DNA EN 206 est d'application. D'éventuelles prescriptions complémentaires fixées par le marché seront expressément rappelées par la Direction des Travaux lors de la première réunion de chantier.
- Les travaux de bétonnage doivent bénéficier d'un Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.) *.
- Tous les bétons employés doivent provenir d'une centrale à béton bénéficiant d'une certification valable du contrôle de production délivrée par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées du Luxembourg pour la qualité de béton demandée par le marché en conformité avec l'article 4.1 – Prescriptions générales -. Une inspection exceptionnelle dans le cadre du contrôle de production peut être requise.
- Si la provenance, la nature et la qualité des armatures, des coffrages et des composants des bétons ne sont pas fixées par le marché, celles-ci seront soumises par l'Entrepreneur à l'approbation de la Direction des Travaux.
- Préalablement à toute exécution, l'Entrepreneur doit soumettre à l'approbation de la Direction des Travaux les caractéristiques et informations relatives à tous les bétons demandés par le marché, conformément aux stipulations de l'article 4.10. – Information de l'Entrepreneur à la Direction des Travaux -.
- Les armatures, les coffrages et les bétons sont à mettre en œuvre conformément au présent CDC, au cahier particulier des charges, aux plans du marché, et/ou suivant les indications de la Direction des Travaux telles que communiquées à l'Entrepreneur par ordres de service.
- Les essais initiaux et tests d'identification ainsi que les contrôles de conformité relatifs aux bétons, coffrages, échafaudages, matériels de transport, d'acheminement et de mise en œuvre sont à charge de l'Entrepreneur. L'ensemble de ces essais et contrôle de conformité est à documenter par l'Entrepreneur dans le P.A.Q.**
- Les essais préalables visent à prouver la convenance des matériaux, coffrages, accessoires, produits de décoffrages, de cure, de traitement de surface, procédures de mise en œuvre etc. **aux exigences formulées par le Maître de l'ouvrage. Ils font obligatoirement l'objet de positions distinctes dans le bordereau des prix et sont décrits précisément dans le cahier particulier des charges. Ceci vaut également lorsque les essais préalables sont considérés comme obligatoires par le présent CDC.** En règle générale, la prescription de trois essais doit pouvoir être considérée comme suffisante. En l'absence de prescription, il appartient à l'Entrepreneur d'effectuer à sa charge les essais préalables qu'il estime nécessaire à l'obtention du résultat demandé. **L'absence de prescription des essais préalables ne décharge en aucun cas l'Entrepreneur de son obligation de résultat.**
- Les essais préalables et contrôles de conformité sont à documenter par l'Entrepreneur dans le P.A.Q.
- Avant la mise en œuvre du béton, l'Entrepreneur doit vérifier la composition de chaque livraison à l'aide des bons émis par la centrale. Toute livraison dépassant les limites fixées (composition, caractéristiques à l'état frais, délai de mise en œuvre ***) ou non conforme aux prescriptions du présent CDC et du marché sera refusée. Les bons de livraison des bétons, contrôlés et signés par l'Entrepreneur, sont à remettre à la Direction des Travaux.
- L'Entrepreneur reste responsable à l'égard de la Direction des Travaux de la conformité des armatures, des coffrages et des bétons aux stipulations du marché, de même qu'il est tenu d'effectuer tous les contrôles demandés dans le plan de contrôle et prévus dans le P.A.Q. resp. tous les autocontrôles nécessaires afin d'assurer une exécution conforme aux stipulations du marché.
- Il appartient à la Direction des Travaux resp. à tout autre organisme de contrôle de procéder aux contrôles et réceptions nécessaires dans le cadre des missions de maîtrise d'ouvrage qui leur sont confiées.

COMMENTAIRES)

Article 2.1)

* *Les armatures doivent être invisibles lorsque l'élément est terminé. Il faut éviter un effet négatif de celles-ci sur la qualité de surface des bétons: la position trop proche du parement peut entraîner, à terme, la formation de taches de rouille et l'éclatement de la surface. En règle générale, des armatures de diamètre inférieur, réparties régulièrement de façon parallèle en évitant un surplus de jonctions sont à préférer aux plus gros diamètres. L'enrobage nominal des armatures est défini à l'article 2.9.*

** *Dimension maximale nominale du granulats suivant le tableau T 4.1) 1 de l'article 4.1.*

Article 2.3)

* *Par altération des armatures on entend p.ex.:*

- *déformations permanentes accidentelles,*
- *ruptures d'assemblages,*
- *fissures, entailles,*
- *écaillage dû à l'oxydation*
- *souillures, etc.*

Article 2.4)

*

2) ARMATURES EN ACIER

2.1) Généralités

Avant la pose du ferrailage *, l'Entrepreneur vérifiera que le diamètre maximale des granulats du béton spécifié satisfait aux exigences garantissant le libre passage entre les armatures, entre les armatures et le coffrage ainsi que le remplissage de la plus petite section du coffrage **. L'Entrepreneur vérifiera également la présence d'espaces suffisants entre les armatures servant de puits de coulage et de vibration.

2.2) Conditionnement

Les barres d'armatures qui auraient dû être livrées droites mais qui ont été déformées en cours de fabrication, de transport ou de manutention, ne pourront être mises en œuvre qu'après découpe des parties déformées et à condition d'avoir, par la suite, encore une longueur utilisable. Le redressement de ces barres est interdit.

Les armatures livrées en couronnes ou en rouleaux ne sont acceptées que si le façonneur dispose d'un atelier de redressement adéquat.

Des armatures en rond lisse de même diamètre mais de nuances différentes ne peuvent pas être utilisées dans un même lot.

2.3) Transport, manutention, stockage

Toutes les opérations de transport, de stockage et de manutention sont organisées et effectuées de manière à éviter toute altération des armatures *.

Les armatures sont stockées dans un endroit propre et délimité.
Elles sont entreposées sans contact direct avec le sol et protégées des intempéries.
Elles sont classées par catégories, nuances et diamètres.

2.4) Réception des lots d'armatures

Les armatures doivent être à haute adhérence et répondre aux exigences des normes EN 10080 ; DIN 488.

- **La valeur spécifiée de la limite d'élasticité est $\geq 500 \text{ N/mm}^2$.**
- **La valeur spécifiée du module d'élasticité est $\geq 200\,000 \text{ N/mm}^2$.**
- **Toutes les nuances d'aciers doivent être soudables.**
- **Toutes les nuances d'acier doivent être pliables.**

L'acceptation des armatures est subordonnée:

- à leur identification (marquage, étiquetage) et à leur conformité aux prescriptions du présent CDC, du cahier particulier des charges, du bordereau des prix et des normes et dispositions de référence.
- à la conformité aux prescriptions des articles 2.2) - Conditionnement - et 2.3) - Transport, manutention, stockage - .

L'acceptation des armatures préfaçonnées est en outre subordonnée à la vérification de conformité aux dessins d'exécution.

La conformité des armatures aux spécifications demandées est à valider par l'Entrepreneur.

La Direction des Travaux se réserve le droit d'un contrôle par sondage.

COMMENTAIRES

Article 2.5)

- * *Le cintrage des armatures est effectué à vitesse constante et suffisamment modérée de façon à ne pas altérer les caractéristiques mécaniques de celles-ci, au moyen d'un jeu de mandrins répondant aux diamètres prévues. Seules des tolérances positives sur le diamètre de cintrage peuvent être accordées sous réserve de compatibilité avec le système structurale.*
- ** *Des précautions particulières peuvent être:*
 - *réduction de la vitesse de cintrage;*
 - *augmentation des diamètres des mandrins, sous réserve de la compatibilité des rayons de courbure avec le système structurale.*
- *** *Sous réserve d'essais préalables, à charge de l'Entrepreneur, le façonnage peut cependant être autorisé par la Direction des Travaux si la température des aciers descend en dessous de -5 °C. Ces essais sont à documenter dans le P.A.Q.*
- **** *Sous réserve de l'emploi d'un matériel adapté limitant les contraintes ponctuelles et sous réserve d'essais préalables, le redressement des armatures peut être autorisé par la Direction des Travaux. Dans ce cas, les dispositions du 'DBV-Merkblatt Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkasten' sont à prendre en compte.*

2.5) Façonnage

Si l'Entrepreneur n'exécute pas lui-même le façonnage des armatures, il soumet le choix du façonneur à l'acceptation préalable de la Direction des Travaux.

Le façonnage des armatures dans les coffrages est interdit.

La coupe des armatures est effectuée mécaniquement.
Les extrémités endommagées des armatures sont éliminées.

Les outils utilisés pour le cintrage * des aciers sont conçus de façon à ne pas altérer les reliefs des armatures.

Le préchauffage destiné à faciliter le façonnage des armatures, notamment à basse température, est interdit en dehors d'un cadre particulier de procédures approuvées par la Direction des Travaux.

Si la température des aciers est comprise entre +5 °C et -5 °C, des précautions particulières sont à prendre et à soumettre à l'approbation préalable de la Direction des Travaux ** .

Si la température des aciers descend en dessous de -5 °C, le façonnage des aciers est, en général, interdit *** .

Seuls les aciers à haute ductilité sont admis dans tous les cas où des déformations déterminantes de l'acier pendant la mise en œuvre et aux états-limites sont prévisibles.

Le pliage et le redressement des armatures est soumis à certaines conditions **** . Il est interdit pour des éléments d'ouvrage critiques en ce qui concerne la stabilité et/ou la durabilité. **Le pliage et le redressement répété des armatures est formellement interdit.**

Les diamètres minimums des mandrins utilisés pour le façonnage des aciers sont choisis en conformité avec les dispositions de l'EC 2 (- Courbures admissibles -) ainsi que les dispositions du DBV-Merkblatt Rückbiegen von Betonstahl und Anforderungen an Verwahrkasten.

COMMENTAIRES

Article 2.6)

- * *L'arrimage est destiné à assurer le maintien en position des armatures.*
- ** *Les ligatures sont fortement serrées au moyen d'un matériel adéquat. Elles sont à exécuter de façon à respecter l'épaisseur d'enrobage prescrite des armatures après bétonnage.*
- *** *La continuité mécanique des armatures peut être obtenue par recouvrement, par soudure ou par manchonnage, tout en respectant les prescriptions techniques y relatives et l'épaisseur d'enrobage. Le nombre des jonctions est cependant à réduire au minimum et le parallélisme des barres est à respecter strictement.*

Article 2.7)

- * *Les dispositifs utilisés pour la fixation des coffrages ou le positionnement des armatures doivent être mécaniquement stables. Ils ne doivent nuire ni à la résistance de la structure, ni à sa durabilité, ni encore à l'aspect de son parement.*
- ** *Le calage est destiné à assurer la position des armatures vis-à-vis des coffrages et à maintenir groupées des armatures distinctes.*
- *** *La teinte des cales peut par exemple être adaptée à la teinte du béton resp. la forme choisie des cales peut favoriser un contact minimal avec la peau de coffrage et un enrobage complet de la cale avec la laitance du béton.*

2.6) Arrimage

Les armatures peuvent être assemblées et arrimées * dans les coffrages, à condition qu'elles n'entrent pas en contact avec l'agent de décoffrage et que ces travaux n'endommagent pas les peaux de coffrage.

L'Entrepreneur doit constituer des ensembles d'armatures suffisamment rigides (barres de montage et raidisseurs) pour que les armatures ne puissent subir, lors des différentes opérations de mise en œuvre (manutentions diverses, déversement et compactage du béton, etc.), des déplacements excédant les tolérances fixées à l'article 2.9. – Enrobage des armatures en aciers en fonction de la classe d'exposition -.

Les armatures sont assemblées à tous les points de croisement par des ligatures ou par soudures en croix.

Les ligatures sont constituées de fils d'acier doux recuit **.

Les soudures en croix sont exécutées à la pince par un soudeur qualifié.

Le pointage à l'arc n'est toléré que pour les fixations de barres qui ne participent pas directement à la résistance de l'ensemble et qui le cas échéant sont indiquées comme telles dans les plans de ferrailage.

La continuité mécanique des armatures (jonctions) doit être garantie ***.

La disposition des jonctions est à choisir de façon à ce qu'il n'y ait pas présence de plus d'une jonction dans le même sens et dans le même alignement.

Les armatures en attente sont façonnées ou protégées de manière à assurer la sécurité du personnel dans le respect des dispositions de l'article 2.5. – Façonnage -.

De façon générale, des armatures destinées à rester en attente pendant plus de trente jours sont en tout cas à protéger par un traitement adéquat..

La protection d'armatures destinées à rester en attente pendant plus de trente jours pour des raisons constructives ou imputables à la Direction des Travaux est à spécifier dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

Dans le cas particulier du béton apparent, il incombe à l'Entrepreneur de prendre à sa charge toutes les dispositions utiles pour éviter les coulures de rouille en provenance des armatures en attente sur les parements.

2.7) Calages et autres dispositifs

Tous les dispositifs de fixation * destinés à rester **dans** le béton sont conçus de telle sorte qu'après décoffrage **aucun** élément métallique ne se trouve, par rapport à la surface coffrée ou non, à une distance qui soit inférieure à la valeur d'enrobage minimale prescrite additionnée le cas échéant des valeurs de sécurité supplémentaires Δc_2 relatives aux traitements ultérieurs du béton et/ou aux conditions d'exposition particulières (usure, feu, etc.).

Les cales ** sont disposées en nombre suffisant en conformité avec le ' DBV-Merkblatt Betondeckung und Bewehrung '.

Les cales en béton ou en mortier doivent présenter des propriétés analogues à celles du béton prescrit (béton étanche, haute résistance à l'usure, en fonction de la classe d'exposition : p.ex. résistance aux attaques chimiques, résistance au gel dégel en présence d'agents de déverglaçage, etc.).

En ce qui concerne le béton apparent, les cales ne doivent pas influencer l'aspect du parement.***

Les cales d'armatures en plastique sont interdites à partir de la classe d'exposition XC3 (incluse) ainsi que pour les classes d'exposition XD et XF.

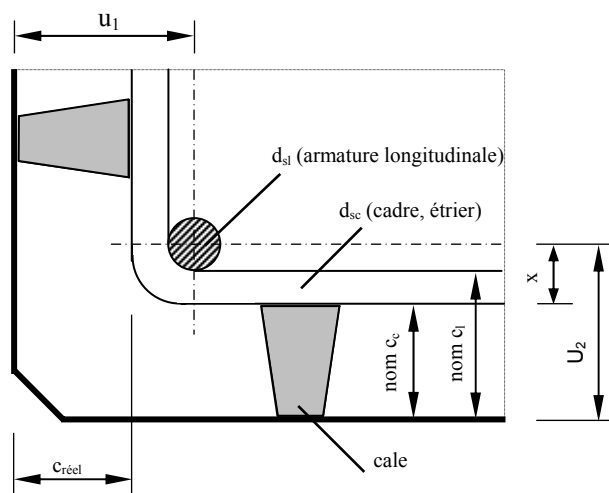
COMMENTAIRES

Article 2.8)

- * *Au moment de la mise en œuvre du béton, les armatures en place dans les coffrages doivent être propres et sans aucune souillure susceptible de nuire à l'adhérence du béton et/ou à l'aspect du parement.
A cette fin, l'Entrepreneur prendra toutes les dispositions utiles pour nettoyer les armatures avant leur mise en œuvre dans le coffrage resp. avant le bétonnage, p.ex. par brossage suivi d'un soufflage à l'air comprimé déshuilé.*

Article 2.9)

- * *L'enrobage est défini comme la distance entre la surface de l'armature (y compris épingles et étriers) et l'arase de béton la plus proche. Il est impératif de tenir compte du creux le plus profond de la surface du béton que les traitements ultérieurs (bouchardage, sablage, lavage, etc.) et/ou les joints (dimensions des baguettes !) peuvent créer.*



Enrobage après pose

$$\begin{aligned} c_{réel} &\geq \text{nom } c_c \\ &\geq \text{nom } c_l - d_{sc} \\ &\geq u_1 - d_{sl}/2 - d_{sc} \\ &\geq u_2 - d_{sl}/2 - d_{sc} \end{aligned}$$

sachant que l'enrobage nominal $c_{nom} = c_{min} + \Delta c$

2.8) Etat de propreté des armatures

A tous les stades d'exécution, l'Entrepreneur doit veiller à la propreté des armatures *.

Il veillera aussi à ce que les armatures n'entrent pas en contact avec le produit de décoffrage lors de leur mise en œuvre dans le coffrage.

2.9) Enrobage des armatures en acier en fonction de la classe d'exposition

La protection des armatures contre la corrosion dépend de la présence constante d'un environnement alcalin, procuré par une épaisseur appropriée de béton de bonne qualité **et ayant fait l'objet d'une cure convenable (article 5.5)**. L'épaisseur d'enrobage requise dépend à la fois des conditions d'exposition et de la qualité du béton

L'enrobage minimal requis (c_{min}) doit d'abord être déterminé en fonction de la classe d'exposition la plus contraignante et du diamètre des armatures. Il sera augmenté d'une valeur de sécurité (Δc_1) correspondant aux tolérances, en fonction du type et de la dimension de l'élément de structure considéré, du type de construction, des conditions d'exécution et du contrôle de qualité et des dispositions constructives. Des valeurs de sécurité supplémentaires (Δc_2) peuvent être requises p.ex. afin de constituer une couche d'usure (Δc_{usure}), de tenir compte des traitements mécaniques ou chimiques de la surface du béton pour les parements travaillés ($\Delta c_{traitement}$), en cas de bétonnage sur une surface inégale ($\Delta c_{inégalité}$) ou afin de garantir une certaine protection au feu (Δc_{feu}). Le résultat ainsi obtenu est l'enrobage nominal requis ($c_{nom} = c_{min} + \Delta c_1 + \Delta c_2$) qui devra être spécifié sur les plans.

En règle générale, et ceci afin de garantir de bonnes conditions d'exécution, une position pour la fourniture et la mise en œuvre d'une couche de béton de propreté nivelée est à prévoir dans le bordereau des prix.

Les valeurs c_{min} et c_{nom} à respecter pour les cas courants sont données dans le tableau T.2.9) 1 :

COMMENTAIRES

Article 2.9)

** Convenance de la composition du béton et de la nature des constituants en fonction de la nature et de l'ampleur des sollicitations.

T.2.9) 1 Enrobage des armatures

Classe d'exposition ¹⁾	Ø armature d_s ²⁾ [mm]	enrobage minimal c_{min} ⁴⁾ [mm]	enrobage nominal c_{nom} [mm]
XC1	jusqu'à 10	10	20
	12 ; 14	15	25
	16 ; 20	20	30
	25	25	35
	28	30	40
XC2, XC3	jusqu'à 20	20	35
	25	25	40
	28	30	45
XC4	jusqu'à 25	25	40
	28	30	45
XD1, XD2, XD3 ³⁾	jusqu'à 28	40	55

¹⁾ En cas de combinaison de plusieurs classes d'exposition pour un élément d'ouvrage, la classe d'exposition la plus contraignante sera choisie.

²⁾ Pour les faisceaux d'armatures, le diamètre équivalent est à considérer.

³⁾ La classe XD3 peut nécessiter la mise en œuvre de mesures de protection complémentaires contre la corrosion des armatures.

⁴⁾ Pour les armatures de précontrainte, les dispositions de la DIN 1045-1 sont d'application.

Cas nécessitant une augmentation de l'enrobage :

- Eléments de construction en béton léger
condition supplémentaire : enrobage minimal c_{min} au moins supérieur de 5 mm au D_{max} de l'agrégat poreux léger. Ceci n'est pas nécessaire pour la seule classe d'exposition XC1
- Résistance à l'abrasion
sous conditions **, la résistance à l'abrasion peut alternativement être assurée par une augmentation de l'enrobage (couche d'usure Δc_{usure})
Des valeurs pour l'épaisseur de la couche d'usure variant de $\Delta c_{usure} +5$ à $+15$ mm en fonction des sollicitations sont données à titre indicatif dans la DIN 1045-1 – Betondeckung -
- Bétonnage sur une surface inégale
la valeur de sécurité Δc ($c_{nom} = c_{min} + \Delta c + \Delta c_{inégalité}$) est à augmenter
 - en générale de la différence de planéité constatée
 - au moins d'une valeur minimale $\Delta c_{inégalité} \geq + 20$ mm
 - dans le cas d'un bétonnage en pleine fouille de $\Delta c_{inégalité} \geq + 50$ mm

Il est également fait référence à l'EC2 - *Enrobage* - pour les dispositions complémentaires concernant le béton précontraint ainsi que pour les cas autorisant une réduction de l'enrobage. Le cas échéant, les dispositions autorisant une réduction de l'enrobage de la DIN 1045-1 peuvent être appliquées.

Pour des raisons de durabilité et indépendamment des tolérances définies, l'enrobage des aciers ne doit pas être inférieur aux valeurs c_{\min} du tableau ci-dessus. Les tolérances négatives admissibles ne peuvent donc dépasser la différence Δc entre l'enrobage nominale c_{nom} et l'enrobage minimale c_{\min} , et ce **en tout point** de l'élément en béton.

La tolérance sur la position des armatures résulte des tolérances admises sur l'enrobage par rapport à c_{nom} et des tolérances vis-à-vis de la sécurité de la structure par rapport aux **dimensions de la section de béton** et par rapport à la **hauteur utile**. Ces dernières sont définies comme suit :

- pour $l \leq 150$ mm : $\Delta l = \pm 10$ mm
- pour $l = 400$ mm : $\Delta l = \pm 15$ mm
- pour $l \geq 2500$ mm : $\Delta l = \pm 30$ mm

Les autres valeurs de l donnent lieu à une interpolation linéaire.

Il est bien spécifié que l'enrobage minimal des armatures doit toujours être garanti.

En ce qui concerne la position des câbles de précontrainte par rapport à la position de calcul il est fait référence à l'EC2.

2.10) Contrôle des armatures avant bétonnage

Les contrôles sont effectués par l'Entrepreneur dans le cadre du plan de contrôle.

La date et l'heure de bétonnage sont à communiquer 2 jours ouvrables à l'avance à la Direction des Travaux.

Le contrôle des armatures avant bétonnage est à documenter dans le P.A.Q en fonction du plan de contrôle. L'Entrepreneur vérifiera que le contrôle du ferrailage a été effectué, que les puits de bétonnage et les points de plongée des vibreurs sont préparés et aménagés s'il y a lieu, que la mise en œuvre des armatures a été réalisée conformément aux plans d'exécution, aux prescriptions du cahier particulier des charges, du bordereau des prix et du présent CDC.

2.11) Plans de ferrailage

La réalisation de plans de ferrailage n'est à charge de l'Entrepreneur que dans la mesure où elle est expressément demandée par le cahier particulier des charges et le bordereau des prix ou si l'Entrepreneur propose ou exécute avec l'accord de la Direction des Travaux un ferrailage différent de celui des plans du marché.

Dans tous les cas, les plans de ferrailage précisent:

- la classe de résistance du béton, la catégorie de béton suivi de l'indication entre parenthèses de la/des classe(s) d'exposition **spécifiquement déterminée(s)**, le diamètre maximale nominale du granulat ainsi que les autres prescriptions ;
- la qualité de l'acier des armatures ;
- quantités, diamètres, formes et positions des armatures, entre-distances, longueurs de recouvrement, longueurs d'ancrage, dispositions des soudures, matériaux de soudure, types et positions des moyens de liaisons mécaniques ;
- diamètres des mandrins de pliages ;
- le recouvrement de béton prescrit et les écarts de position admissibles suivant les prescriptions de l'article 2.9. - Enrobage des armatures en acier en fonction de la classe d'exposition ;
- les dispositions d'arrimage et de calages des armatures y compris les types de cales ; leur nombre et leur répartition ;
- les détails relatifs à la réalisation des joints de dilatation, de tassement, etc. ;
- la position et les dimensions des puits de bétonnage, ainsi que le positionnement des points de plongée des aiguilles vibrantes (article 5.2.1.);
- la liste des armatures par position, y compris leurs diamètres, leurs longueurs respectives ainsi que leurs poids respectifs et totaux ;
- toutes autres dispositions et remarques particulières relatives à l'assurance qualité.

Au cas où l'Entrepreneur établit lui-même le plan de ferrailage, il doit également présenter les notes de calcul à la base du dimensionnement, contrôlées et signées par un Ingénieur agréé par la Direction des Travaux.

2.12) Protection anticorrosion

La protection anticorrosion des armatures est décrite dans le cahier particulier des charges et fait l'objet d'une position distincte dans le bordereau des prix.

L'Entrepreneur doit prendre toutes les précautions nécessaires afin de supprimer tout risque de détérioration susceptible de nuire à la qualité, à la durabilité et à la continuité de la protection.

Si la protection est détériorée, l'armature sera refusée.

COMMENTAIRES

Article 3.1)

* *p.ex. coffrage grim pant ; glissant ; simple face*

** *p.ex. coques, voûtes, voiles à section variable, surfaces incurvées, biaisées, ...*

3) COFFRAGES

3.1) Généralités

Un coffrage est un moule assemblé sur chantier ou pré-assemblé en atelier qui permet de former des éléments d'ouvrages en béton. Les coffrages peuvent intégrer des consoles de travail avec garde-corps ainsi que des étaçons de montage.

Lorsque les éléments d'un ouvrage sont destinés à rester apparents, le coffrage joue un rôle essentiel dans l'aspect de ceux-ci. Dans ce contexte, deux systèmes de coffrage sont plus particulièrement à distinguer parmi les différents outils existants :

- le **coffrage poutrelle**, constitué d'une peau de coffrage rigide montée sur une ossature constituée de poutrelles et de cintres. Ce type d'outil permet dans une large mesure l'adaptation du coffrage à une trame de calepinage prédéterminée ;
- le **coffrage cadre modulaire**, constitué d'une peau de coffrage insérée dans un cadre métallique rigidifié, dont les dimensions s'inscrivent dans une trame modulaire fixe, y compris en ce qui concerne le positionnement des trous d'ancrage. Le cadre métallique marque généralement la surface du béton de son empreinte.

Des spécifications particulières sont à prévoir dans le bordereau des prix et le cahier particulier des charges pour des coffrages circulaires, spéciales* resp. pour le coffrage d'éléments à géométrie variable** si des conditions particulières d'exécution ou de résultat sont à prendre en considération par l'Entrepreneur.

La peau de coffrage est la principale partie de l'outil en contact avec la surface du béton. Le matériau de la peau de coffrage peut être de différentes natures (v. article 3.4 – Nature et qualités des peaux de coffrage -).

Le coffrage étant le négatif de la surface du béton de l'élément d'ouvrage à réaliser, sa qualité, ses caractéristiques et sa préparation sont, parmi d'autres critères, déterminantes pour la qualité de surface du béton.

Dans le cadre de la réalisation de béton laissé brut de décoffrage, sans exigences particulières ou étendues concernant l'apparence, des qualités minimales d'aspect de surface et de forme peuvent être définies conformément au tableau T.A) 6.1 de l'annexe A.

Dans le cadre de la réalisation de béton apparent, la définition préalable de qualités d'aspect et de forme conformément au chapitre 6- Directives pour la prescription et l'évaluation de béton apparent – est obligatoire.

Par la suite, le terme « parement » désigne uniquement la surface d'élément de béton apparent obtenue soit directement après décoffrage soit après traitement de surface du béton coffré ou non coffré et pour laquelle des exigences de qualité d'aspect et de forme ont été formulées.

COMMENTAIRES

Article 3.2)

- * ***Si aucune autre prescription particulière n'est faite, les tolérances dimensionnelles sont définies en fonction de la DIN 18202 dans les dispositions du cahier particulier des charges. En cas de spécification d'une qualité d'aspect et de forme conformément au chapitre 6, respectivement de qualité de forme pour du béton laissé brut de décoffrage, des exigences de tolérances dimensionnelles plus restrictives peuvent être définies conformément au tableaux T.A) 4.0 à T.A) 4.4 de l'annexe A (voir chapitre 5.8 - Tolérances dimensionnelles - .***

3.2) Fonctions essentielles

Les coffrages doivent être conçus, préparés et assemblés de façon à assurer leurs fonctions essentielles, à savoir:

- Réaliser les formes géométriques prévues par le marché dans le respect des tolérances dimensionnelles* définies dans le présent CDC ou séparément prescrites dans le cahier particulier des charges ;
- Résister aux sollicitations imposées et assurer que la déformation infligée sous l'effet du poids et de la poussée du béton, du compactage et des autres charges d'exploitation soit inférieure aux tolérances dimensionnelles définies ;
- Satisfaire aux qualités d'aspect des parements spécifiées conformément au chapitre 6 pour les éléments d'ouvrages en béton apparent. Ceci en tenant compte entre autres de la qualité, des tolérances dimensionnelles, du degré de réemploi et d'usure, de la propreté et de l'étanchéité du coffrage utilisé ;
- Permettre une mise en place soignée des armatures et une mise en œuvre soignée du béton, compte tenu de la géométrie de la structure et des moyens d'exécution prévus ;
- Permettre le décoffrage, sans endommager le béton.

La prise en compte pour le coffrage de la géométrie, des dimensions, de la découpe et du calepinage des joints des panneaux de coffrage, de la position des trous d'ancrage et de la position des joints de reprises de bétonnage en conformité avec l'aspect géométrique des parements spécifié dans les plans de soumissions fait l'objet d'une position distincte dans le bordereau des prix.

L'absence d'empreintes des éléments de fixation des peaux de coffrage (têtes de clous, de vis, etc.) sur les parements est spécifiée dans le cahier particulier des charges et fait l'objet d'une position distincte dans le bordereau des prix.

Le nombre de réemploi des coffrages doit être prévu de façon à assurer la régularité requise de teinte, de texture et de la forme géométrique spécifiée pour les parements.

La résistance des coffrages aux sollicitations imposées doit faire l'objet d'une note de calcul.

L'épaisseur minimale des peaux de coffrage et la rigidité de l'ossature doivent être suffisantes pour éviter les mises en résonance suite au compactage par vibration du béton.

COMMENTAIRES

Article 3.3)

- * *L'ouverture de joint se traduit par des fuites de laitance. Les nids de graviers en résultant sont inacceptables pour les parements de béton apparent. Pour les surfaces non apparentes une méthode de ragréage ayant fait l'objet d'une étude préalable et validée par la Direction des Travaux, ayant pour objet de garantir la résistance mécanique et la durabilité dans les conditions d'exposition définies du béton et des armatures de l'élément de l'ouvrage concerné, sera mise en œuvre au frais de l'Entrepreneur.*

3.3) Etude de coffrage

L'étude de coffrage fait partie de la préparation des travaux par l'Entrepreneur et du P.A.Q. Il soumettra cette étude à l'approbation de la Direction des Travaux avant le début des travaux.

L'étude de coffrage comprend:

- toutes les notes de calcul relatives à la stabilité et aux déformations du coffrage, des échafaudages, des cintres et autres éléments de soutènement ;
- les plans d'échafaudages, des cintres et autres éléments de soutènement cotés au millimètre ;
- les plans de coffrage et de calepinage définitifs, cotés au millimètre, avec représentation des éléments suivants :
 - panneaux de coffrage y compris éléments de compensation, de réservation, coffrages de rive, etc. avec indication de la géométrie, des dimensions, de la découpe des joints des panneaux et autres éléments de coffrage dans le plan de coffrage ;
 - positions, diamètre(s) et type(s) d'écarteur ;
 - La position des écarteurs est à indiquer sur le plan de calepinage. Une représentation du type / système d'écarteur avec accessoires (bouchons, cônes, plaque d'étanchéité, etc. y compris moyens d'obturation des trous d'ancrage à l'échelle 1:2 est à joindre ;
 - Position, géométrie, dimensions et qualité des baguettes d'angle dans le plan de calepinage ;
 - Position, géométrie, dimensions et qualité des joints de dilatation, de retrait, de rupture et de tassement, des joints d'étanchéité et des joints de reprise de bétonnage dans le plan de calepinage ;
- la nature, la qualité, l'épaisseur et la provenance des peaux de coffrage ;
- la nature et les consignes de mise en œuvre du produit de décoffrage suivant l'article 3.8 ;
- l'agencement des assemblages entre les différents éléments de coffrage, de sorte qu'il ne puisse se produire ni ouverture de joint * ni désaffleurement ;
- les dispositions relatives à la préparation des coffrages, le traitement préalable des peaux de coffrage, à leur mise en œuvre et au décoffrage, ainsi que toutes les consignes y relatives;
- les procédures relatives au nettoyage, à la protection et au stockage des coffrages;
- le plan de réemploi des coffrages et les procédures y relatives.

Pour les ouvrages en béton apparent les spécifications faites conformément aux dispositions du chapitre 6 dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix sont de plus à respecter.

Pour les coffrages courants, l'étude de coffrage peut être soumise à l'approbation de la Direction des Travaux sous forme d'un document standard (non explicitement spécifique au marché).

COMMENTAIRES

Article 3.4)

- * *Il se peut que la nature de la peau de coffrage ait été choisie afin d'obtenir un certain aspect de parement, une proposition de substitution ne pourra alors être acceptée.*

Article 3.4.a)

- * *Les bois trop jeunes, notamment ceux à tanins tels que chênes et châtaigniers, conifères présentant des nœuds, etc. sont à proscrire.*

On utilise normalement des bois résistants, se déformant peu tels que le pin ou l'épicéa.

Le nombre limité de réemploi est à prendre en compte.

Certains bois durs, les bois fruitiers en particulier, protégés par des peintures-résines (peaux de coffrage non-absorbantes dans ce cas), sont mieux adaptés grâce à leurs qualités de résistance à l'usure.

Après une première utilisation, le bois perd une partie de sa porosité et les parements obtenus par la suite ne seront plus exactement de la même teinte. Le pouvoir d'absorption des planches décroît avec le nombre de réutilisations. Un vieillissement artificiel par application d'une laitance de ciment et brossage ultérieur permet d'homogénéiser le pouvoir d'absorption des planches neuves.

Il convient tout particulièrement d'éviter les risques de réactions chimiques de la peau de béton avec les sucres qui peuvent être contenus dans le bois en soumettant les planches neuves à un vieillissement artificiel par application d'une laitance de ciment et brossage ultérieur.

Si le concept architectural le permet, les planches de bois sciées (brutes ou rabotées) offrent une solution de coffrage fiable pour l'obtention de parements bruts de décoffrage d'aspect régulier.

- ** *L'humidification a lieu pour éviter l'absorption d'une partie de l'eau du béton et le gonflement du coffrage après mise en œuvre du béton.*

- *** *La protection des planches a lieu à tous les stades d'exécution et des précautions sont à prendre quant à leur stockage et à leur exposition à la lumière.*

Article 3.4.b)

- * *Les panneaux de particules sont utiles pour le coffrage des surfaces courbes.*

3.4) Nature et qualités des peaux de coffrage

La nature des peaux de coffrage peut varier en fonction des distinctions suivantes *:

- lisse
- texturée
- structurée
- absorbante
- non absorbante
- spéciale

Les caractéristiques énoncées peuvent être plus ou moins prononcées. Si des spécifications particulières relatives aux surfaces coffrées du béton sont définies, le cahier particulier des charges et le bordereau des prix doivent indiquer la nature de la peau de coffrage à mettre en œuvre, ses caractéristiques ainsi que sa qualité suivant le tableau T.3.4) 2. Le tableau T.3.4) 1 renseigne de manière indicative sur les caractéristiques de différentes peaux de coffrage.

L'Entrepreneur propose à l'acceptation de la Direction des Travaux la nature, la qualité et la provenance des peaux de coffrage en justifiant qu'elles sont bien adaptées aux exigences prescrites.

L'Entrepreneur ne peut mettre en œuvre une peau de coffrage de nature différente à celle prévue au marché sans l'autorisation de la Direction des Travaux *.

Les peaux de coffrage sont constituées de matériaux de même nature et présentant des caractéristiques de surface identiques. La mise en œuvre dans un même coffrage d'éléments présentant des pouvoirs d'absorption d'eau différents est proscrite, sauf si un certain aspect esthétique est visé.

Les prescriptions suivantes sont d'application générale:

a) Planches de bois sciées *

- sont alignées de façon parallèle, à arêtes vives et rabotées sur les faces jointives (elles sont rabotées sur toutes les faces si le marché le prescrit);
- sont constituées de matériaux de même nature, ayant les mêmes caractéristiques de surface et le même degré de réemploi;
- sont employées à l'état sec; ils sont humidifiés avant le coulage du béton **;
- sont protégées contre les intempéries ***,

Avant emploi un vieillissement artificiel par application d'une laitance de ciment, teintée en cas de mise en œuvre de béton teinté dans la masse, et brossage ultérieur est à réaliser par l'Entrepreneur. Un traitement de surface à la soude, par brûlage ou par sablage peut être prescrit dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

b) Contreplaqués et panneaux de particules *

Les panneaux de particules doivent, sauf prescription contraire, être revêtus d'un film protecteur non-absorbant résistant aux rayons UV et au milieu alcalin du béton frais.

Les contre-plaqués et les panneaux de particules sont à protéger des intempéries et de l'exposition aux rayons UV.

Lors de la jonction de plusieurs panneaux, l'Entrepreneur doit apporter un soin particulier à la conception, à l'étanchéité et à la régularité d'aspect des joints.

Les panneaux ne sont réemployés que dans la mesure où une protection contre l'usure des arêtes et contre la pénétration de l'eau a été assurée.

COMMENTAIRES

Article 3.4.c)

- * *L'acier donne une texture lisse au béton.
Par contre, le risque de bullage est plus grand et la teinte est moins uniforme qu'avec un matériau absorbant, ceci a particulièrement pu être observé en cas d'utilisation de tôles minces.
Le nombre de réemplois des peaux de coffrage métalliques est élevé.*
- ** *Les peaux de coffrages en aluminium doivent, outre les prescriptions d'entretien, de rigidité et d'épaisseur, être protégés par un vernis époxydique afin d'éviter les réactions chimiques avec le ciment du béton.*

Article 3.4.d)

- * *Les élastomères permettent p.ex. la reproduction fidèle d'une matrice mère. Il existe toute une gamme de produits de rigidité varié.
L'élastomère silicone facilite les opérations de démoulage en raison de son faible pouvoir d'adhésion.
Les élastomères type polyuréthane permettent un assemblage et une fixation par collage relativement facile.*

c) Panneaux métalliques *

La surfaces des tôles d'acier ** au contact du béton doit être parfaitement plane et les caractéristiques de surface homogène. Elle peut être brute ou polie. Afin de garantir une régularité de teinte il faut utiliser des tôles d'acier polies, d'épaisseur régulière et suffisante.

Il est interdit d'intercaler un élément de moindre rigidité (p.ex. polystyrène expansé) entre deux éléments d'un moule métallique devant être mis en vibration (vibration externe), afin de ne pas faire apparaître des défauts d'aspect du parement provenant de l'amortissement de la vibration au droit de cet élément.

Les panneaux métalliques sont à protéger contre les intempéries, et des dispositions spéciales sont à prendre lors de leur emploi par temps froid (article 5.2.5) resp. par temps chaud (article 5.2.6) afin de maintenir le béton dans une fourchette de température non préjudiciable au développement de sa résistance ($10^{\circ}\text{C} \leq T < 30^{\circ}\text{C}$).

d) Peaux de coffrage structurées

Les peaux de coffrage structurées * sont utilisées pour réaliser des parements structurés.

Il est rappelé que l'enrobage minimal des aciers doit être assuré en chaque point de la surface d'un élément en béton armé (article 2.9. - Enrobage des armatures en acier en fonction de la classe d'exposition -)

L'Entrepreneur soumettra à la Direction des Travaux une peau de coffrage tenant compte des caractéristiques de l'élément à fabriquer.

Tableau T 3.4) 1 Caractéristiques indicatives de différentes peaux de coffrage

	1	2	3
	Nature	Type	Caractéristiques de la surface du béton décoffré
1	absorbante	Panneau bois non revêtu (aggloméré de particules)	Texture légèrement rugueuse Forte variation de teinte Auréoles
2		Planche brute sciée	Texture rugueuse de l’empreinte en fonction de la méthode de sciage et du degré de réemploi Teinte variant de foncée à claire en fonction de la capacité d’absorption du bois et du degré de réemploi Fibres de bois susceptibles de rester accrochées en surface
3		Planche rabotée	Texture lisse de l’empreinte, veinage discernable Teinte variant de foncée à claire en fonction de la capacité d’absorption du bois et du degré de réemploi
4			
5	peu absorbante	Bois à surface poncée non revêtu (p.ex. panneau 3 plis, planche)	Texture lisse, léger veinage Capacité d’absorption déclinante en fonction du degré de réemploi
6		Contreplaqué non pelliculé	Texture légèrement rugueuse Veinage partiellement discernable
7		Panneau de bois latté	Texture lisse, léger à fort veinage en fonction du traitement de surface (poli ; brossé)
8			
9	non absorbante	Panneau pelliculé - contreplaqué - contreplaqué latté - contreplaqué lamellé	Surface lisse, non texturée Tendance aux marmorescences, auréoles, variations de teinte
10		Panneau synthétique	Surface lisse, non texturée Teinte très claire
11		Matrice élastomère	Texture et structure suivant spécification du fabricant Teinte claire
12		Tube de coffrage	Surface lisse Tendance aux marmorescences et au bullage prononcée
13		Panneau métallique	Surface lisse Tendance aux marmorescences et au bullage prononcée Trace de rouille possible
14	Spéciale	Membrane drainante	Texture de la membrane Très peu de bullage Teinte foncée Risque de plis

T.3.4) 2 Qualités de peaux de coffrage

Conformément aux articles 3.5 – Etanchéité des joints entre les peaux de coffrage et des joints de reprise de bétonnage- et 6.3.3 – Désordres techniquement évitables -, toutes les qualités de peaux de coffrage doivent permettre la réalisation de coffrage et de reprise de bétonnage suffisamment étanche.

1		2		3		4	
1	Critères	Qualités de peaux de coffrage					
		QP1	QP2	QP3 ⁽¹⁾			
1	Trous forés	à fermer avec des bouchons en plastique	autorisés dans le cadre d'une réparation locale ⁽²⁾	non autorisés			
2	Trous de fixation (cloutage, vissage)	autorisés	autorisés en l'absence d'éclats	autorisés dans le cadre d'une réparation locale en accord avec la Direction des Travaux ⁽²⁾			
3	Détérioration de la peau de coffrage due à l'aiguille vibrante	autorisée	non autorisée	non autorisée			
4	Griffures	autorisées	autorisées dans le cadre d'une réparation locale ⁽²⁾	autorisées dans le cadre d'une réparation locale en accord avec la Direction des Travaux ⁽²⁾			
5	Restes de béton	autorisés dans les creux (sillons, joints, trous), non autorisés en tant qu'adhésions de surface	non autorisés	non autorisés			
6	Voile de ciment	autorisé	autorisé	autorisé en accord avec la Direction des Travaux			
7	Gonflement de la peau de coffrage au droit des fixations (clous, vis)	autorisé	non autorisé	non autorisé			
8	Réparations locales ⁽²⁾	autorisées	autorisées	autorisées en accord avec la Direction des Travaux			

⁽¹⁾ La réutilisation d'une peau de coffrage peut être soumise à restriction. Le cas échéant, le nombre maximum de réemplois autorisé sera précisé dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix. Cette disposition ne relève cependant pas l'Entrepreneur de son obligation de résultat. En pratique, il se peut que les exigences à satisfaire pour la qualité QP3 exclues le réemploi d'une peau de coffrage.

⁽²⁾ Les réparations sont à exécuter par du personnel qualifié. La qualité de la réparation est à contrôler avant chaque mise en œuvre du coffrage.

COMMENTAIRES

Article 3.5)

* *L'étanchéité peut p.ex. être assurée pour:*

les planches de bois : - par rainure et languette,
- par aboutage des rives rabotées à joint vif compressé

les panneaux : - avec une bande en matière résiliente arasé après mise en œuvre,
- par liaison avec un mastic adhérent dans l'épaisseur du joint,
- par rainure et languette ou fausse languette
- par feuillure à mi-bois et paume grasse

Article 3.6)

* *Avant humidification ou application d'un produit de décoffrage et avant mise en place du béton, les coffrages sont débarrassés de toutes souillures susceptibles de tacher la surface des parements et ensuite nettoyés à l'air comprimé déshuilé.*

** *Si des eaux de pluie, d'infiltration ou de ressuage sont susceptibles de se concentrer au niveau des réservations ou d'arêtes, des dispositifs sont à aménager afin d'évacuer ces eaux.*

Article 3.7)

* *Les réservations sont à réaliser par la mise en place de coffrages appropriés, agencés de manière à pouvoir être aisément retirés en totalité au décoffrage.*

Certains éléments de coffrage peuvent être noyés dans le béton en y restant comme coffrage perdu ou habillage définitif.

3.5) Etanchéité des joints entre les peaux de coffrage et des joints de reprise de bétonnage

Les joints entre les peaux de coffrage, les joints entre les panneaux de coffrage ainsi que les joints de reprise de bétonnage doivent être suffisamment étanches à la laitance afin de garantir le **recouvrement minimal des armatures** et la **durabilité** de l'élément d'ouvrage* et de satisfaire le cas échéant aux **exigences de qualités d'aspect et de forme** prescrites conformément au chapitre 6.

L'assemblage doit être étudié pour les assemblages dans un même plan et pour les assemblages en angle (p.ex. assemblage d'onglet). Dans le cadre des parements, une attention toute particulière est à accorder à la présence ou non de faces de rives découvertes (p.ex. le coté scié d'un panneau mélaminé) lors de l'assemblage qui, de par leur nature de surface différentes, marqueront de leur empreinte les parements. Ceci vaut également pour les empreintes laissées par les différents matériaux d'étanchéité éventuellement utilisés.

3.6) Propreté des coffrages

Les coffrages doivent être propres*.

Les traces de rouille sur les coffrages et les chutes de fil de ligature sont à éliminer immédiatement.

Des précautions sont à prendre afin de protéger les coffrages des intempéries, des feuilles tombantes, de la poussière, des dépôts de pollens et de toutes autres salissures.

Les éléments de coffrage, jugés aptes au réemploi, sont nettoyés, remis en état et protégés contre les intempéries.

Des dispositions particulières permettant le cas échéant le nettoyage avant bétonnage du coffrage assemblé sont à prévoir. Tout ce qui peut constituer une source de salissures ou d'altération du béton est à éliminer. Dans ce but, des ouvertures provisoires sont à aménager dans les coffrages afin d'évacuer les eaux** de quelque nature qu'elles soient ainsi que les souillures éventuelles (fils de ligature, matériaux tombés, déchets, eaux stagnantes, neige, glace, etc.) avant le bétonnage.

3.7) Réservations, arêtes, trous d'ancrage

Les réservations*, les pièces traversantes et les baguettes d'arrêt, sont conçus et fixés de façon:

- à conserver leur position durant le bétonnage, sans aucune déformation;
- à présenter une étanchéité suffisante au contact avec les peaux de coffrage,
- à respecter les tolérances définies.

Les angles rentrants ou sortants des coffrages sont à chanfreiner au moyen de baguettes aux dimensions géométriques prescrites dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix. **Cette prestation fera l'objet d'une position particulière dans le bordereau des prix.**

La confection d'angles vifs dans le cadre de la réalisation d'éléments d'ouvrage en béton apparent fera l'objet d'une position particulière dans le bordereau des prix.

L'emplacement, la forme et les dimensions des écarteurs du coffrage et des trous d'ancrage sont définis sur base d'un plan de calepinage conformément à l'article 3.3 – Etude de coffrage - respectivement à l'article 6.2 - Eléments de prescription - et repris par l'Entrepreneur dans ses plans d'exécution.

Les trous d'ancrage sont obturés après décoffrage, sauf indication contraire de la Direction des Travaux ou autre prescription du cahier particulier des charges et du bordereau des prix, au moyen d'un mortier de même teinte et de même aspect que le béton de l'élément de l'ouvrage resp. par un système de bouchons destiné à cet usage.

COMMENTAIRES

Article 3.8)

* *Les produits de décoffrage se présentent sous forme liquide ou pâteuse (cire). Ils peuvent contenir ou non des tensioactifs, des additifs antirouille, des additifs d'onctuosité, des solvants, etc.,*

Dans le cas de peaux de coffrage en bois, on peut procéder, avant le bétonnage, à un arrosage prolongé en plusieurs phases avec évacuation de l'eau en excès à l'air comprimé déshuilé. A cet effet des évacuations sont à aménager. Celles-ci sont obturées avant bétonnage. Elles ne doivent pas entraver la qualité d'aspect spécifiée pour les parements.

** *Toute information relative à l'application et aux conditions d'application du produit de décoffrage concerné est à fournir par l'Entrepreneur.*

*** *L'excès de produit de décoffrage, ceci vaut également pour les coffrages en relief ou horizontaux, est à éliminer en utilisant p.ex. une raclette ou un tissu propre.*

**** *Le produit de décoffrage peut influencer de manière défavorable les réactions d'hydratation du ciment dans la zone de contact béton/ peau de coffrage.*

***** *Exemples de traitements ultérieurs: hydrofugation, peinture, revêtement, lavage à l'acide, etc.*

***** *Type de produit de décoffrage en fonction de la nature de coffrage:*

- *Bois brut scié ou raboté et contreplaqué non traité:*
*Produits en émulsion directe (nécessitent, une première application en plusieurs couches sur les peaux de coffrage absorbantes,).
Un vernissage préalable peut être approprié avant utilisation d'un produit de décoffrage classique.*
- *Panneaux métalliques et contreplaqués traités:*
Cire liquide ou produit prêt à l'emploi.
- *Matrices synthétiques:*
Huile fluide pure, cire pâteuse ou émulsion inverse.

Les produits de décoffrage ne doivent en aucun cas contenir de solvants nocifs.

3.8) Produits de décoffrage

Les produits utilisés ne doivent pas tacher la surface des parements.

Le produit est proposé à la Direction des Travaux dans le cadre de l'étude de coffrage en spécifiant *:

- La provenance et la dénomination commerciale du produit.
- La nature et le dosage visé du produit.
- Les conditions et les limites d'emploi détaillées **.

Lorsque le produit de décoffrage est pulvérisable, il est appliqué au moyen d'un pulvérisateur muni d'une buse spéciale avec filtre pour retenir les impuretés.

Le produit de décoffrage doit former un film régulier, homogène et le plus fin possible sur toute la surface du coffrage.

Tout excès de produit est à éliminer *.**

Le produit de décoffrage doit présenter une innocuité totale vis-à-vis:

- des coffrages (notamment ceux en métal);
- du béton ****;
- de l'aspect des parements (absence de taches ou de farinage) *****;
- des traitements de surface ultérieurs *****.

En outre, le produit de décoffrage que l'Entrepreneur envisage d'appliquer doit être choisi en fonction de la nature des peaux de coffrage et doit être le même pour l'ensemble des coffrages de même type *****.

Il y a lieu de tenir compte de la température extérieure ainsi que de la température de la peau de coffrage lors de l'application.

Dans le cas de la mise en œuvre de béton de teinte claire ou d'utilisation d'adjuvants colorants, il faut utiliser des émulsions ou des cires liquides incolores ou d'une teinte très claire. De façon générale, le produit de décoffrage ne doit pas avoir d'incidence sur la teinte finale désirée.

3.9) Contrôle des coffrages

Les travaux de coffrage exigent:

- une vérification complète du coffrage avant mise en œuvre du béton.
- une surveillance continue du coffrage après introduction du ferrailage et pendant la mise en œuvre du béton.

Les contrôles sont effectués par l'Entrepreneur dans le cadre du plan de contrôle. La date et l'heure de bétonnage sont à communiquer 2 jours ouvrables à l'avance à la Direction des Travaux.

Le contrôle des coffrages avant bétonnage est à documenter dans le P.A.Q. en fonction du plan de contrôle. L'Entrepreneur vérifiera la conformité aux plans d'exécution, aux prescriptions du cahier particulier des charges, du bordereau des prix et du présent CDC.

COMMENTAIRES

Article 4.1)

* Voir article 9 et annexe C de l'EN 206-1 DNA EN 206

** P.ex. la précision des dosages des constituants du béton ainsi que des mesures de teneur en eau des sables et des agrégats, l'homogénéité du mélange qu'il est possible d'obtenir, etc.

*** Voir tableau T2.9)1, article 2.9. – Enrobage des armatures en acier en fonction de la classe d'exposition.

4) PRODUCTION ET FOURNITURE DES BETONS

4.1) Prescriptions générales

La production du béton est contrôlée par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées ou par un organisme d'inspection agréé par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées. Le contrôle de production doit être certifié par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées.* Seules les centrales de production de béton bénéficiant d'une certification valide du contrôle de production suivant EN 206 DNA EN 206 sont habilitées à fournir un béton suivant DNA EN 206.

Une copie du certificat de conformité de la centrale de production qui fournira le béton, une description des moyens de transport jusqu'au chantier et d'acheminement sur chantier jusque dans les coffrages ainsi que les caractéristiques de ces moyens sont à remettre à la Direction des Travaux sur simple demande.

La qualité du matériel de production **, de transport et d'acheminement du béton frais ainsi que les méthodes de mise en œuvre doivent permettre de satisfaire à toutes les exigences spécifiées.

Les résultats des tests d'identification ainsi que les bons de livraison de béton, émis par le producteur, dûment remplis et signés, doivent être remis à la Direction des Travaux au fur et à mesure de leur établissement.

Le béton doit être homogène, de composition constante et d'une maniabilité suffisante pour s'adapter à la forme du coffrage et pour passer à travers les armatures tout en les enrobant totalement sans subir de ségrégation et en assurant la compacité du matériau.

La composition, la régularité et la précision de dosage des composants ainsi que la qualité de malaxage des bétons constituent des facteurs essentiels à l'obtention de bétons et de parements de béton de qualité et relèvent de la responsabilité de l'Entrepreneur.

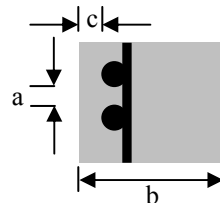
Les bétons pourront être destinés à être:

- laissés bruts de décoffrage;
- traités en surface (traitements mécaniques, chimiques, revêtements, peintures, etc.).

Pour chaque cas, la dimension maximale nominale des granulats du béton est à adapter en tenant compte des critères du tableau T 4.1) 1.

Tableau T 4.1) 1 Choix de la dimension maximale nominale des granulats

Le choix de la dimension maximale nominale des granulats (D_{max}) est conditionné par les dimensions de l'élément à couler, par les distances entre les armatures et par leur recouvrement de béton



- $D_{max} \leq 1,3$ fois l'enrobage nominal des armatures (c) ***
- $D_{max} \leq \frac{1}{4}$ de la plus petite dimension de l'élément à bétonner (b)
- $D_{max} \leq$ distance entre les armatures – 5 mm (a)

La dimension maximale D_{max} des granulats en [mm] est choisie dans la série suivante : (Annexe L du DNA EN 206)

8	16	22	32	63
---	----	----	----	----

COMMENTAIRES

Article 4.2)

- * *La régularité de teinte du ciment contribue à une teinte uniforme du béton, à l'échelle des parements de l'ensemble d'un ouvrage. La teinte dépend également du dosage et de la précision du dosage en ciment C et en eau E (rapport E/C), qui sont à surveiller. Il est recommandé d'utiliser du ciment provenant d'un même lot de production au moins pour l'ensemble visuel des parements d'un ouvrage.*

Article 4.3)

- * *La teneur en eau dépend d'un certain nombre de paramètres, p.ex.: Quantité de fines du béton (ciment + fines du sable), teneur en eau des granulats, granulométrie, géométrie et origines des granulats, adjuvants, etc. Tout excès d'eau provoque entre autres effets indésirables une ségrégation du béton frais et un accroissement de la porosité du béton durci ainsi qu'une réduction très importante de sa résistance mécanique et de sa durabilité.*

Article 4.4)

- * *La régularité de teinte des granulats n'est pas demandée dans le cas des bétons bruts de décoffrage, car ce sont les éléments les plus fins, essentiellement les sables d'un diamètre inférieur à 0,25 mm et le ciment, qui déterminent la teinte de fond des bétons. Elle est cependant exigée dans le cas des traitements de surface mettant en valeur leur texture, leur forme et leur teinte.*
- ** *En fonction de leur origine, les granulats présentent différentes qualités:*
 - *Les pierres calcaires sont adaptées aux traitements par grésage ou par polissage.*
 - *Les pierres siliceuses offrent une bonne résistance à l'abrasion.*
 - *Les pierres éruptives et métamorphiques présentent une grande variété de colorations.*

4.2) Ciments

Les ciments doivent être conformes aux dispositions de l'EN 206 DNA EN 206.

Le ciment utilisé doit avoir une composition et une teinte régulière *.

4.3) Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit être conforme conformes aux dispositions de l'EN 206 DNA EN 206.

La quantité d'eau totale du béton doit être constante d'une gâchée à l'autre*.

4.4) Sables et granulats

Les granulats doivent être conformes aux dispositions de l'EN 206 DNA EN 206.

Les sables et granulats doivent être propres. D'éventuelles traces de matières argileuses ou d'autres particules inertes ne doivent pas être susceptibles d'influencer la teinte et les qualités mécaniques du béton.

Les sables et granulats doivent être exempts de particules métalliques.

Le sable * doit être d'une même provenance pour les bétons de parement dont l'uniformité de teinte est requise dans l'ensemble.

Le producteur de béton doit assurer l'homogénéité et la régularité des fournitures de sables et de granulats concernant:

- leur humidité,
- leur teinte *,
- leur caractéristiques chimiques et mécaniques**

Pour les bétons destinés à recevoir des traitements de surface ultérieurs, on utilisera, en fonction de l'aspect recherché **, des granulats roulés et/ou concassés.

L'utilisation d'agrégats laitiers de haut-fourneau n'est pas permise pour la réalisation de bétons apparents.

4.5) Cendres volantes

Les cendres volantes doivent être conformes aux dispositions de l'EN 206 DNA EN 206.

COMMENTAIRES

Article 4.6)

* *Les adjuvants, ajoutés en faibles quantités aux constituants habituels des bétons, ont pour rôle de modifier certaines caractéristiques de ces bétons, soit à l'état frais, soit au cours de leur passage de l'état frais à l'état durci.*

Les principaux types d'adjuvants sont:

- *les plastifiants et les fluidifiants*
- *les entraîneurs d'air*
- *les accélérateurs de durcissement*
- *les retardateurs de prise*
- *les adjuvants adhésifs à base de résine synthétique*

Les pigments de coloration sont à classer parmi les additions. Ils doivent satisfaire à l'EN 12878.

Le but recherché lors de la mise en œuvre d'un plastifiant et/ou d'un fluidifiant est de diminuer le rapport Eau/Ciment et/ou d'augmenter la fluidité et l'ouvrabilité du mélange frais, de réduire la quantité d'air occlus dans le mortier et dans le béton frais, ou d'augmenter la résistance au gel/dégel avec et sans agent de déverglaçage des bétons durcis.

Le but recherché dans la mise en œuvre d'un entraîneur d'air est d'augmenter la résistance au gel/dégel, avec et sans agent de déverglaçage des bétons durcis en créant des espaces d'expansion.

L'accélérateur de durcissement est utilisé dans le but d'accélérer le développement des résistances initiales des bétons.

Le retardateur de prise est utilisé dans le but de retarder la vitesse des réactions initiales entre le ciment et l'eau.

Les produits organiques, se présentant le plus souvent sous forme d'émulsions polymérisables ou de dispersions polymérisées, sont additionnés aux bétons frais afin d'améliorer l'adhérence aux bétons durcis, de diminuer leur perméabilité, d'accroître leurs résistances à la flexion, ainsi qu'à l'abrasion. Leur influence sur le module d'élasticité doit également être considérée.

Les pigments naturels ou synthétiques permettent de fabriquer des bétons colorés. Leur influence sur les caractéristiques rhéologiques du béton frais doit être prise en compte en fonction de leur finesse et de leur dosage.

L'action ou l'effet principal de l'adjuvant employé peut être:

- *de modifier la rhéologie du béton frais ;*
- *de modifier la teneur en air occlus du béton,*
- *de modifier les temps de prise et de durcissement du béton ;*
- *d'améliorer la résistance du béton aux actions physiques, mécaniques ; chimiques ; biologiques ;*
- *de compenser le retrait du béton.*

** *Par effet secondaire est définie toute action simultanée à l'action principale, favorable ou défavorable.*

4.6) Adjuvants

Les adjuvants * utilisés doivent être conformes aux dispositions de l'EN 206 DNA EN 206.

L'utilisation d'adjuvant peut entraîner des effets secondaires, dont les conséquences éventuelles sur la conformité des bétons sont à prendre en compte par l'Entrepreneur **.

L'utilisation d'adjuvant sur chantier doit toujours faire l'objet d'essais initiaux afin de déterminer les quantités minimales et maximales utilisables, les conditions d'utilisation, les temps de début et de fin de réaction, l'évolution dans le temps des caractéristiques du béton frais et les incidences sur les caractéristiques du béton durci.

L'Entrepreneur soumettra à l'approbation de la Direction des Travaux les adjuvants qu'il compte utiliser **sur chantier** en précisant pour chaque produit dans le cadre du P.A.Q.:

- provenance et dénomination commerciale ;
- but principal et actions secondaires ;
- forme de présentation (liquide, poudre), masse spécifique, solubilité, couleur ;
- conditions d'emploi: conditions de préparation et mode d'introduction dans le mélange; temps de malaxage ; le dosage recommandé en poids par rapport au ciment et en fonction de la nature et de la teneur en ciment ainsi que les conséquences prévisibles sur la consistance du béton; la concentration maximale admissible et l'influence d'un surdosage; les informations relatives à une incompatibilité éventuelle d'emploi avec certains types de ciment ou avec d'autres adjuvants; les influences de la température; les conditions et la durée maximale de conservation du produit avant emploi (doit figurer sur l'étiquette du produit), l'incompatibilité éventuelle avec certains types de produits de décoffrage, ainsi que toute autre information utile relative à la mise en œuvre de l'adjuvant concerné ;
- les prescriptions relatives à la sécurité du personnel et des tiers ;
- un certificat de conformité à l'EN 934-2 (marquage CE) resp. un certificat d'agrément établi par un organisme reconnu par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts & Chaussées du Luxembourg.

Les adjuvants proposés doivent avoir fait l'objet d'essais initiaux avec les bétons à l'usage desquels ils sont destinés. Les résultats de ces essais sont à communiquer à la Direction des Travaux. La Direction des Travaux se réserve le droit de procéder à des contrôles de qualité.

4.7) Teneur en ions chlorures, réaction alcali-silice

En référence au tableau 10 – Teneur maximale en ions chlorure du béton de l'article 5.2.7. Teneur en chlorures de l'EN 206-1 et en conformité avec la note a du tableau, les classes de chlorures suivantes sont retenues pour les utilisations indiquées :

Tableau T.4.7) 1 Classes de chlorures

Utilisation du béton	Classe de chlorures
Béton non armé	Cl 1,0
Béton armé	Cl 0,2
Béton précontraint	Cl 0,1

La note b du tableau 10 de l'EN 206 reste d'application.

COMMENTAIRES

Article 4.9.1)

* *La composition granulométrique est différente selon que le béton soit destiné à rester brut de décoffrage ou à recevoir des traitements de surface.*

** *Une quantité suffisante d'éléments fins, inférieurs à 0,25 mm, améliore l'aspect des bétons bruts de décoffrage. Il conviendra toujours de s'assurer que le béton est compact en surface et dans sa masse.*

Article 4.9.2)

* *Les bétons à granulats de marbres ou de calcaires durs sont adaptés au polissage en surface.*

Article 4.9.3)

* *On utilise généralement des granulats de dimensions pratiquement constantes et aux formes ramassées, le traitement ultérieur quel qu'il soit ayant pour rôle de les rendre apparents en surface; leur teinte est primordiale. Il convient au même titre de tenir compte de la teinte du sable et du ciment formant la matrice.*

Article 4.9.4)

* *On utilise généralement des granulats à base d'argile ou de verre expansé.*

Article 4.9.5)

Le béton mousse est généralement constitué d'un mortier de base et d'un agent moussant qui est ajouté sur chantier afin d'obtenir un béton poreux et plus ou moins liquide présentant des propriétés à caractère auto-nivellant.

4.8) Réaction alcali-silice

Les dispositions de l'EN 206 DNA EN 206, article 5.1.3 – Granulats - sont à prendre en compte.

4.9) Types de béton

Les bétons à propriétés spécifiées de masse volumique normale, bétons lourds et bétons légers doivent être conformes à l'EN 206-1 et au DNA EN 206.

En fonction du type d'ouvrage, des propriétés particulières doivent être spécifiées (perméabilité, module d'élasticité ...). **Les contrôles des caractéristiques et les fréquences minimales de contrôle sont alors spécifiés séparément dans le cahier particulier des charges conformément à l'article 6.2.3 de l'EN 206 DNA EN 206, au tableau M.2 du DNA EN 206 et à l'article 5.7 - Programme de contrôle et d'analyse du béton frais et durci et dispositions spécifiques -** du présent CDC.

Des normes, règles et exigences sont à spécifier dans le cahier particulier des charges pour les bétons non couverts par l'EN 206 DNA EN 206 comme p.ex. les bétons mousse, les bétons drainants ou les bétons de masse volumique inférieure à 800 kg/m³.

4.9.1) Béton brut de décoffrage

Sauf spécification contraire du marché, la courbe granulométrique * doit être continue et se situer entre les lignes A et B (zone 3), près de la ligne B ** des graphiques L.1 à L.5 de l'annexe L du DNA EN 206. Sous peine de non conformité, la teneur maximale en fines du béton ne doit pas dépasser les teneurs maximales définies à l'article 5.3.2.2 du DNA EN 206.

De manière générale, la nature des constituants du béton ne doit pas changer. La variation de la qualité et des quantités des constituants doit être strictement limitée.

Pour les bétons destinés aux éléments d'ouvrage en béton apparent :

- la variation du rapport E/C est à limiter à une valeur inférieure ou égale à 0,02 ;
- les tolérances de pesée des constituants sont à fixer avec le producteur à des valeurs inférieures aux valeurs du tableau 21 de l'EN 206, p.ex. à $\pm 1\%$;
- le temps de malaxage lors de la confection ne doit pas être inférieur à 60 secondes ;
- il est recommandé de fixer une valeur cible de consistance à la livraison dont l'écart p.ex. par mesure de l'étalement ne sera pas supérieur à ± 20 mm.

4.9.2) Béton poli en surface

La courbe granulométrique sera de préférence discontinue. *

4.9.3) Béton de granulats apparents

La courbe granulométrique * doit se situer entre les lignes B et D (zones 3 et 4) des graphiques L.1 à L.5 de l'annexe L du DNA EN 206.

4.9.4) Béton léger

Les classes de résistance et les résistances caractéristiques minimales ainsi que les classes de masse volumique pour le béton léger sont définies dans les tableaux 8 et 9 de l'EN 206. *

4.9.5) Béton mousse pour application non structurelle

En l'absence d'autre spécification, les résistances minimales à atteindre sont:

- $R_{c28} \geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ pour une MVA maximale de 400 kg/m³
- $R_{c28} \geq 5 \text{ N/mm}^2$ pour une MVA maximale de 1000 kg/m³
- $R_{c28} \geq 10 \text{ N/mm}^2$ pour une MVA maximale de 1400 kg/m³

COMMENTAIRES

Article 4.10)

* p.e.x. bétons des articles 4.9.5 ; 4.9.6 du présent CDC

** **Dans ce contexte, l'écart admissible par rapport à la valeur cible du rapport E/C pourra p.ex. être ramené à une valeur inférieure à $\pm 0,02$.**

4.9.6) Béton drainant

La courbe granulométrique sera nettement discontinue.

En l'absence d'autre spécification, la teneur en vides du béton durci sera supérieure à 12% en volume. La résistance minimale à la compression est à spécifier dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

4.9.7) Béton armé de fibres

La longueur des fibres d'acier ou des fibres synthétiques est à choisir en fonction des caractéristiques mécaniques exigées ainsi que du grain maximal du béton à mettre en œuvre. Des exigences complémentaires à l'EN 206-1 DNA EN 206 sont à spécifier dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

4.9.8) Béton résistant au gel-dégel et au gel-dégel en présence d'agents de déverglaçage

Les exigences relatives à la classe d'exposition XF4 sont validées en termes de paramètres performantiels déterminées et évalués suivant la recommandation RILEM CDC 2. La durée des essais est de 25 cycles. Les résultats d'essais sont considérés comme satisfaisants s'ils font état d'une perte de poids moyenne par surface essayée inférieure ou égale à 0,5 mg/mm².

Pour les bétons de la classe d'exposition XF4, la teneur en air mesurée sur béton frais doit satisfaire aux exigences du tableau T.6 du DNA EN 206

4.10) Information de l'Entrepreneur à la Direction des Travaux avant la commande du béton

Pour les bétons à propriétés spécifiées et dans le cadre du présent document, l'Entrepreneur doit fournir à la Direction des Travaux avant la commande du béton au producteur une série d'informations conformément à l'article 7.2 de l'EN 206-1 DNA EN 206 ainsi que des informations complémentaires, à savoir:

- la provenance du béton ;
- la teneur en ciment et le rapport eau/ciment visé;
- l'évolution de la résistance;
- les origines des constituants;
- pour béton fluidifié sur chantier: la classe de consistance ou la consistance visée avant ajout de l'adjuvant ;
- la déclaration de conformité ou de non conformité au DNA EN 206: «Conforme au DNA EN 206», «Non conforme au DNA EN 206».

L'Entrepreneur **doit également fournir à la Direction des Travaux avant la commande** la spécification finale (spécification suivant article 3.1.36 EN 206-1 ; articles 6, 7 et annexe N de l'EN 206-1, DNA EN 206) qu'il compte transmettre au producteur de béton.

Dans le cadre de la prise en compte des tolérances d'aspect des parements formulées conformément au chapitre 6, l'Entrepreneur doit préciser les plages de variations possibles dans le dosage des constituants. **Des tolérances inférieures aux tolérances spécifiées par l'EN 206 DNA EN 206 sont alors à fixer d'un commun accord avec le producteur.** **

En ce qui concerne les bétons pour lesquels l'EN 206-1 et le DNA EN 206 ne s'applique pas * , le cahier particulier des charges prévoira des stipulations complémentaires. Le cas échéant, une déclaration de conformité à une norme EN, à un agrément technique européen ou à une prescription définie dans le cahier particulier des charges est à joindre.

L'ensemble de ces informations est à documenter dans le P.A.Q.

COMMENTAIRES

Article 4.11)

* *Lorsque l'Entrepreneur peut démontrer qu'une formulation est appropriée à partir de données recueillies sur la base d'essais précédents ou d'une expérience acquise sur une durée conséquente tenant compte des caractéristiques spécifiques du marché, la Direction des Travaux peut valider la formulation proposée sur base des documents remis alternativement aux résultats de l'essai initial.*

** *p.e.x. bétons des articles 4.9.5 ; 4.9.6 du présent CDC*

4.11) Essai initial

L'essai initial (article 9.5 et annexe A de l'EN 206-1 DNA EN 206) doit démontrer qu'un béton satisfait à toutes les exigences spécifiées pour le béton à l'état frais comme à l'état durci. Les résultats des essais initiaux* ou un certificat de conformité à l'EN 206 DNA EN 206 sont à transmettre 15 jours ouvrables avant le début des travaux de bétonnage pour validation à la Direction des Travaux.

L'essai initial est réalisé avec le même matériel de fabrication qui est utilisé pour la réalisation de l'ensemble des bétonnages et dans les mêmes conditions.

Il est poursuivi jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants.

En ce qui concerne les bétons pour lesquels l'EN 206-1 DNA EN 206 ne s'applique pas **, des essais préalables, le cas échéant en conformité avec les normes, règles ou exigences du cahier des charges, ayant pour objet de prouver qu'ils satisfont à toutes les exigences spécifiées sont à réaliser. Les résultats des essais préalables sont à transmettre 15 jours ouvrables avant le début des travaux de bétonnage pour validation à la Direction des Travaux. La réalisation des éprouvettes destinées aux essais préalables sera effectuée sous la surveillance du Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées.

Tout retard engendré dans les travaux ou sur la fin contractuelle du chantier par des résultats non satisfaisants ou une non conformité relève de la responsabilité de l'Entrepreneur.

5) MISE EN ŒUVRE ET CONTROLES SUR CHANTIER DES BETONS

5.1) Généralités

Une copie du certificat de conformité de la centrale de production qui fournira le béton, une description des moyens de transport jusqu'au chantier et d'acheminement sur chantier jusque dans les coffrages ainsi que les caractéristiques de ces moyens sont à remettre à la Direction des Travaux sur simple demande.

La qualité du matériel de transport et d'acheminement du béton frais ainsi que les méthodes de mise en œuvre doivent permettre de satisfaire à toutes les exigences spécifiées.

L'Entrepreneur doit prendre toutes les mesures nécessaires pour éviter la ségrégation du béton frais pendant le transport et la mise en œuvre du béton.

La consistance du béton frais est contrôlée régulièrement sur chantier en conformité avec l'annexe M du DNA EN 206. Les résultats obtenus sont régulièrement transmis conformément à l'article 5.7 - Programme de contrôles et d'analyses sur chantier du béton frais et durci et dispositions spécifiques - à la Direction des Travaux dans le cadre du P.A.Q.

Tout ajout d'eau au béton après la sortie du malaxeur de fabrication n'ayant pas fait l'objet d'essais initiaux est interdit. Les prescriptions du chapitre 7 de l'EN 206-1 DNA EN 206 concernant la correction de la consistance à la livraison sont à respecter sous peine de déclaration de non conformité et de refus par la Direction des Travaux du béton respectivement de l'élément de l'ouvrage bétonné.

Les résultats et l'évaluation des résultats des tests d'identification suivant l'article 5.7 - Programme de contrôle et d'analyse sur chantier du béton frais et durci et dispositions spécifiques - ainsi que les bons de livraison de béton, émis par le producteur, dûment remplis et signés, doivent être remis à la Direction des Travaux au fur et à mesure de leur établissement.

COMMENTAIRES

Article 5.2)

* *La hauteur de chute libre doit être aussi faible que possible, afin d'éviter la ségrégation du béton et un entrainement d'air supplémentaire dans le béton.*

Le cas échéant, la mise en place, en fond de coffrage, d'une couche de béton fin de quelques décimètres d'épaisseur peut éviter le rebondissement des plus gros granulats et une ségrégation visible en surface.

5.2) Mise en œuvre du béton

L'écart maximal admis sur la **valeur cible** de consistance du béton définie par l'Entrepreneur, mesurée par étalement, est de -20 mm et + 20 mm pour les bétons destinés aux éléments d'ouvrage apparents. Dans les autres cas, l'écart maximal est fixé à - 30 mm et + 30 mm. D'autres tolérances peuvent être prescrites dans le cahier particulier des charges. Ces valeurs remplacent le cas échéant les tolérances données au Tableau 11 de l'EN 206-1.

La consistance du béton destiné à la confection d'éléments d'ouvrage en béton apparent est à contrôler systématiquement à chaque livraison.

Le procédé de mise en place des bétons est soumis à l'approbation préalable de la Direction des Travaux.

Le bétonnage ne peut pas commencer avant que les résultats des essais initiaux et le cas échéant des essais préalables prescrits, ainsi que les vérifications et préparations prévues au programme de bétonnage n'aient été documentés par l'Entrepreneur dans le P.A.Q. et que ce document ait été visé par la Direction des Travaux.

Le béton est transporté jusqu'au chantier dans les conditions fixées par l'**article 7.6 Transport du béton du DNA EN 206**.

Lors de la mise en œuvre, le béton doit être déversé à vitesse constante, de manière régulière et à flux guidé (tuyau, goulotte, rampe de déversement ou similaire). La hauteur de chute libre du béton est à limiter à moins de 1 mètre.*

L'épaisseur des couches horizontales successives à vibrer ne doit pas excéder 30 à 50 cm en fonction de la longueur des aiguilles vibrantes utilisées.

La mise en œuvre du béton doit être organisée de façon à exclure la reprise de bétonnage sur un béton frais ayant débuté sa prise.

Toutes les reprises de bétonnage sont à indiquer avant le début des travaux par l'Entrepreneur dans les plans d'exécution. En règle générale, le tracé des reprises est délimité par des baguettes fixées provisoirement de façon étanche aux coffrages et enlevées par la suite. L'exécution des reprises et toutes les dispositions y relatives sont à préparer de façon à ce qu'elles soient conformes aux dispositions du cahier particulier des charges et du bordereau des prix. Toutes les dispositions (repiquage à vif, lavage, humidification, couche d'accrochage, etc.), procédés, matériel et matériaux relatifs à l'exécution des reprises de bétonnage sont à soumettre à l'approbation préalable de la Direction des Travaux. La surface de reprise doit être constituée d'un béton compact dans sa masse. En outre, elle doit être rendue rugueuse, exempte de toute laitance et de déchets de bois ou de tout autre produit pouvant nuire au raccord homogène du béton de reprise. Les nids de gravier sont à ragréer. Les moyens de ragréage sont à décrire dans le P.A.Q. Une humidification de la surface de reprise est à débiter suffisamment tôt avant le nouveau bétonnage avant de garantir la saturation en eau du béton en place et à arrêter suffisamment tôt pour éviter la présence d'un film d'eau excédentaire au moment du bétonnage. Le cas échéant, l'eau excédentaire est à éliminer.

Les dispositions et procédures particulières à appliquer en cas de reprise de bétonnage suite à un arrêt non prévu doivent également être décrites par l'Entrepreneur dans le P.A.Q. Celles-ci doivent permettre d'assurer la résistance de la structure et le cas échéant l'obtention de l'aspect requis.

Les procédés de mise en œuvre utilisés doivent assurer le remplissage en tous points des coffrages, l'homogénéité et la compacité du béton ainsi que la qualité et la régularité d'aspect requis pour les parements.

COMMENTAIRES

Article 5.2.1)

- * *La vibration permet de mouler et de compacter le béton. Les paramètres de vibration (fréquence, amplitude) doivent être choisis de manière à ne pas provoquer de ségrégation.*
- ** *La fréquence et l'amplitude des vibreurs ont une influence directe sur la consistance des bétons et la répartition de leurs éléments dans la masse.*
- Il faut utiliser des vibreurs à fréquence appropriée (à fréquence plus élevée, c'est le sable que se trouve mobilisé; à basse fréquence, le gros granulat se sépare du mortier) qui abaisse suffisamment le seuil de cisaillement, évite le risque de ségrégation et facilite l'évacuation de l'air occlus.*
- L'efficacité d'une vibration est avant tout liée à l'amplitude communiquée aux grains par la source vibrante.*
- Pour que la vibration soit efficace, il faut que l'amplitude soit supérieure à l'amplitude critique de mobilité, c.à.d. qu'elle doit être suffisamment grande pour que les forces de liaison entre les grains puissent être diminuées de manière à permettre à la pâte de s'écouler convenablement sous l'effet de son propre poids, sans pour autant dépasser l'amplitude critique d'agitation, au-delà de laquelle des turbulences importantes provoquent des entraînements d'air et des projections de béton conduisant à une perte de qualité du béton et de l'aspect des parements.*
- Lorsqu'elle se situe entre ces deux limites, l'amplitude de la vibration favorise l'écoulement de la pâte et son serrage et facilite le départ de l'air occlus.*
- A puissance constante, la fréquence et l'amplitude varient en sens contraire.*
- L'utilisation d'appareils à fréquence plus élevée nécessite une augmentation de la puissance, afin de maintenir l'amplitude au dessus de la valeur de l'amplitude critique.*
- Afin d'obtenir une vibration efficace du béton, il convient donc de choisir une solution de compromis entre la fréquence et l'amplitude, régissant respectivement le rayon d'action et la diminution du seuil de cisaillement.*
- La conception de certains vibreurs permet une vibration variable en fréquence et en amplitude.*
- La détermination du temps de vibration est importante car s'il est trop court, le béton est insuffisamment compacté, s'il est trop long, il peut entraîner une ségrégation des constituants du béton.*
- *** *En règle générale il pourra être considéré qu'un espacement e des points de plongée de l'aiguille vibrante inférieur ou égale à huit fois le diamètre de l'aiguille ($e \leq 8 \times \varnothing$ aiguille) suffit à assurer un recouvrement des zones de vibration.*

5.2.1) Vibration interne

La vibration* interne se fait à l'aide d'aiguilles vibrantes. **

Les aiguilles vibrantes sont plongées verticalement dans la masse du béton.

Il faut que les points de plongée de l'aiguille vibrante soient assez près les uns des autres pour que les zones d'action circulaires de la vibration efficace se recouvrent et qu'elles agissent sur la totalité du béton ***, tout en évitant d'approcher les aiguilles à moins de 10 cm du coffrage, de les appuyer sur ou contre les armatures, de les laisser trop longtemps au même endroit.

En fonction de la qualité de parement requise, l'Entrepreneur doit marquer l'emplacement de ces points de plongée sur les plans de ferrailage définitifs, et des dispositions seront prises pour pouvoir juger d'une manière précise la profondeur de plongée des aiguilles.

L'aiguille vibrante doit être plongée rapidement jusqu'à la profondeur voulue et retirée suffisamment lentement de manière à ce que le béton se referme au fur et à mesure qu'elle est remontée.

Le temps de vibration doit être le même dans tous les points de la masse du béton à compacter.

Dans le cas de plusieurs couches superposées, l'aiguille est introduite à travers la nouvelle couche à compacter dans la couche déjà compactée de manière à assurer une bonne liaison entre les diverses couches, à permettre la répartition de l'eau de ressuage éventuelle dans la couche nouvellement coulée et à assurer l'homogénéité de teinte de l'ensemble.

Dans la zone supérieure de l'élément (dernière couche de bétonnage), du fait que la charge fait défaut, il faut prévoir un post-compaction du béton (renouvellement du compactage en deuxième phase).

Le post-compaction par vibration de la dernière couche de bétonnage est effectué le plus tard possible dans un béton encore suffisamment plastique pour permettre à la cavité laissée par l'aiguille vibrante de se refermer. Le post-compaction permet d'éliminer les fissures de tassement et d'homogénéiser le degré de compactage du béton sur l'ensemble de la hauteur de l'élément de l'ouvrage.

Il est interdit d'utiliser les aiguilles vibrantes pour déplacer le béton. La répartition du béton se fait par flux guidé respectivement à la pelle afin d'éviter la ségrégation.

L'Entrepreneur doit vérifier que le choix des dimensions et des caractéristiques des aiguilles vibrantes ainsi que des emplacements de plongée dans la masse du béton et du temps de vibration tient compte de la consistance et de la granularité du béton frais, des masses à vibrer et de l'encombrement du ferrailage.

COMMENTAIRES

Article 5.2.3)

* Ces caractéristiques concernent p.ex. la planéité, la rugosité, la résistance à l'arrachement, etc. Elles doivent le cas échéant également tenir compte de la mise en œuvre de revêtements, d'étanchéités, de peintures, etc.

** Le cas échéant, il peut être fait référence à d'autres cahiers des charges comme p.ex. le CDC-ETA (cahier des charges concernant les travaux d'étanchéité)

5.2.2) Vibration de surface

La vibration superficielle des surfaces non coffrées est exécutée à l'aide de dames, règles ou taloches vibrantes appropriées.

En l'absence d'essais préalables, l'épaisseur des couches serrées par vibration superficielle est limitée à:

- 20 cm pour les bétons non armés.
- 15 cm pour les bétons armés.

Il est rappelé que la couche supérieure du béton d'un élément d'ouvrage doit être serrée par post-vibration.

5.2.3) Surfaçage

Le surfaçage des surfaces non coffrées est effectué au moyen de matériel adapté et par un personnel qualifié.

Le surfaçage doit garantir de façon générale l'obtention des caractéristiques * satisfaisant aux normes en vigueur, au présent cahier des charges respectivement aux caractéristiques spécifiées dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix **.

Le surfaçage est réalisé durant la phase de rigidification du béton.

L'établissement et la matérialisation sur site des données relatives aux profils en long et en travers, ainsi que leur réception avant et après exécution doivent être documentées dans le P.A.Q. en fonction du plan de contrôle.

Aucun bullage n'est admis sur la surface finie. De plus, l'état de surface et de planéité doit garantir l'écoulement de l'eau à partir de chaque endroit de la surface.

De façon générale, les écarts de planéité des surfaces finies sont spécifiées en fonction du tableau 3 de la DIN 18202 dans les dispositions du cahier particulier des charges.

Les surfaçages destinés aux parements non coffrés doivent être exécutés de façon à ce que les écarts de planéité spécifiés conformément au chapitre 6 - Directives pour la prescription et l'évaluation de béton apparent - soient respectés.

La remise en état des défauts de planéité est effectuée par et à charge de l'Entrepreneur.

5.2.4) Vibration externe

Ce procédé de compactage du béton est soumis à l'approbation préalable de la Direction des Travaux.

L'Entrepreneur doit préciser dans sa demande d'approbation le type et les caractéristiques du coffrage, le nombre et la localisation ainsi que l'orientation et les caractéristiques techniques des vibreurs, la vitesse de bétonnage et la valeur cible de consistance du béton à mettre en œuvre.

COMMENTAIRES

Article 5.2.5)

- * *L'augmentation de température après la mise en œuvre peut être obtenue grâce aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment dans le béton frais et à la mise en œuvre d'une isolation thermique le cas échéant (v. article 5.5 – La cure et la protection du béton -)*
- ** *Une résistance à la compression de 5 N/mm², peut être considérée comme limite inférieure à partir de laquelle le béton est moins sensible à une première exposition au gel.*
- *** *Ces précautions sont complémentaires aux méthodes de cure visant à éviter la dessiccation du béton. Ces dernières sont des prestations spéciales conformément à l'article 5.5. – La cure et la protection du béton -.*
- **** *Par exemple CEM I 42,5 R ou CEM II/B-S 42,5 N pour des éléments de section moyenne $d \geq 25$ cm.*

5.2.5) Bétonnage par temps froid

Les mesures particulières à mettre en œuvre pour la protection du béton lorsque les températures extérieures sont $\leq +5^{\circ}\text{C}$ jusqu'au durcissement suffisant de celui-ci sont à considérer comme prestations spéciales à spécifier séparément dans le bordereau des prix.

L'article 5.2.8 de l'EN 206-1 DNA EN 206 et 5.5 du présent document est complété par les prescriptions suivantes:

L'Entrepreneur est tenu d'installer en au moins deux endroits différents du chantier agréés par la Direction des Travaux, des thermomètres à maxima et minima. Les températures maximales et minimales enregistrées sont journalièrement reportées sur un registre de chantier.

Est à considérer comme temps froid toute période où la température minimale mesurée sur le chantier est inférieure ou égale à plus cinq (5°C) degrés Celsius.

Pour le bétonnage par temps froid, la température minimale du béton **lors de la mise en œuvre** ne doit de manière générale pas être inférieure à $+8^{\circ}\text{C}$. La température du béton lors de la mise en œuvre doit être $\geq +10^{\circ}\text{C}$ lorsque du ciment de classe 32,5 N ou 42,5 N est utilisé resp. si le dosage en ciment est inférieur à 240 kg/m^3 . L'Entrepreneur doit s'assurer à l'avance qu'après le transport de la centrale jusqu'au chantier, cette température minimale du béton est garantie au moment de la mise en œuvre. Par temps froid, elle doit être maintenue à une température $\geq +10^{\circ}\text{C}$ **après la mise en œuvre** en tout point de l'élément bétonné pendant au moins 3 jours *. Les mesures envisagées par l'Entrepreneur afin de satisfaire à ces exigences sont à documenter dans le P.A.Q. et à valider par la Direction des Travaux.

Les mesures à prendre dépendent e.a. de l'exposition de l'ouvrage, de la section des parties à bétonner, de la qualité et de la masse du béton.

Le cas échéant et afin de garantir ces exigences minimales, le réchauffage de l'eau de gâchage et/ou le réchauffage des granulats doivent être prévus. Un calorifugeage des coffrages et leur chauffage éventuel doivent si nécessaire être mis en œuvre, jusqu'à obtenir une résistance suffisante du béton au gel **.

Les précautions suivantes sont également à prendre *** :

- a) Température T extérieure minimale : $0^{\circ}\text{C} < T \leq +5^{\circ}\text{C}$
 - si les propriétés spécifiées du béton et les conditions de mise en œuvre le permettent et sous condition d'accord avec la Direction des Travaux, choisir un ciment à chaleur d'hydratation plus élevée et assurer un dosage minimal $\geq 280 \text{ kg/m}^3$ de béton **** ;
 - transporter et mettre en place rapidement le béton frais ;
 - employer des coffrages en bois lorsque c'est possible (conductibilité thermique plus faible) ;
 - protéger le béton mis en place par des bâches ou paillasons.
- b) Température T extérieure minimale : $-3^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C}$, en plus de a)
 - éviter la présence de glace et de neige dans l'eau et les granulats; chauffer ceux-ci si nécessaire, mais ne pas dépasser 30°C pour la température du béton frais ;
 - utiliser un adjuvant accélérateur de prise si nécessaire (exempt de chlorures dans le cas du béton armé) ;
 - procéder à des essais de contrôle de l'évolution du durcissement du béton sur cubes conservés sur chantier ;
 - prolonger les délais de décoffrage ;
 - utiliser des couvertures isolantes, calorifuger les coffrages.
- c) Température T extérieure minimale : $-10^{\circ}\text{C} \leq T < -3^{\circ}\text{C}$, en plus de a) et b) si nécessaire
 - réchauffer l'air entourant les pièces de construction p.ex. en travaillant sous tente réchauffée (attention à éviter la dessiccation du béton).
- d) Température extérieure minimale inférieure à -10°C :
 - La mise en œuvre de béton n'est en général pas autorisée. Des dispositions spéciales documentées dans le P.A.Q. peuvent néanmoins être prises en accord de la Direction des Travaux afin de permettre la continuation des travaux.

COMMENTAIRES

Article 5.2.5)

***** Une difficulté particulière de la réalisation de parement par temps froid est constituée par le fait que la cure obligatoire du béton nécessite un taux d'humidité relative élevé qui, combiné à de basses températures, favorise fortement les inhomogénéités de teinte. Il est de ce fait recommandé d'éviter la confection de parements par temps froid.

La confection de parements (béton apparent) lorsque les températures extérieures sont $< +8^{\circ}\text{C}$ peut conduire à des inhomogénéités de teinte (marmorescences, taches sombres) qui constituent des écarts qui ne sont évitables que de façon restreinte (article 6.3 – Faisabilité). Des dispositions complémentaires permettant d'assurer une température de surface du béton $\geq 10^{\circ}\text{C}$ durant la période de bétonnage, de prise et de durcissement suffisant du béton doivent être prises afin de limiter ces écarts de telle façon qu'ils n'entravent pas l'aspect générale de l'ouvrage.

Les mesures particulières à mettre en œuvre pour la réalisation de béton apparent lorsque les températures extérieures sont $< +8^{\circ}\text{C}$ sont à considérer comme prestations spéciales à spécifier séparément dans le bordereau des prix.

COMMENTAIRES

Article 5.2.6)

- * Ces précautions sont complémentaires aux méthodes de cure visant à éviter la dessiccation du béton. Celles-ci sont des prestations auxiliaires faisant partie intégrante des prestations de mise en œuvre du béton conformément à l'article 5.5. – La cure et la protection du béton -.

5.2.6) Bétonnage par temps chaud

Les mesures particulières à mettre en œuvre pour la protection du béton lorsque les températures extérieures sont $\geq +25^{\circ}\text{C}$ sont à considérer comme prestations spéciales à spécifier séparément dans le bordereau des prix.

L'article 5.2.8 de l'EN 206-1 DNA EN 206 et 5.5 du présent document est complété par les prescriptions suivantes:

L'Entrepreneur est tenu d'installer en au moins deux endroits différents du chantier agréés par la Direction des Travaux, des thermomètres à maxima et minima. Les températures maximales et minimales enregistrées sont journalièrement reportées sur un registre du chantier.

Est à considérer comme temps chaud toute période où la température maximale mesurée sur le chantier est supérieure ou égale à plus vingt-cinq ($+25^{\circ}\text{C}$) degrés Celsius.

Pour le bétonnage par temps chaud, la température maximale du béton lors de la mise en œuvre ne doit pas dépasser $+30^{\circ}\text{C}$. Les mesures envisagées par l'Entrepreneur afin de satisfaire à cette exigence sont à documenter dans le P.A.Q. et à valider par la Direction des Travaux.

Les précautions suivantes peuvent être envisagées * :

- choisir un ciment à faible chaleur d'hydratation,
- utiliser un ciment refroidi après mouture,
- abaisser la température des granulats: stockage à l'ombre, arrosage à l'eau, protection des silos par une peinture extérieure réfléchissante etc.,
- employer de l'eau de gâchage froide,
- utiliser un adjuvant retardateur de prise si nécessaire,
- préférer les coffrages en acier aux coffrages en bois,
- protéger le béton mis en œuvre par des couvertures réfléchissantes ou, en accord avec la Direction des Travaux (v. article 5.5.1. - Méthodes de cure : cure par couvertures perméables -) paillasons arrosés ou équivalents afin d'éviter l'échauffement de sa surface en cas d'exposition à une source de chaleur,
- refroidissement des engins servant au transport du béton,
- refroidissement des coffrages par arrosage permanent (surtout les coffrages métalliques),
- le refroidissement du béton par ajout de glace en paillettes ou par injection d'azote liquide est réservé à des applications particulières et doit faire l'objet d'essais préalables.

5.2.7) Matériels de secours

L'Entrepreneur doit décrire dans le P.A.Q. les procédures à appliquer dans le cas d'une panne des moyens de mise en œuvre du béton (grue, pompes, vibreurs, etc.) afin de garantir la possibilité de reprise soit immédiate, soit différée du bétonnage, dans le respect des exigences du cahier des charges et du bordereau des prix.

Si les spécificités de la réalisation d'un élément d'ouvrage le nécessitent, la mise à disposition durant les travaux de matériels de secours fera l'objet de positions spécifiques dans le bordereau des prix.

L'Entrepreneur devra prévoir la fourniture de béton conforme aux spécifications du cahier des charges et du bordereau par une deuxième centrale à béton certifiée par le Laboratoire d'Essais des Matériaux des Ponts et Chaussées. La centrale doit être située dans un périmètre permettant un approvisionnement en béton conforme aux délais de mise en œuvre.

COMMENTAIRES

* Particularités du béton de masse

Il convient en premier lieu de tenir compte du développement de la chaleur d'hydratation pouvant entraîner un retrait thermique ainsi que du retrait plastique du béton. Les autres types de retrait ne sont pas traités ici.

Dans le cas d'éléments massifs, la chaleur développée par l'hydratation du ciment lors du durcissement du béton ne s'évacue que lentement dans l'environnement ambiant respectivement vers les éléments de construction attenants. De ce fait, l'échauffement du noyau est plus élevé que celui de l'enveloppe.

Ce gradient de température induit des contraintes de compression dans le noyau de la section de l'élément et des sollicitations en traction en surfaces. Ces efforts de traction peuvent également apparaître entre divers éléments d'ouvrage, quand un nouveau segment de construction est bétonné au droit d'un élément plus ancien. Le nouveau béton développe de la chaleur, alors que le béton existant a déjà refroidi et durci.

Le retrait plastique désigne le rétrécissement de volume du béton suite à sa dessiccation. La dessiccation débute à partir des surfaces extérieures et se développe vers l'intérieur. La surface extérieure tend à se contracter. Cette contraction est cependant empêchée par le fait que le noyau n'est pas encore sec. Si les efforts de traction induits par ces contraintes (température, retrait) dépassent la résistance à la traction du béton, le béton se fissure.

Types de fissures

On différencie les fissures de surface et les fissures traversantes.

Les fissures de surface apparaissent suite à des différences trop importantes de température ou d'humidité entre le noyau et l'enveloppe (contrainte interne). En général, leur profondeur ne dépasse pas quelques centimètres et elles se referment après quelques semaines. Les fissures de surface apparaissent souvent dans le cas d'un béton à jeune âge, quand la différence de température entre le noyau et l'enveloppe dépasse 20 K. Pour les éléments d'ouvrage plus épais, cette différence de température critique peut être nettement inférieure. Pour une épaisseur supérieure à 2 m, elle peut être inférieure à 15 K.

Les fissures traversantes peuvent apparaître lorsque le retrait est empêché. Ceci est p.ex. le cas lorsqu'un voile est bétonné contre une partie de construction coulée antérieurement. Pendant l'élévation de température le voile se dilate. Lors du refroidissement, le voile durci ne peut pas se contracter du fait qu'il est solidaire de la fondation. Le retrait est empêché (contrainte extérieure). Les fissures traversantes sont, en général, perpendiculaires à la surface de contact et traversent la construction. Dans le cas cité, les fissures commencent juste au dessus de la fondation et s'étendent – en fonction de la hauteur voile – dans la partie supérieure de la construction ou la fendent.

Le rapport entre la température du béton et les sollicitations résultant d'une contrainte extérieure est représenté par le graphique G.5.3.3) 1.

5.3) Éléments massifs d'ouvrages en béton*

5.3.1) Généralités

Lors de la réalisation d'éléments d'ouvrage massifs (par exemple : radiers de forte épaisseur, piliers de pont, de barrage, voiles d'écluse), les dispositions technologiques et de mise en œuvre du béton nécessitent une attention particulière. En général, on entend par élément d'ouvrage massifs des éléments d'ouvrage dont la plus petite dimension est égale à 0,80 m. Dans de nombreux domaines d'application, cela concerne néanmoins également des éléments à partir de 0,40 m (par exemple : voiles de réservoirs). Une grande importance doit être accordée à l'évolution de la température dans un élément de construction en fonction du développement la chaleur d'hydratation du ciment ainsi qu'à la cure du béton. De plus, la réalisation d'éléments de très grandes dimensions nécessitent la mise en place d'une logistique spécifique sur le chantier.

5.3.2) Dispositions constructives et technologiques contre la formation de fissures dans le béton

Les dispositions visant à prévenir la formation de fissures ne sont pas à confondre avec celles mises en œuvre afin de limiter l'ouverture des fissures. L'objectif visé doit être clairement formulé dans le cahier particulier des charges et implique des conceptions constructives différentes. Une position prévoyant l'injection d'une quantité limitée de fissures considérées comme inévitables est en tout cas à prévoir dans le bordereau des prix pour les ouvrages étanches.

Les fissures dues au retrait physique, dit endogène, au retrait de dessiccation à long terme, de tassement par sédimentation ainsi que les microfissures par retrait chimique sont également à prendre en compte.

5.3.2.1) Dispositions constructives

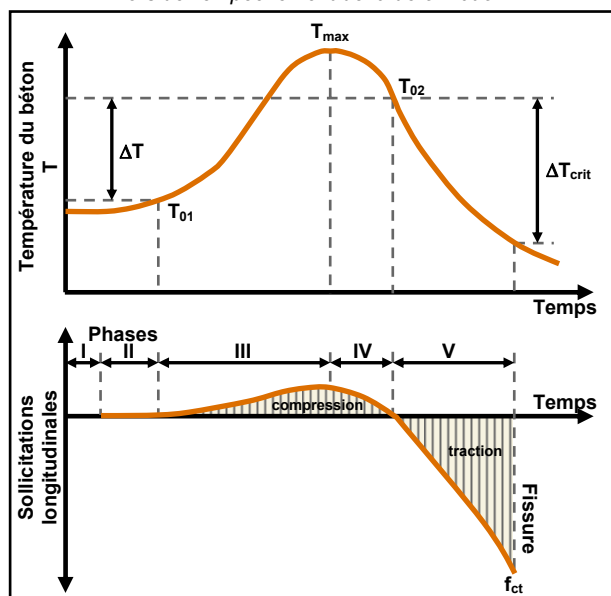
De manière générale, la formation de fissures peut être prévenue en évitant le développement de contraintes entraînant des sollicitations en traction dépassant la résistance à la traction du béton. Ceci peut être obtenu par la mise en œuvre de mesures constructives limitant les contraintes externes. Le fractionnement en section de longueurs déterminées à l'aide de joints des éléments d'ouvrage concernés constitue l'une de ces mesures. Le type de joint (de retrait ou de structure, étanche le cas échéant) est déterminé suivant la fonction de l'élément d'ouvrage. Les fondations et radiers sont également à concevoir de façon à éviter des variations d'épaisseur de section (saut de section) ainsi que des saillies et retraits. L'assise des radiers sur une couche de propreté plane recouverte de deux feuilles de plastiques superposées contribue également à limiter les contraintes induite par un retrait.

La distance entre les joints dépend de la température extérieure, de celle du béton frais, des caractéristiques des constituants du béton, de la composition du béton et des caractéristiques du béton durci (résistance, module d'élasticité, coefficient de dilatation thermique et de fluage), de la configuration de la construction et de la dimension de l'élément d'ouvrage. La distance de fractionnement est déterminée de façon empirique et varie en général entre 8 m et 4 m. L'étanchéité des joints pour ouvrages étanches doit être garantie. Ces applications nécessitent la mise en œuvre d'accessoires spéciaux adaptés aux conditions d'exposition de l'ouvrage (tôles ou bandes d'étanchéité, tuyaux d'injection, joints gonflants).

Le risque de fissuration peut également être diminué par la mise en œuvre de mesures technologiques.

COMMENTAIRES

G.5.3.3) 1 Evolution de la température et de la tension dans un béton jeune lors de l'empêchement de la déformation



L'évolution de la température et des sollicitations se distingue en 5 phases :

Phase I Début de prise : pas d'augmentation significative de la température (jusqu'à 2 heures après mise en œuvre en f(dimension de l'ouvrage ; conditions ambiantes ; composition du béton)

Phase II Augmentation de la température due au développement de la chaleur d'hydratation du ciment : pas de contraintes mesurables car le béton est encore déformable. La déformation thermique par dilatation du béton se traduit par une déformation plastique. Température à la fin de cette étape : T_{01} .

Phase III Augmentation de la température du béton et développement de sa résistance : apparition de sollicitations en compression, partiellement compensées par relaxation. L'étape III prend fin avec l'atteinte de T_{max} .

Phase IV Phase de refroidissement : les sollicitations en compression du béton diminuent, une partie disparaît par relaxation. Les contraintes longitudinales deviennent nulles lorsque la température T_{02} est atteinte. Selon la vitesse de refroidissement et l'âge du béton, celle-ci est variable et peut être largement supérieure à T_{01} .

Phase V Refroidissement continu et inversement des contraintes longitudinales : développement de sollicitations en traction. Celles-ci sont partiellement compensées par relaxation. Si la sollicitation en traction dépasse la résistance à la traction f_{ct} du béton avec l'atteinte de la différence de température ΔT_{crit} au temps critique t_{crit} , des fissures de séparation apparaissent.

5.3.2.2) Dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait thermique

Le développement de chaleur dépend dans un premier temps du dégagement de la chaleur d'hydratation du ciment et de la quantité de ciment par m^3 de béton.

- utilisation d'un ciment à faible chaleur d'hydratation de type FCH (attention à la compatibilité avec les exigences de résistance et de durabilité),
- limitation du rapport E/C,
- limitation de la teneur en pâte de ciment,
- choix d'une composition granulométrique située dans la zone 3 entre les lignes A et B du fuseau granulométrique type resp. d'une composition discontinue zone 4 lignes D/B,
- limitation de la température du béton frais (v. article 5.2.6. - Bétonnage par temps chaud -),
- limitation du gradient thermique entre le noyau et la surface soit par isolation thermique (attention à l'influence négative d'une température élevée sur la résistance à terme du béton), soit par l'incorporation de tuyaux de refroidissement dans l'élément à bétonner,
- décoffrage différé, cure rigoureuse et prolongée,
- épreuve de résistance à la compression nominale à 56 jours conformément à l'article 5.5.1.2 du DNA EN 206.

Il est impératif d'étudier la compatibilité de ces dispositions avec les autres exigences à remplir (p.ex. : haute résistance à la pénétration de l'eau, résistance au gel, etc.).

Les prestations spécifiques à fournir dans le cadre des dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait thermique sont à considérer comme prestations spéciales à spécifier séparément dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix.

5.3.2.3) Dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait plastique

- limitation du rapport E/C,
- limitation de la teneur en pâte de ciment,
- compactage et recompactage rigoureux,
- cure rigoureuse.

Les prestations spécifiques à fournir dans le cadre des dispositions technologiques visant à maîtriser le retrait plastique sont à considérer comme prestations spéciales.

5.4) Décoffrage

Le programme de décoffrage est soumis à l'acceptation de la Direction des Travaux et précise:

- les procédures de décoffrage;
- le délai de décoffrage envisagé.

Les échafaudages et coffrages ne peuvent être démontés qu'à partir du moment où le béton a atteint une résistance suffisante

- **pour supporter les charges à reprendre par l'élément bétonné**
- **pour limiter les déformations dues aux propriétés élastiques et plastiques du béton**
- **pour éviter les détériorations de la surface et des angles de l'élément bétonné lors du décoffrage**

La résistance du béton au décoffrage doit être suffisante pour éviter tout arrachement (résistance à l'arrachement du béton de surface). En conséquence, l'Entrepreneur doit tenir compte de l'adhérence entre le béton et la peau de coffrage concernée.

Les opérations de décoffrage sont exécutées soigneusement et sans chocs. Elles ne doivent causer aucun dommage à la surface resp. à la structure du béton.

Au cas où le coffrage ferait partie de la méthode de cure, les conditions de l'article 5.5 sont à respecter.

Il est recommandé de fixer le délai de décoffrage resp. de démontage des échafaudages en fonction des résultats des essais de contrôle de l'évolution du durcissement, effectués à intervalles définis sur une série de cubes, conservés dans les mêmes conditions de température et d'humidité que l'élément d'ouvrage considéré..

Le décoffrage des surfaces de béton apparent, dont l'uniformité de teinte est requise dans l'ensemble, doit être effectué dans les mêmes délais, car la teinte du béton est, entre autre, directement influencée par la durée pendant laquelle il est resté coffré.

COMMENTAIRES

Article 5.5)

- * ***Afin d'atteindre les qualités de résistance et de durabilité nécessaires, la cure et la protection du béton durant la prise et la phase de durcissement sont primordiales !***

5.5) Cure et protection du béton

Le durcissement du béton est dû à une réaction chimique entre l'eau de gâchage et le ciment, appelée réaction d'hydratation*. L'hydratation du ciment produit de la chaleur.

La cure du béton est une mesure de protection visant à éviter une dessiccation prématurée et permettant:

- le développement de la résistance en assurant la continuité du processus d'hydratation ;
- la prévention des fissures de retrait plastique dues à l'évaporation excessive de l'eau de gâchage ;
- l'assurance d'une faible perméabilité et d'une bonne compacité du béton garantissant sa durabilité.

Le béton jeune doit également être protégé:

- du lessivage par les eaux de pluies ;
- du gel et d'un refroidissement trop rapide ;
- du réchauffement excessif ($> +30^{\circ}\text{C}$) ;
- des fissures dues à la chaleur d'hydratation ;
- de l'effet prématuré des sollicitations mécaniques et des substances nuisibles.

Les prestations spécifiques à fournir pour la **cure du béton**, c.à.d. la protection du béton contre la dessiccation jusqu'au durcissement suffisant, sont à considérer comme **prestations spéciales** à spécifier séparément dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix..

Les mesures particulières à mettre en œuvre pour la **protection du béton** lorsque les températures extérieures sont $\leq +5^{\circ}\text{C}$ ou $\geq +25^{\circ}\text{C}$, ainsi que les mesures de protection supplémentaires contre les attaques chimiques ou les sollicitations mécaniques jusqu'au durcissement suffisant respectivement jusqu'à la réception des travaux sont à considérer comme **prestations spéciales** à spécifier séparément dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

COMMENTAIRES

Article 5.5.1)

* voir article 5.2.5) du présent document.

** voir article 5.2.6) du présent document.

5.5.1) Méthodes de cure

La vitesse du vent, l'humidité relative de l'air, la température du béton et les conditions d'ensoleillement sont des facteurs déterminants dans le processus de dessiccation du béton.

Le principe de la cure et en partie de la protection est d'isoler le béton des conditions atmosphériques. Le tableau T5.5.1) 1 réparti de manière indicative les méthodes usuelles à mettre en œuvre en fonction de la température extérieure.

Tableau T 5.5.1) 1

Type	Procédés	Températures extérieures en °C				
		< -3°	-3° à +5°	+5° à +15°	+15° à +25°	> +25°
Couverture plastique / produits de cure / humidification complémentaire	Humidification préalable et couverture avec une bâche imperméable (polyane), humidification des coffrages en bois; protection des coffrages métalliques du rayonnement solaire.					X**
	Couverture ou pulvérisation d'un produit de cure.			X	X	
	Couverture ou pulvérisation d'un produit de cure et isolation thermique; l'utilisation de coffrages isolants (p.ex. bois) ou calorifugés est recommandée.		X*			
	Couverture et isolation thermique; mise sous abris (tente) et chauffage; maintien de la température du béton à + 10°C pendant au moins 3 jours.	X*				
Eau	Humidification continue par pulvérisation d'eau.				X	

De manière générale, les dispositions suivantes sont à respecter :

- L'Entrepreneur doit équiper son chantier d'au moins 2 thermomètres à maxima et à minima, d'un thermomètre à sonde pour mesurer la température du béton en place, ainsi que d'un hygromètre. Les relevés de températures (min./max) et d'hygrométrie sont à consigner quotidiennement dans un registre de chantier. La température du béton frais est à relever et à consigner par temps chaud ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) et par temps froid ($\leq 5^{\circ}\text{C}$) dans le P.A.Q. par phase de bétonnage d'un élément d'ouvrage en début de livraison puis chaque 5^{ème} livraison.
- Humidifier suffisamment longtemps avant le bétonnage les assises de fondations, les raccords de bétonnage, les prédalles, etc. Au moment du bétonnage, les surfaces humidifiées doivent présenter un aspect mat.
- Par temps chaud, la température du béton frais ne doit pas dépasser 30°C .
- Par temps froid, la température du béton frais ne doit pas être inférieure à 10°C
- Les surfaces coffrées peuvent être considérées comme protégées à condition d'humidifier les coffrages absorbants et de protéger les coffrages métalliques de l'ensoleillement.
- Les surfaces non coffrées sont à protéger le plus rapidement possible après la mise en œuvre.
- Superposer et fixer convenablement les bords des couvertures afin d'éviter les courants d'air accélérant la dessiccation.
- Les couvertures absorbantes telles que jutes et géotextiles doivent constamment être maintenues humides et recouvertes d'un polyane.
- Le contact direct des couvertures avec la surface du béton est à éviter. Celui-ci peut laisser des empreintes et provoquer des efflorescences.
- L'eau de cure doit être pulvérisée afin d'éviter le délavage des bétons jeunes et d'éventuels chocs thermiques. La cure par aspersion d'eau ne convient pas aux ouvrages en béton apparent, étant donné le risque d'apparition d'efflorescences.
- Les produits de cure sont plutôt adaptés aux surfaces horizontales. Il y a lieu de s'assurer de l'absence d'effets indésirables en cas de traitements ultérieurs de surface. Toute trace de produit est à éliminer en cas de reprise de bétonnage.
- L'aspect des bétons apparents est influencé par la méthode et la durée de la cure. Il est rappelé que les parements dont l'uniformité de teinte est requise doivent être soumis à une durée de cure égale. Les procédés ou les produits de cure utilisés ne doivent pas causer des différences de teinte des parements.
- Les moyens de cure et de protection des bétons sont appliqués sur toutes les surfaces, de manière continue et homogène, afin de ne pas altérer les caractéristiques du béton et l'aspect de son parement.
- La cure est permanente pendant la durée requise du traitement.

Les méthodes et moyens de cure et de protection sont à décrire par l'Entrepreneur dans le P.A.Q. En fonction du plan de contrôle, l'Entrepreneur fera valider par la Direction des Travaux un rapport reprenant la description des moyens utilisés et la durée de leur mise en œuvre pour chaque phase de bétonnage d'un élément d'ouvrage. **La réception définitive de l'ouvrage est soumise à la présentation dans le P.A.Q. de la documentation complète établie en fonction du plan de contrôle et validée par la Direction des Travaux. Celle-ci atteste de l'application conforme des dispositions du présent chapitre.**

Les dispositions suivantes sont à prendre en compte :

Cure par couvertures imperméables

Les couvertures employées doivent être maintenues pendant toute la durée de la cure sur l'ensemble de la surface à traiter, soit en contact direct (sauf dans le cas de parements où le contact est interdit), soit à proximité de la surface, en ménageant un vide d'air suffisant.

En outre, il faut que ce procédé soit appliqué d'une manière étanche afin d'empêcher toute évaporation superficielle et toute circulation d'air entre le support en béton et la bâche.

La qualité du matériel et des moyens de mise en œuvre prévus sont soumis à l'approbation de la Direction des Travaux.

Cure par couvertures perméables

L'emploi de couvertures perméables et absorbantes (jutes, coton, géotextiles ou similaires) peut être autorisé dans certains cas (p.ex. protection d'une surface de béton exposée à une source de chaleur). Ces couvertures sont néanmoins à maintenir humide par pulvérisation permanente d'eau ou par recouvrement étanche après humidification préalable.

La qualité du matériel et des moyens de mise en œuvre prévus sont soumis à l'approbation de la Direction des Travaux.

Cure au moyen d'un produit de cure

Les produits de cure (curing compounds) sont des cires ou des résines naturelles ou artificielles dispersées dans des solvants liquides. Appliquées en fine(s) couche(s) sur les surfaces en béton, les cires ou résines se déposent après évaporation du solvant et forment un film imperméable à l'eau et à la vapeur d'eau, de sorte que l'évaporation de l'eau du béton est fortement ralentie.

Des colorants sont en général ajoutés à ces produits afin de permettre à l'applicateur de distinguer les surfaces non encore traitées.

L'efficacité des produits de cure étant néanmoins restreinte et limitée dans le temps, des mesures complémentaires sont à appliquées lorsque les conditions atmosphériques sont favorables à une dessiccation rapide du béton (forte brise, vent sec).

L'application d'un produit de cure est en générale inadaptée aux surfaces verticales ou inclinées, aux surfaces de béton apparent et dans le cas où la surface du béton est recouverte ultérieurement d'un produit devant adhérer au support. Dans ce cas, sauf si un essai préalable en a démontré l'innocuité, le produit appliqué est à éliminer.

L'utilisation d'un produit de cure est soumise à l'approbation préalable de la Direction des Travaux.

Protections thermiques

Les protections thermiques sont destinées à maîtriser les pertes de chaleur du béton. La qualité et le pouvoir calorifuge des moyens de protections thermiques proposés par l'Entrepreneur sont à soumettre à l'approbation préalable de la Direction des Travaux. Des précautions particulières doivent être prises:

- lorsque le béton risque de subir des chocs thermiques, en cas d'inerties thermiques variables,
- si la température extérieure est $\leq + 5^{\circ}\text{C}$

Les protections thermiques sont à protéger de la pluie. La surface du béton est à protéger des infiltrations d'eau froide d'une part et de la dessiccation d'autre part.

COMMENTAIRES

Article 5.5.2)

* Celle-ci est fonction de la qualité du béton mis en œuvre (rapport Eau/Ciment !) et de la qualité de ciment employée ainsi que du degré d'humidité et de la température ambiante.

5.5.2) Commencement et durée de la cure

La cure du béton doit commencer dès la fin du surfaçage pour les surfaces non coffrées et être poursuivie si nécessaire dès le décoffrage pour les surfaces coffrées.

La durée de la cure dépend de l'évolution du durcissement du béton * et des conditions climatiques (température et degré d'humidité environnants, exposition au vent). La température à prendre en compte est définie comme étant la moyenne calculée sur 24 hrs de la température minimale et maximale, prise sous abri. Le degré d'humidité relative de l'air est la valeur la plus faible de celles correspondant à ces deux mesures.

Les durées minimales de cure en fonction de l'évolution de la résistance du béton et des conditions d'exposition sont prescrites dans le tableau T 5.5.2) 1.

T 5.5.2) 1 Durée minimale de la cure en jours pour les applications courantes

Conditions ambiantes	T° de surface du béton	Classe d'évolution de la résistance du béton			
		R (rapide)	M (moyenne)	L (lente)	TL (très lente)
<i>bonnes</i> pas d'exposition directe au soleil et au vent humidité relative de l'air ≥ 80%	≥ 10 °C	1	2	3	4
	< 10 °C ^{a)}	2	4	5	7
<i>normales</i> ensoleillement moyen et vent de vitesse moyenne, humidité relative ≥ 50%	≥ 10 °C	1	3	4	6
	< 10 °C ^{a)}	2	5	8	12
<i>mauvaises</i> fort ensoleillement et / ou vent fort et / ou humidité relative < 50%	≥ 10 °C	2	4	6	10
	< 10 °C ^{a)}	3	7	10	15
Evolution de la résistance du béton à 20°C en fonction du rapport des résistances f_{cm2}/f_{cm28} ^{b)}					
rapide	R	≥ 0,5			
moyenne	M	≥ 0,3 à < 0,5			
lente	L	≥ 0,15 à < 0,3			
très lente	TL	< 0,15			

^{a)} La durée de la cure est à prolonger du nombre de jours pendant lesquels la température aura été inférieure à + 5 °C

^{b)} Rapport entre la résistance moyenne à la compression à 2 jours ($f_{cm,2}$) et à 28 jours ($f_{cm,28}$) déterminées par les essais initiaux.

La durée de la cure pour les applications courantes peut également être déterminée en fonction de la résistance structurale effectivement atteinte par la partie de l'ouvrage concernée. Dans ce cas, la cure sera assurée jusqu'à ce que la résistance structurale en surface du béton atteigne 50% de la résistance caractéristique f_{ck} .

La durée de la cure est par conséquent également à prolonger lors de l'utilisation d'adjuvant retardateur.

COMMENTAIRES

Article 5.6)

- * *Il est bien entendu qu'en générale pour les ouvrages courants la majorité des procédures et procédés de mise en œuvre sont similaires et répétitifs. Dans ces cas, une référence à un document standard préétabli du P.A.Q. est suffisante. Il est également recommandé d'utiliser des formulaires standardisés afin de faciliter la rédaction des documents demandés. Les plans sont toujours à compléter avec les schémas et annotations relatifs au procédé de mise en œuvre.*

Pour des applications spécifiques, pour lesquelles d'autres caractéristiques que la seule résistance à la compression sont déterminantes, p.ex. des bétons présentant une haute résistance à l'usure, les durées minimales de la cure du tableau ci-dessus sont à doubler resp. la cure est à assurer jusqu'à ce que la résistance structurale en surface du béton atteigne 70% de la résistance caractéristique f_{ck} .

Les méthodes de cure et de protection du béton sont à appliquer de manière stricte par l'Entrepreneur en respectant les durées prescrites.

5.6) Programme de bétonnage

Le programme de bétonnage fait partie des documents établis par l'Entrepreneur dans le cadre de la préparation des travaux. Il est à fournir à la Direction des Travaux sur simple demande. Il fait partie du P.A.Q. en fonction du plan de contrôle. Il est constitué d'un tableau reprenant la désignation des éléments d'ouvrages à bétonner par phase de bétonnage accompagnée de la référence aux plans de coffrage resp. au plan d'ensemble du chantier (accès, positionnement des grues, pompes, etc.) y relatif. Ces documents préciseront spécifiquement par phases *:

- La spécification finale du béton, complétée le cas échéant par l'écart maximum admissible des résultats individuels d'essai par rapport aux limites spécifiées de la valeur cible de consistance resp. de la teneur en air.
- Les volumes de béton à mettre en œuvre sans interruption, la cadence de bétonnage ainsi que les délais de mise en œuvre du béton après confection.
- Le plan d'accès du béton sur le chantier jusqu'à pied d'œuvre; l'emplacement et les caractéristiques du matériel employé pour le transport jusque dans les coffrages, le procédé de mise en œuvre du béton, le sens d'introduction du béton frais dans les coffrages, les dimensions, le nombre et les caractéristiques (amplitude, fréquence, puissance) des vibreurs, l'emplacement des points de plongée des aiguilles vibrantes, y compris les dispositifs permettant de mesurer facilement leur profondeur de plongée, conformément à l'article 5.2.
- Si nécessaire, la disposition et les moyens de mise en place et de fixation des parties de coffrage à mettre en place en cours de bétonnage. (voir également article 3.2 - Prescriptions générales -).
- Les moyens de vibration de surface du béton conformément à l'article 5.2 - Mise en œuvre du béton -.
- Les procédures et matériels de réserve destinés à pallier aux défaillances éventuelles à tous les stades, depuis la fabrication jusqu'au compactage du béton conformément à l'article 5.2.7. – Matériels de secours.
- Les modalités de contrôle des températures minimales et maximales du béton pendant son durcissement dans le cadre des articles 5.2.5 ; 5.2.6 ; 5.3 et 5.5.
- Le cas échéant, le procédé de protection contre la fissuration due aux actions thermiques et au retrait plastique choisi conformément aux prescriptions de l'article 5.3 – Éléments massifs d'ouvrages en béton -.
- Le programme détaillé des opérations de décoffrage, conformément aux stipulations de l'article 5.4. - Le décoffrage -.
- Le procédé choisi pour la protection et la cure des bétons, toutes les modalités d'application correspondantes, ainsi que la durée de la protection, conformément à l'article 5.5 - La cure et la protection des bétons -.

COMMENTAIRES

Article 5.7)

- * *D'autres essais (mesures des teneurs en eau et en ciment sur mélange frais ; prélèvement d'échantillons par carottage dans l'ouvrage pour vérification des caractéristiques mécaniques, chimiques et physiques et leur évolution dans le temps, ...) peuvent être déterminés conjointement avec l'Entrepreneur lors des réunions de préparation des travaux.*
- ** *Conformément à l'article 5.2 – Mise en œuvre du béton - , la consistance du béton destiné à la confection d'éléments de béton apparent est à contrôler systématiquement sur chaque livraison.*

5.7) Programme de contrôles et d'analyses sur chantier du béton frais et durci et dispositions spécifiques

Dans le cadre du P.A.Q., l'Entrepreneur établira un programme de contrôle et d'analyse sur chantier du béton frais et durci par phase de bétonnage et conformément à l'annexe M du DNA EN 206 et du tableau T.5.7) 1 ainsi qu'aux dispositions spécifiques du cahier particuliers des charges * pour les essais énumérés dans le tableau T.5.7) 2 pour le contrôles des caractéristiques exigées afin de satisfaire aux propriétés particulières.

L'Entrepreneur procédera aux essais et vérifications conformément à l'ensemble de ces dispositions. Pour chaque résultat, la date et l'heure de prélèvement ainsi que le numéro du bon de livraison sont à préciser.

L'équipement nécessaire au contrôle du béton sur chantier conformément à l'article M.4 de l'annexe M du DNA EN 206 fait partie des équipements de chantier spéciaux à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix.

T5.7) 1 Contrôles et analyses sur chantier du béton frais et durci suivant annexe M du DNA EN 206

Élément de contrôle	Fréquence minimale par classe de surveillance suivant annexe M du DNA EN 206		
	1	2	3
Bon de livraison	chaque livraison		
Consistance**	en cas de doute	à la 1 ^{ère} mise en œuvre d'une qualité de béton ; lors de la confection de cubes d'essais de compression ; en cas de doute	
Contrôle visuel de la régularité du béton	ponctuellement	chaque livraison	
Résistance à la compression sur cubes ⁽¹⁾	3 échantillons ⁽²⁾ par 300 m ³ ou par 5 jours de bétonnage ⁽³⁾	3 échantillons ⁽²⁾ par 300 m ³ ou par 3 jours de bétonnage ⁽³⁾	3 échantillons ⁽²⁾ par 150 m ³ ou par 2 jours de bétonnage ⁽³⁾
Teneur en air sur béton avec entraîneur d'air ⁽⁴⁾	non applicable	5 premières livraisons de chaque bétonnage puis chaque 5 ^{ème} livraison	

⁽¹⁾ Le prélèvement d'échantillons et la détermination de la résistance à la compression sur cube sont effectués séparément pour chaque recette de béton \geq C 20/25.

⁽²⁾ Les trois échantillons sont prélevés le même jour, au début de chaque volume particulier (300 m³ ou 150 m³) resp. le premier jour de chaque période de bétonnage (5 jours, 3 jours ou 2 jours) de façon aléatoire conformément à l'EN 12350-1. Un cube est confectionné conformément à l'EN 12390-2 par échantillon prélevé, le cas échéant après adaptation de la consistance. Trois cubes forment une série.

⁽³⁾ Le cas qui fournit le nombre d'échantillons le plus élevé doit être retenu.

⁽⁴⁾ Ce contrôle est exigé pour les bétons mis en œuvre dans le cadre de la classe d'exposition XF4 (Cat.4 LP)

Le cas échéant, la confection d'éprouvettes supplémentaires pour les contrôles des caractéristiques exigées afin de satisfaire aux propriétés particulières (p.ex. résistance au gel-dégel en présence d'agents de déverglaçage, à la pénétration de l'eau, à la flexion, à la traction, le module d'élasticité, etc.) ainsi que leurs fréquences minimales, sont soit spécifiées séparément conformément à l'article 6.2.3 de l'EN 206-1 DNA EN 206 ou se font en conformité avec le tableau T.5.7) 2.

Le tableau T.5.7) 2 définit une série de contrôles complémentaires à l'annexe M du DNA EN 206. Ceux-ci sont à spécifier avec les fréquences minimales d'application le cas échéant ainsi que les valeurs cibles à atteindre dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix.

T.5.7) 2 Contrôles et analyses supplémentaires sur chantier du béton frais et durci

Elément de contrôle	Normes et méthodes applicables	Type d'éprouvette	Fréquence minimale de contrôle
Résistance au gel-dégel avec agents de déverglaçage Classe d'exposition XF4	RILEM/CDC 2	cube de 150 mm d'arête	2 éprouvettes par jour de bétonnage
Résistance à la pénétration de l'eau	EN 12390-8	cube de 150 mm d'arête	2 éprouvettes par phase de bétonnage d'un élément d'ouvrage
Module d'élasticité	DIN 1048 T.5	cylindre Ø 150 mm ; hauteur 300 mm	6 éprouvettes à la première livraison du béton sur le chantier
Masse volumique apparente à l'état frais	EN 12350-6	fréquence minimale à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix, en cas de doute justifié de la Direction des Travaux	
Teneur en eau du béton frais	DIN 1048-1	fréquence minimale à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix, en cas de doute justifié de la Direction des Travaux	
Analyse granulométrique sur béton frais	EN 933-1	fréquence minimale à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix, en cas de doute justifié de la Direction des Travaux	
Résistance à la traction par fendage	EN 12390-6	fréquence minimale à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix,	
Résistance à la flexion	EN 12390-5	fréquence minimale à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix,	
Température du béton frais	-	par temps chaud resp. par temps froid en début de livraison puis chaque 5 ^{ème} livraison	
Masse volumique du béton durci	EN 12390-7	cube de 150 mm d'arête	lors des essais de compression
Evolution du durcissement	-	réalisation du contrôle à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix	
Résistance structurale	EN 12504 prEN 13791	réalisation du contrôle à spécifier dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix, en cas de doute justifié de la Direction des Travaux (à charge de l'Entrepreneur en cas de résultats insuffisants)	

De façon générale, les rapports d'essais et l'évaluation des résultats d'essais font partie intégrante du P.A.Q. Les résultats sont à référencer par élément d'ouvrage et phase de bétonnage.

5.8) Tolérances dimensionnelles

Les ouvrages et éléments d'ouvrages sont à réaliser dans le respect des tolérances dimensionnelles définies dans le présent CDC ou séparément prescrites dans le cahier particulier des charges. Si aucune autre prescription particulière n'est faite, les tolérances dimensionnelles sont définies et contrôlées en fonction des normes DIN 18201 et DIN 18202, les tolérances applicables suivant DIN 18202 étant spécifiées en fonction de la nature de l'ouvrage dans les dispositions du cahier particulier des charges.

En cas de spécification d'une qualité d'aspect et de forme conformément au chapitre 6, respectivement de qualité de forme pour du béton laissé brut de décoffrage, des exigences de tolérances dimensionnelles plus restrictives peuvent être définies conformément aux tableaux T.A) 4.0 à T.A) 4.4 de l'annexe A.

COMMENTAIRES

Article 6.2)

* *Pour les parements d'éléments d'ouvrages devant satisfaire à des exigences techniques, p.ex. haute résistance à la pénétration de l'eau, résistance à l'usure, supports destinés au second œuvre, des dispositions particulières peuvent être nécessaires. Il convient de prendre en compte que certains critères de qualité d'aspect ne peuvent pas toujours être garantis pour ces types d'ouvrages (p.ex. : aspect après injection de fissures)*

** *Il est recommandé pour des raisons de conception, de réalisation et économiques, d'adapter le concept architecturale relatif au parement aux possibilités offertes par les outils de coffrage disponibles sur le marché.*

6) DIRECTIVES POUR LA PRESCRIPTION ET L'ÉVALUATION DE BÉTON APPARENT

6.1) Définition

Le terme béton apparent s'applique aux éléments d'ouvrage dont la surface à l'état fini reste apparente et **pour laquelle des exigences de qualité d'aspect et de forme ont obligatoirement été formulées de façon exhaustive et non équivoque dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix conformément au présent chapitre.**

La **surface d'élément de béton apparent** est désignée par le terme **parement**. Le parement peut avoir été obtenu soit directement après décoffrage soit après traitement de surface du béton coffré ou non coffré.

6.2) Eléments de prescription

En dehors de la conformité mécanique et de la résistance du béton aux actions physiques et chimiques, des qualités d'aspect et de forme des parements doivent être définies pour les éléments d'ouvrages en béton apparent.*

Seuls peuvent être pris en compte pour l'évaluation des qualités d'aspect des parements des critères clairement caractérisés pour tous les éléments susceptibles d'être évalués. La description de ces critères doit être suffisamment exhaustive dans le bordereau des prix et le cahier particulier des charges pour permettre à l'entreprise soumissionnaire d'identifier lors du calcul des prix l'ampleur des dispositions et moyens à mettre en œuvre.

Il doit être tenu compte lors de la prescription de la faisabilité ainsi que de toutes les exigences ayant une incidence sur les coûts et la mise en œuvre. Il convient également de tenir compte des délais nécessaires à la réalisation d'ouvrages en béton apparent, qui sont comparativement plus longs que pour les travaux de bétonnage sans exigences d'aspect.

Les exigences de caractéristiques d'aspect et de forme qui ne peuvent être suffisamment définies au travers de l'énoncé des éléments ci-dessous doivent faire l'objet d'une étude préalable de faisabilité qui sera jointe sous forme d'un rapport au cahier particulier des charges.

L'illustration de critères définis au travers de parements d'ouvrages existants est possible. Ces parements ne pourront néanmoins pas être considérés comme surfaces de références suivant l'article 6.5.

Les éléments suivants sont plus particulièrement à spécifier :

- type et exigences relatives à la qualité de parement conformément à l'article 6.4 – Définition de la qualité d'aspect et de forme du parement – ;
- indications géométriques et caractérisation des surfaces dans un plan de calepinage ** :
 - indication de la géométrie, des dimensions, de la découpe des panneaux et peaux de coffrage, des éléments de compensations et autres éléments de coffrage tels que pour les rives, angles, saillis, retraits, réservations, etc. ;
 - calepinage des éléments de fixation des peaux de coffrage ;
Le cas échéant, l'absence d'empreintes des éléments de fixation des peaux de coffrage (têtes de clous, de vis, etc.) est spécifiée dans le cahier particulier des charges et fait l'objet d'une position distincte dans le bordereau des prix.
 - positions, diamètre(s) et type(s) de trous d'ancrage ;
une représentation de la forme géométrique des trous d'ancrage et de leur obturation à l'échelle 1:2 est à joindre ;
 - position, géométrie, dimensions et qualité des baguettes d'angle ;
 - position, géométrie, dimensions et qualité des joints de dilatation, de retrait, de rupture et de tassement, des joints d'étanchéité et des joints de reprise de bétonnage ;

COMMENTAIRES

Article 6.2)

*** Exemples de travail de surface à l'état frais :

- brossage, talochage ; lissage, ...

Exemple de travail de surface à l'état durci :

- désactivation, lavage à l'acide, sablage, bouchardage, ponçage, polissage, ...

**** Exemple de traitements de surface :

- peintures, lasures, hydrofuges, algicides, fongicides, anti-graffitis, ...

***** Dans le cadre de la réalisation de parements, la collaboration de l'ensemble des intervenants au sein d'une équipe est garantie du résultat. Il est dans ce sens recommandé de documenter les responsabilités techniques des différents intervenants dans le P.A.Q.

Sont en général concernés :

- la Direction des Travaux
- l'architecte
- l'ingénieur-conseil
- le technologue du béton
- l'Entrepreneur
- le producteur du béton

***** Sont e.a. concernées les exigences dimensionnelles minimales pour les voiles respectivement les colonnes en fonction de l'enrobage des armatures, des contraintes du ferrillage et de la possibilité d'une mise en œuvre correcte du béton.

Exemple pour le dimensionnement minimale d'un voile en béton armé de cat.2 (XC4 ;XF1) permettant une mise en œuvre correcte du béton :

Enrobage des armatures suivant T.2.9) 1

extérieur $c_{nom} = 4,0 \text{ cm}$ (XC4, $d_s \leq 25 \text{ mm}$)
intérieur $c_{nom} = 2,0 \text{ cm}$ (XC1, $d_s \leq 10 \text{ mm}$)

Ferrillage : 2 treillis Q335 A

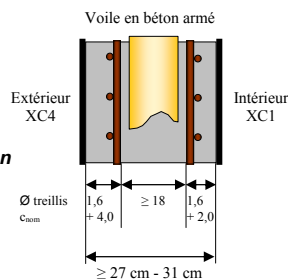
2 x 2 x 0,8 cm = 3,2 cm

Limitation de la hauteur de chute par insertion d'un tuyau de bétonnage ou d'une goulotte

18 cm – 22 cm

Épaisseur total du voile :

27 cm – 31 cm



- texture du parement ainsi que nature et qualité de la peau de coffrage conformément à l'article 3.4 - Nature et qualités des peaux de coffrage - ;
- teinte du parement ;
- travail en surface à l'état frais ou durci du parement *** ;
- traitements de surface du parement**** ;
- surfaces d'essais et de référence conformément à l'article 6.5 – Surfaces d'essais et surfaces de référence –
- critères et modalités d'évaluation conformément à l'article 6.6 – Evaluation des parements – ;
- procédés de ragréages et de réparation ;
- nettoyage, protection et entretien des parements (v. également chapitre 7 - Nettoyage et protection des surfaces de béton après réalisation -).

Le bordereau des prix mentionnera séparément pour chaque qualité de parement en m^2 :

- les surfaces coffrées ;
- les surfaces non-coffrées à travailler et/ou à traiter ;
- les surfaces de parement à travailler et/ou à traiter ;
- les surfaces à protéger et/ou à entretenir
- les surfaces à nettoyer ainsi que les moyens et procédés de nettoyage

Le bordereau des prix mentionnera séparément pour chaque qualité de parement en m^3 :

- la quantité et la qualité de béton à mettre en œuvre

Il appartient au maître de l'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre de décrire de façon exhaustive et non équivoque le résultat à obtenir.

Il relève de la responsabilité de l'Entrepreneur de mettre en œuvre tous les moyens et dispositions nécessaires afin de permettre l'obtention du résultat spécifié et de documenter ceux-ci dans le P.A.Q.*****

A cette fin les travaux de bétonnage (coffrage ; ferrillage ; mise en œuvre du béton ; décoffrage ; cure ; protection et nettoyage ; travail et traitement de surface le cas échéant) sont à exécuter par du personnel qualifié.

On entend de manière non exhaustive par personnel qualifié :

- personnel formé à la mise en œuvre de l'outil de coffrage spécifique au marché ;
- personnel informé des exigences requises concernant la qualité de parement prescrite et des moyens à mettre en œuvre afin de satisfaire à ces exigences ;
- personnel impliqué dans la réalisation des surfaces d'essais ;
- personnel encadrant bénéficiant d'une expérience dans la réalisation de parements de qualité similaire ;

Il peut également être nécessaire de recourir à une main d'œuvre qualifiée e.a. dans le domaine de la menuiserie et de la chaudronnerie.

La géométrie et les dimensions des éléments d'ouvrage en béton apparent doivent permettre de garantir un ferrillage conforme des éléments armés, un recouvrement suffisant des armatures conformément à l'article 2.9 – enrobage des armatures -, une mise en œuvre conforme du béton. La géométrie et les dimensions seront donc évaluées lors de la conception en tenant compte de la faisabilité, de la qualité d'aspect et de forme exigée et des critères de durabilité afin de restreindre les risques de non-conformité lors de la réalisation *****.

Recommandations pour la spécification d'une catégorie de béton :

De façon générale, les catégories de béton du tableau T.6.2) 1 sont déterminées à titre indicatif pour des voiles en béton armé apparents. Les bétons de catégories supérieures étant plus difficile à maîtriser en terme de qualité de parement, **il est contreproductif de choisir une catégorie supérieure à celle réellement nécessaire !**

Il est rappelé que **des classes de résistance supérieures** (p.ex. nécessaires suivant calcul statique) à la classe de résistance minimale imposée (garantissant la durabilité) **peuvent être choisies pour une même catégorie.**

Tableau T.6.2) 1 Catégories de béton typiques pour voiles en béton armé apparents

	1	2	3	4
	Environnement	Classes d'exposition	Catégorie de béton	Classe de résistance minimale
1	Voile intérieur (taux d'humidité normale en habitation)	XC1	Cat. 1	≥ C20/25
2	Voile extérieur abrité de la pluie (passage couvert, hall ouvert)	XC3, XF1	Cat. 2	≥ C25/30
3	Voile extérieur (extérieur soumis aux intempéries ; intérieur isolé thermiquement)	XC4, XF1 (intérieur XC1)	Cat. 2	≥ C25/30
4	Voile extérieur (2 faces extérieures)	XC4, XF1	Cat. 2	≥ C25/30
5	Voile extérieur soumis à des projections contenant des agents de déverglaçage (zones de circulation routière)	XC4, XD1, XF2	Cat. 3	≥ C30/37

COMMENTAIRES

Article 6.3.1)

- * *L'apparition d'exsudations (précipitation d'hydroxyde de calcium sous forme de carbonate de calcium) est liée aux conditions d'humidité dans lesquelles se trouve l'ouvrage. Il est possible de limiter l'apparition des exsudations sur béton jeune (exsudations primaires) en empêchant la formation d'un film d'eau sur le parement (eau de pluie, de ruissellement, de cure, de condensation, etc.) jusqu'à durcissement suffisant et carbonatation homogène de la surface. Les exsudations secondaires (après durcissement) peuvent apparaître par délavage intérieur du potentiel d'hydroxyde de calcium disponible après hydratation du ciment. Ce délavage se fera par infiltration d'eau au droit d'imperfections structurelles (cavités, petites fissures). Les exsudations secondaires peuvent être limitées par application d'un hydrofuge de surface. Les hydrofuges doivent être non pigmentés et résister aux alcalis des ciments et aux rayons UV. L'application d'un traitement de surface doit faire l'objet d'une étude préalable conformément aux dispositions de l'article 6.5 – Surfaces d'essais -. Des dispositions particulières peuvent être prescrites dans le cadre du chapitre 7 – Nettoyage et protection des surfaces de béton après réalisation -.*

Article 6.3.2)

- * *En cas d'exigence d'absence **totale** de traces de rouille en sous face d'éléments horizontaux, il convient de prescrire l'utilisation d'armatures et de fils de ligature inoxydables, galvanisés ou traités anti-corrosion conformément à l'article 2.12 – Protection anti-corrosion.*

6.3) Faisabilité

L'ensemble des exigences relatives à la qualité d'aspect et de forme prescrite doit être techniquement et économiquement réalisable. Toutes les contraintes technologiques et constructives doivent être prises en compte lors de l'évaluation de la faisabilité. Le cas échéant, une étude préalable de faisabilité est à effectuer et à joindre sous forme d'un rapport au cahier particulier des charges. L'étude de faisabilité doit être effectuée avant la soumission des travaux concernés et ne peut être substituée par les essais préalables destinés à la vérification de la conformité aux prescriptions du marché tels que décrits à l'article 6.5 – Surfaces d'essais.

Par définition, la logique constructive (p.ex. marques d'arrêt et de reprise de bétonnage, rythme du calepinage), le processus de mise en œuvre (p.ex. variations des conditions climatiques, tolérances) et les caractéristiques intrinsèques du béton (p.ex. caractère composite : mélange hétérogène de matériaux d'origine naturelle, porosité, tolérance de production) restent visible dans les parements bruts de décoffrage. Ces contraintes sont à intégrer dans la conception d'ouvrages en béton apparent.

Les limites de faisabilité sont définies ci-après de façon représentative :

6.3.1) Caractéristiques dont l'atteinte ne peut techniquement être assurée

- teinte homogène de tous les parements de l'ouvrage ;
- absence de porosité ;
- structure poreuse régulière sur le parement d'un élément d'ouvrage respectivement sur l'ensemble des parements ;
- absence de bullage sous les parties horizontales des mannequins, autres réservations, coffrages en retour ou saillies et contre-coffrages
- absence totale d'exsudations * ;
- joints de coffrage et de reprise de bétonnage invisibles (absence de variation de teinte et de texture).

6.3.2) Ecart qui peuvent être évités de façon restreinte

- légère nuance de teinte entre couches successives de béton ;
- accumulation de pores (bullage) en partie supérieure d'éléments verticaux ;
- empreintes isolées d'armatures ou de gros granulats ;
- légères pertes de laitances au droit des joints, trous d'ancrage, etc. ;
- légers effets de ressuage ;
- auréoles et marmorescences ;
- traînées isolées de chaux (exsudations) et de rouille sur surfaces verticales ;
- traces isolées de rouille en sous faces d'éléments horizontaux * ;
- petites ébréchures et légères pertes de laitance sur les arêtes vives.

Les écarts cités ne peuvent être acceptés que s'ils sont inhérents aux aléas technologiquement non maîtrisables des travaux de bétonnage et que si leur apparition est limitée de telle façon qu'ils n'entravent pas l'aspect général de l'ouvrage.

COMMENTAIRES

Article 6.3.3)

- * *Sont considérées comme importantes les pertes de laitance entraînant la mise à nu du squelette granulaire.*

6.3.3) Désordres techniquement évitables

- Nids de graviers ;
- couches hétérogènes et/ou marquées de façon prononcées ;
- accumulation de traces de rouille sur parties verticales et de traces de rouille sur parties horizontales laissées par des chutes d'armatures et de fils de ligatures ;
- coulées de mortier dues à un défaut d'étanchéité des joints de reprise ;
- calepinage aléatoire ou irrégulier des trous d'ancrages ;
- arêtes irrégulières dues à l'utilisation de baguettes d'angle inappropriées, déformées ou abîmées ;
- désaffleurs de > 5 mm entre éléments de coffrage et de > 10 mm entre joints de reprise et au droit des raccords avec des éléments d'ouvrage existants ;
- pertes de laitances importantes* au droit de joints de coffrage, de raccords et de trous d'ancrage ;
- ressuyages importants ;
- différences de qualité de surface relatives à la teinte et/ou à la texture dues au non respect de dispositions technologiques et/ou constructives et/ou de mise en œuvre maîtrisables.
Ces différences (p.ex. fortes marmorescences ou auréoles marquées) peuvent entre autres être dues à la nature, à la qualité, au traitement préalable des peaux de coffrage, à un stockage, un nettoyage, un entretien inappropriée des coffrages, à l'application inadaptée resp. à l'utilisation d'agents de décoffrage inadaptés, à un terme de décoffrage aléatoire, à un nettoyage absent ou inapproprié du coffrage avant bétonnage, à un changement de constituants dans la composition du béton, à des méthodes de cure inadaptées ou aléatoires, etc ;
- rebouchage inapproprié ou irrégulier des trous d'ancrages.

COMMENTAIRES

Article 6.4.1)

* *La teinte du parement est apportée par les composants du béton. Le ciment, gris ou blanc, mélangé aux fines du sable donne au béton brut de décoffrage sa teinte de fond, qui peut être modifiée par l'ajout de colorants.*

Il convient dans ce contexte de souligner que l'application de lasures souligne les caractéristiques initiales du parement y compris les défauts et irrégularités.

** *Conformément à l'article 2.9 – Enrobage des armatures – il devra être tenu compte lors du calcul de l'enrobage nominal de l'épaisseur de béton éliminée en surface ($\Delta C_{\text{traitement}}$) par le(s) traitement(s) mécanique(s) ou chimique(s).*

6.4) Définition de la qualité d'aspect et de forme du parement

6.4.1 Généralités

Dans le cadre de la réalisation de béton apparent, on distingue trois types de parements suivant leurs modes d'exécution:

– Parements laissés brut de décoffrage:

Les caractéristiques des parements dépendent alors directement de la nature et de la qualité des peaux de coffrage ainsi que de la teinte du béton*

– Parements non coffrés:

Une qualité d'aspect et de forme doit également être définie pour les surfaces non coffrées d'éléments en béton apparent.

– Parements travaillés:

On entend par parements travaillés les parements dont la surface est traitée mécaniquement ou chimiquement à l'état frais (pour les parements non coffrés) ou à l'état durci afin de faire apparaître le granulat ou une texture particulière. Les surfaces peuvent par exemple être talochées, brossées, lavées, désactivées, lavées à l'acide, sablées, bouchardées, poncées ou flammées **.

6.4.2 Critères d'évaluation et exigences relatifs à la qualité d'aspect et de forme

L'article 6.2 – Eléments de prescription – énumère une série d'éléments à spécifier dans le cadre de la description du résultat visé. Dans ce contexte, le présent article définit les **critères d'évaluation** pour lesquelles des **exigences** relatives à la qualité d'aspect et de forme du parement doivent obligatoirement être établies et spécifiées dans la prescription (cahier particulier des charges, bordereau des prix, plan de calepinage, plan de coffrage).

Les critères d'évaluation sont définis comme suit :

Critère	Abréviation	Classes d'exigences par ordre croissant de contraintes suivant annexe A			
Texture	T	T1	T2	T3	
Bullage	P	P1	P2	P3	P4
Homogénéité de teinte	TE	TE1	TE2	TE3	
Tolérance de forme	F	F1	F2	F3	
Joint de reprise	J	J1	J2	J3	J4

La prescription d'une qualité de parement nécessite la définition exhaustive des exigences imposées pour chaque critère.

L'annexe A définit et regroupe en classes de manière **indicative** des exigences en terme de valeurs et d'obligations pour les différents critères au travers des tableaux T.A) 1 à 5.

Les valeurs spécifiées au travers des tableaux T.A) 1 à 5 sont à considérer comme des valeurs maximales à ne pas dépasser. Les moyens et dispositions à mettre en œuvre doivent donc permettre d'atteindre de façon générale des valeurs sensiblement inférieures afin de ne pas dépasser les maxima autorisés. Des dispositions complémentaires spécifiques sont à prescrire dans le cahier particulier des charges et dans le bordereau des prix pour les parements travaillés.

6.5) Surfaces d'essais et surfaces de référence

La confection de surfaces d'essais est obligatoire dans le cadre de la réalisation de béton apparent. Celles-ci doivent être séparément prescrites par le cahier particulier des charges et reprises au bordereau des prix, y compris la protection, la démolition et l'évacuation des éléments réalisés à cet effet. Les surfaces d'essais sont également à décrire au travers de plans d'exécution faisant partie intégrante des documents contractuels du marché.

Avant le début des travaux de béton apparent, la réalisation de **surfaces d'essais** doit permettre de former le personnel de l'Entrepreneur, de définir et d'optimiser les moyens et procédures mis en œuvre et de valider les qualités d'aspects prescrites.

Ces essais peuvent conclure à la nécessité d'adapter la composition du béton. Dans le cadre du présent CDC, la composition du béton doit toujours satisfaire aux dispositions de l'EN 206-1 et du DNA EN 206 et bénéficier de la conformité y relative.

L'ensemble de ces dispositions sont soumis à l'approbation de la Direction des Travaux sous forme d'un rapport d'essais. Après approbation et documentation contradictoire du résultat obtenu, les parements retenus sont désignés comme **surfaces de référence**. Une surface de référence doit contenir tous les éléments susceptibles d'être évalués, par exemple :

- éléments verticaux (voiles, colonnes, baies, réservations, etc.) ;
- éléments horizontaux (dalles, ouvertures, sous-poutres, etc.) ;
- arêtes et angles de ces éléments ;
- représentation suffisante du calepinage ('rythme' du coffrage) ;
- joints de reprise de bétonnage, de dilatation, de tassement ;
- joints entre panneaux de coffrage, entre peaux de coffrage ;
- surfaces non-coffrées ;
- trous d'écarteurs et rebouchages ;
- application de procédés de réparation, de ragréages ;
- application des traitements mécaniques et/ou chimiques de surfaces pour les parements travaillés ;
- application des procédés de traitement de surface (p.ex. hydrofuges, antigraffitis) ou de revêtement de surface (p.ex. lasures, résines).

COMMENTAIRES

Article 6.6)

- * *A l'instar de l'appréciation d'œuvres d'art où un petit tableau est apprécié à courte distance et une grande fresque à une distance beaucoup plus importante.*
- ** *La carbonatation de la zone périphérique du béton (zone de surface) à une influence directe (hydratation des grains de clinker, précipitation de carbonate de calcium) et indirecte (compacité de la surface) sur la teinte du parement.
L'oxydation rend incolore les sulfures de fer ou de manganèse qui peuvent apparaître lors de l'utilisation de ciments contenant du laitier granulé et qui sont à l'origine d'une coloration bleu-vert du parement fraîchement décoffré.
En règle générale, l'évolution de la carbonatation et de l'oxydation dépend des conditions d'exposition et de la perméabilité à l'eau et à l'air de la zone périphérique. De façon indicative un temps d'exposition minimal peut être estimé à 12 semaines. Néanmoins, la teinte d'un parement peut évoluer de façon significative en fonction de la carbonatation de la surface durant plusieurs mois.*
- *** *Une variation de teinte imputable p.ex. à une brusque chute de température ne relève pas directement d'une responsabilité technique.*
- **** *Sont pris en compte dans le cadre d'une expertise technique l'incidence de la non-conformité sur les valeurs esthétiques et les valeurs techniques d'utilisation de l'ouvrage (fonctionnalité et solidité)
La détermination de la proportionnalité économique justifiant l'exécution de réparation ou l'application d'une moins-value sur le prix du marché doit le cas échéant faire l'objet d'une expertise juridique.*

6.6) Evaluation des parements

La **réception** d'un ouvrage ou élément d'ouvrage en béton apparent se base en premier lieu sur l'**appréciation de l'aspect d'ensemble**. Chaque élément de cet ouvrage est à considérer comme un élément unique influencé par les contraintes citées à l'article 6.3 – Faisabilité -. De légères irrégularités sont inhérentes à la nature du béton apparent.

L'appréciation de l'aspect d'ensemble se fait de jour dans des conditions d'éclairage normales et de lumière diffuse (pas de lumière rasante) en tenant compte des conditions d'humidité ambiantes ainsi que de celles du béton.

La distance d'**appréciation de l'ensemble de l'ouvrage** doit être en relation avec son étendue et permettre d'en apprécier les caractéristiques architectoniques marquantes *. Ainsi une façade n'est donc pas évaluée à partir d'un échafaudage, mais à une distance au moins équivalente à p.ex. sa hauteur sous corniche.

L'**appréciation de parties de l'ouvrage** doit se faire pour un ensemble architectural cohérent à une distance correspondante à la position d'un observateur en condition normale d'utilisation. Sauf spécification particulière, la distance d'appréciation ne saurait être inférieure à 1 m.

Au cas où l'appréciation de parties de l'ouvrage conclu à un résultat non satisfaisant et seulement dans ce cas, les critères déterminant les qualités d'aspect énumérés à l'article 6.4.2 sont évalués séparément par **élément d'ouvrage** en fonction des exigences définies.

En cas de désaccord lors de la réception, les parements réalisés par l'Entrepreneur seront comparés par élément d'ouvrage aux surfaces de référence, afin d'évaluer la conformité aux qualités d'aspect prescrites. Il conviendra néanmoins de tenir compte du fait qu'une surface de référence n'est pas reproductible telle quelle. Une marge d'évaluation tenant compte des tolérances inhérentes à la technologie du béton, à la nature des outils de construction ainsi qu'aux conditions de réalisation est à prendre en compte (voir article 6.3 - Faisabilité)

L'appréciation de l'homogénéité de teinte est en règle générale à effectuer après un temps d'exposition suffisant pour permettre une carbonatation resp. une oxydation régulière de l'ensemble des surfaces **. Lorsqu'un écart de teinte supérieur à l'écart admissible défini par les exigences relatives au critère d'homogénéité de teinte est constaté, il y a lieu d'en définir l'origine. Toute origine imputable au non respect de mesures technologiques et/ou constructives et/ou de mise en œuvre maîtrisables relevant de la responsabilité technique de l'Entrepreneur *** lui est opposable et peut engendrer une non conformité.

De façon générale, le non respect des exigences d'un critère isolé ne conduit au déclassement de l'élément d'ouvrage que s'il peut être considéré comme nuisant à l'aspect d'ensemble. Dans ce cas, une non-conformité aux prescriptions du marché en fonction du présent document peut être déclarée.

En cas de non-conformité, l'Entrepreneur est tenu de procéder à sa charge aux réparations nécessaires, à condition que celles-ci, ainsi que le résultat final obtenu soient compatibles avec les exigences et les qualités d'aspect exigées d'une part, et qu'une proportionnalité économique entre la qualité d'aspect visée et son incidence sur la valeur de l'ouvrage justifie les moyens à mettre en œuvre d'autre part. Au cas où ces conditions ne seraient pas remplies, une moins-value technique est déterminée après pondération des critères d'évaluation. ****

Ces réparations peuvent être des réparations ponctuelles, des applications de systèmes ou de revêtements de protection approuvés, des démolitions, etc. Les réparations envisagées par l'Entrepreneur sont à soumettre par écrit à l'approbation de la Direction des Travaux.

L'Entrepreneur peut demander une réception partielle d'un élément d'ouvrage afin de s'assurer que la réalisation satisfait aux exigences prescrites. Une réception partielle est provisoire : elle ne vaut dans le sens du présent article que pour l'état d'aspect de l'élément en question au moment de sa prononciation. Elle ne peut tenir compte de l'évolution de cet état et ne relève pas l'Entrepreneur de son obligation de protection de l'élément jusqu'à la réception de l'ensemble de l'ouvrage.

COMMENTAIRES

Chapitre 7))

- * *Ce nettoyage est en général effectué après trois mois avec un abrasif doux (genre 'scotchbrite') qui n'abîme pas la peau du béton.*

7) NETTOYAGE ET PROTECTION DES SURFACES DE BÉTON APRES RÉALISATION

L'Entrepreneur est tenu d'éviter toutes les sollicitations au cours des diverses opérations et travaux ultérieurs qui pourraient nuire à la qualité de surface des éléments d'ouvrage.

L'Entrepreneur doit assurer la qualité de surface du béton jusqu'à réception des travaux. Les surfaces sont à protéger contre les sollicitations mécaniques, les salissures, ainsi que contre l'influence défavorable de la pluie, des eaux de ruissellement, du gel et des attaques chimiques le cas échéant.

Une protection adéquate des parements de tous les éléments d'ouvrage désignés en tant qu'élément de béton apparent est à prévoir par l'Entrepreneur jusqu'à la réception des travaux et l'accord de la Direction des Travaux pour leur démontage.

Les parements de béton à l'intérieur des ouvrages sont également à protéger des phénomènes de condensation d'humidité sur leur surface. Ces dispositions sont à soumettre par l'Entrepreneur à la Direction des Travaux dans le cadre du P.A.Q.

Un nettoyage général des parements peut s'avérer nécessaire à terme.*

La protection et le nettoyage des parements sont spécifiés séparément dans le cahier particulier des charges et le bordereau des prix du marché.

Le nettoyage n'est exécuté que sur ordre de la Direction des Travaux.

ANNEXE A : CRITÈRES D'ÉVALUATION ET EXIGENCES RELATIVES AUX SURFACES DE BÉTON AVEC SPÉCIFICATIONS

A1) Généralités

Il est fait référence de façon indicative à la présente annexe dans les chapitres 3 - Coffrages - et 6 - Directives pour la prescription et l'évaluation de béton apparent -.

Le but de cette annexe est de contribuer à la définition d'exigences relatives à la qualité d'aspect et de forme de surfaces de béton.

En fonction de leur étendue et de leur sévérité, ces exigences peuvent s'appliquées :

- à des surfaces pour lesquelles l'apparence est considérée de façon restreinte ou constitue un facteur secondaire : béton brut de décoffrage sans exigences particulières ou étendues concernant l'apparence ;
- à des surfaces faisant l'objet de spécifications relatives à leur apparence et pour lesquelles ces exigences doivent préalablement être définies : béton apparent.

Des exigences sont proposés pour les différents critères définis à l'article 6.4.2 et regroupées en classes dans les tableaux suivants :

Critère	Abréviation	Tableaux
Texture	T	T.A) 1
Bullage	P	T.A) 2
Homogénéité de teinte	TE	T.A) 3
Tolérance de forme	F	T.A) 4.0 à T.A) 4.5
Joints de reprise	J	T.A) 5

Les tableaux T.A) 6.1 et T.A) 6.2 recommandent des combinaisons de classes d'exigences en fonction des qualités d'aspect et de forme recherchées pour des surfaces de béton brutes de décoffrage resp. des parements de béton apparent.

Des dispositions complémentaires spécifiques sont à prescrire dans le bordereau des prix et dans le cahier particulier des charges pour les surfaces travaillées.

COMMENTAIRES

T.A) 1 Exigences relatives à la texture

1		2	3
	Critère	Abréviation	Exigences*
1	Texture Joints entre panneaux de coffrage Joints entre peaux de coffrage	T1	<ul style="list-style-type: none"> - surface du béton (peau de ciment) fermée et homogène dans son ensemble - perte de laitance ou de mortier fin (≤ 2 mm) dans les joints entre panneaux de coffrage acceptée jusqu'à 20 mm en largeur et 5 mm en profondeur - désaffleurement entre panneaux de coffrage accepté jusqu'à 5 mm - empreinte du cadre des panneaux de coffrage autorisée - empreinte d'éléments de compensation (p.ex. tôles, chevrons) autorisée
2		T2	<ul style="list-style-type: none"> - surface de béton fermée (peau de ciment) et homogène dans son ensemble - perte de laitance ou de mortier fin (≤ 1 mm) dans les joints entre panneaux de coffrage acceptée jusqu'à 10 mm en largeur et 5 mm en profondeur - désaffleurement entre panneaux de coffrage accepté jusqu'à 5 mm - ébarbures au droit des joints acceptées jusqu'à 5 mm de hauteur - empreinte du cadre des panneaux de coffrage autorisée sous conditions et en f(plan de calepinage) - empreinte d'éléments de compensation (p.ex. tôles, chevrons) autorisée sous conditions et en f(plan de calepinage)
3		T3	<ul style="list-style-type: none"> - surface de béton fermée (peau de ciment), lisse et homogène dans son ensemble - perte de laitance ou de mortier fin (≤ 1 mm) dans les joints entre panneaux de coffrage acceptée jusqu'à 3 mm en largeur - désaffleurement entre panneaux de coffrage accepté jusqu'à 3 mm - ébarbures au droit des joints limitées à un trait fin acceptées jusqu'à 2 mm de hauteur - des exigences complémentaires (p.ex. relatives aux empreintes des cadres et éléments de compensation, aux joints entre panneaux de coffrage et entre peaux de coffrage, aux spectres de fixation des peaux de coffrage) sont à spécifier dans le cahier particulier des charges et à détailler dans leur conception d'exécution

Tableau T.6.3) 3

* La surface à examiner doit être représentative de l'ensemble de la surface à évaluer. Elle est à déterminer d'un commun accord entre les parties. Il est recommandé d'évaluer le bullage par surface de 500 x 500 mm² dans le cas d'une mesure manuelle de la fraction de bulles. Des outils de traitement informatique de l'image permettent une quantification et une évaluation rapide et objective.

T.A) 2 Exigences relatives au bullage

Le niveau de bullage est caractérisé par la fraction de surface constituée de bulles ouvertes sur l'ensemble de la surface examinée*. Il peut également être codifié par rapport à l'échelle de bullage de référence du rapport CIB n° 24 du Conseil International du Bâtiment.

1		2	3
	Critère	Abréviation	Exigences
1	Bullage	P1	<ul style="list-style-type: none"> - fraction de surface constituée de bulles ouvertes de diamètre 2 mm < d < 15 mm : $\leq 3,0$ % - niveau 5 de l'échelle de bullage
2		P2	<ul style="list-style-type: none"> - fraction de surface constituée de bulles ouvertes de diamètre 2 mm < d < 15 mm : $\leq 1,9$ % - niveau 4 de l'échelle de bullage
3		P3	<ul style="list-style-type: none"> - fraction de surface constituée de bulles ouvertes de diamètre 2 mm < d < 15 mm : $\leq 0,6$ % - niveau 3 de l'échelle de bullage
4		P4	<ul style="list-style-type: none"> - fraction de surface constituée de bulles ouvertes de diamètre 2 mm < d < 15 mm : $\leq 0,3$ % - niveau intermédiaire 2 (0,14% d. S.) à 3 (0,58% d. S.) de l'échelle de bullage

COMMENTAIRES

Tableau T.6.3) 4

* Une variation de teinte imputable p.ex. à une brusque chute de température ne relève pas directement d'une responsabilité technique.

** Schéma du nuancier gris CIB

1	2	3
2	3	4
3	4	5
4	5	6
5	6	7
-1°		+1°

*** Exemple de tolérance de variation de teinte TE2 entre 2 zones non adjacentes pour une teinte moyenne de degré 4

2		
3	4	5
		6
-1°		+1°

Des outils de traitement informatique de l'image permettent une quantification rapide et objective des variations de teinte.

T.A) 3 Exigences relatives à l'homogénéité de teinte

Lorsqu'un écart de teinte supérieur à l'écart admissible est constaté, il y a lieu d'en définir l'origine. Toute origine imputable au non respect de mesures technologiques et/ou constructives et/ou de mise en œuvre maîtrisables relevant de la responsabilité technique de l'Entrepreneur* lui est opposable et peut engendrer une non conformité dans le cadre des dispositions de l'article 6.6 – Evaluation des parements –.

Les variations maximales de teinte peuvent être appréciées à l'aide d'un **nuancier** en trois colonnes**. Celui-ci est basé sur l'**échelle des gris** déclinée en sept degrés du rapport CIB n° 24 du Conseil International du Bâtiment. La **teinte moyenne** d'un élément d'ouvrage ou d'un ensemble d'éléments est sélectionnée par accord entre les parties sur l'**échelle des gris**. Les teintes moyennes sont reprises dans la colonne centrale du nuancier pour les degrés 2, 3, 4, 5 et 6 de l'échelle. Les teintes des colonnes latérales sont décalées de -1 resp. +1 degré. Les **écarts** par rapport à la teinte moyenne choisie peuvent être appréciés à l'aide de ce **nuancier**.*

	1	2	3
	Critère	Abréviation	Exigences
1	Homogénéité de teinte	TE1	<ul style="list-style-type: none"> - variations de teinte claire / foncée acceptées - variations de teinte dues à l'utilisation d'éléments de compensation de matériaux différents acceptées - salissures et souillures de rouille non admises
2		TE2	<ul style="list-style-type: none"> - variations de teinte claire / foncée suite à l'utilisation de béton confectionné avec des constituants de types ou d'origines diverses, de différents types de peaux de coffrage, d'éléments de compensation de nature différente de la peau de coffrage initiale, de la mise en œuvre de différents types de traitements préalables ainsi que d'une cure ou d'une protection inadéquate du béton non admises - salissures et souillures de rouille, visibilité nette des couches successives de coulées, variations de teinte d'origine technologique, constructive ou organisationnelle non admises - zones présentant des variations de teinte claire / foncée étendues et régulières acceptées <p>écarts admissibles : ± 1 degrés entre 2 zones adjacentes ± 2 degrés entre 2 zones non adjacentes***</p>
3		TE3	<ul style="list-style-type: none"> - variations de teinte claire / foncée suite à l'utilisation de béton confectionné avec des constituants de types ou d'origines diverses, de différents types de peaux de coffrage, d'éléments de compensation de nature différente de la peau de coffrage initiale, de la mise en œuvre de différents types de traitements préalables ainsi que d'une cure ou d'une protection inadéquate du béton non admises - salissures et souillures de rouille, visibilité nette des couches successives de coulées, variations de teinte d'origine technologique, constructive ou organisationnelle non admises - choix d'un agent de décoffrage spécifiquement adapté obligatoire - faibles variations de teinte claire / foncée admises (p.ex. légères auréoles) <p>écarts admissibles : ± 1 degré entre 2 zones adjacentes ± 1 degrés entre 2 zones non adjacentes</p>

T.A) 4.0 Exigences relatives à la tolérance de forme

	1	2	3
	Critère	Abréviation	Exigences
1	Tolérance de forme	F1	- exigences suivant les tableaux T.A) 4.1 à T.A) 4.4, ligne 1
2		F2	- exigences suivant les tableaux T.A) 4.1 à T.A) 4.4, ligne 2
3		F3	- exigences suivant les tableaux T.A) 4.1 à T.A) 4.4, ligne 2 - des exigences supérieures suivant les tableaux T.A) 4.1 à T.A) 4.4, ligne 3 sont à spécifier séparément. Dans ce cas, les moyens et dispositions à mettre en œuvre sont à définir dans le cahier particulier des charges.

T.A) 4.1 Exigences relatives à la tolérance de forme : écart limite de planéité

	1	2	3	4	5	6	7
	Exigence	Écarts limites de planéité en [mm] mesurés entre un espacement (règle) en [m] de					
		0,1	1	2	4	10	15
1	F1	5	10	12	15	25	30
2	F2 ; F3	3	5	7	10	20	25
3	F3 avec exigences supérieures	2	3	5	8	15	20

T.A) 4.2 Exigences relatives à la tolérance de forme : tolérances dimensionnelles sur les dimensions linéaires

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Exigence	Tolérances dimensionnelles limites en [mm] sur les mesures L en [m] jusqu'à						
		0,1	1,5	3	6	15	30	L > 30
1	F1	± 6	± 8	± 10	± 12	± 20	± 24	± 30
2	F2 ; F3	± 3	± 4	± 5	± 8	± 12	± 16	± 20
3	F3 avec exigences supérieures	± 2	± 3	± 3	± 5	± 10	± 14	± 18

T.A) 4.3 Exigences relatives à la tolérance de forme : écart limite sur la verticalité ou l'horizontalité / l'obliquité ou l'orthogonalité

	1	2	3	4	5	6	7	8
	Exigence	Écarts limites sur la verticalité ou l'horizontalité en [mm] mesurés sur une longueur L en [m] jusqu'à						
		1	1,5	3	6	15	30	L > 30
1	F1	6	8	8	12	16	20	30
2	F2 ; F3	5	5	6	8	12	20	30
3	F3 avec exigences supérieures	4	4	6	6	12	20	25

T.A) 4.4 Exigences relatives à la tolérance de forme : flèche admissible sur arête / la rectitude

	1	2	3	4	5	6
	Exigence	Flèches limites admissible sur une arête de longueur L en [m] jusqu'à				
		1	2	4	10	15
1	F1	8	10	12	20	25
2	F2 ; F3	5	7	10	15	20
3	F3 avec exigences supérieures	3	4	5	10	15

T.A) 5 Exigences relatives aux joints de reprise

1	2	3
Critère	Abréviation	Exigences
1	Joints de reprise	J1 - désaffleurement entre deux éléments consécutif accepté jusqu'à 10 mm
2		J2 - désaffleurement entre deux éléments consécutif accepté jusqu'à 7 mm - les bavures de mortier fin sur l'élément précédent sont à éliminer - l'utilisation de baguettes trapézoïdales au droit des arrêts de bétonnage est recommandée
3		J3 - désaffleurement entre deux éléments consécutif accepté jusqu'à 5 mm - les bavures de mortier fin sur l'élément précédent sont à éliminer - l'utilisation de baguettes trapézoïdales au droit des arrêts de bétonnage est recommandée
4		J4 - les détails d'exécution sont à définir - désaffleurement entre deux éléments consécutif accepté jusqu'à 3 mm - les bavures de mortier fin sur l'élément précédent sont à éliminer - l'utilisation de baguettes trapézoïdales au droit des arrêts de bétonnage est recommandée - des exigences complémentaires sont à spécifier dans le cahier particulier des charges et à détailler dans leur conception d'exécution

T.A) 6.1 Qualités de surfaces brutes de décoffrage

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qualité de surface	Exemples	Exigences relatives aux surfaces brutes de décoffrage ⁽¹⁾							Exigences complémentaires		Coûts	
		Texture	Bullage ⁽²⁾		Homogénéité de teinte ⁽²⁾		Tolérance de forme	Joints de reprise ⁽³⁾	Surfaces d'essai	Qualité de peau de coffrage		
			abs.	n.-abs.	abs.	n.-abs.						
1	Exigences relatives aux surfaces brutes de décoffrage réduites QS1	Eléments pour lesquels l'apparence, quoique considérée, constitue un facteur secondaire.	T1	P1		TE1		F1	J1	libres	QP1	faibles
2	Exigences relatives aux surfaces brutes de décoffrage normales QS2	Eléments pour lesquels l'apparence est considérée.	T2	P2	P1	TE2		F2	J2	recommandées	QP2	moyens

⁽¹⁾ Certaines exigences ne peuvent être appliquées telles quelles aux surfaces travaillées, structurées ou non coffrées. Les exigences pour les différents critères sont définies dans les tableaux précédents.

⁽²⁾ abs. : peau de coffrage absorbante ; n.-abs. : peau de coffrage non absorbante.

⁽³⁾ Les joints de reprise restent visibles.

T.A) 6.2 Qualités de parements

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Qualité de parement	Exemples	Exigences indicatives relatives aux parements coffrés ⁽¹⁾							Exigences complémentaires		Coûts	
		Texture	Bullage ⁽²⁾		Homogénéité de teinte ⁽²⁾		Tolérance de forme	Joints de reprise ⁽³⁾	Surfaces d'essai	Qualité de peau de coffrage		
			abs.	n.-abs.	abs.	n.-abs.						
1	Exigences relatives aux parements élevées QA1	Exigences élevées avec spécifications d'aspect visuel.	T3	P3	P2	TE2		F2	J3	obligatoires	QP3	élevés
2	Exigences relatives aux parements particulières QA2	Exigences particulièrement élevées avec spécifications d'aspect visuel.	T3	P4	P3	TE3	TE2	F3	J4	obligatoires	QP3	très élevés

⁽¹⁾ Certaines exigences ne peuvent être appliquées telles quelles aux surfaces travaillées, structurées ou non coffrées. Les exigences pour les différents critères sont définies dans les tableaux précédents.

⁽²⁾ abs. : peau de coffrage absorbante ; n.-abs. : peau de coffrage non absorbante.

⁽³⁾ Les joints de reprise restent visibles.

désignation du chantier

INSERER LOGO ENTREPRISE

Entreprise :

.....

Rédigé par :

.....

(nom)

(date)

(signature)

Vérifié par :

.....

(nom)

(date)

(signature)

Approuvé par le Responsable des Travaux :

.....

(nom)

(date)

(signature)

SOMMAIRE

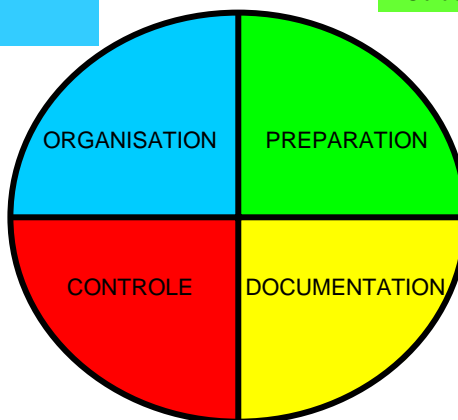
- 1) INTRODUCTION
- 2) INFORMATIONS D'OUVERTURE DE CHANTIER
- 3) PLAN DE CONTRÔLE
- 4) DOCUMENTATION DES CONTRÔLES
 - 4.1) FICHES AUTOCONTRÔLES
 - 4.2) FICHES DE NON CONFORMITÉ
 - 4.3) FICHES DE COMMANDE BPE
 - 4.4) FICHES DE RÉCEPTION BPE
 - 4.5) BULLETINS D'ÉCHANTILLONNAGE BÉTON
 - 4.6) ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ AUX CRITÈRES D'IDENTIFICATION
 - 4.7) REGISTRE DU MATÉRIEL D'ESSAI DU BÉTON
- 5) DOCUMENTATIONS TECHNIQUES ET AGRÉMENTS
- 6) ANNEXES

1) INTRODUCTION

Les 4 objectifs du P.A.Q.

- Gestion des PAQ avec structure prédéterminée
- Attribution nominative des responsabilités
- Gestion des contacts (MO; DdT; fournisseurs;...)
- Gestion des documents contractuels
- Gestion des plans

- Document récapitulatif des exigences CDC-BET
- Identification des clauses spécifiques
- Identification des points critiques
- Guide / aide préparation des travaux



- Définition préalable des contrôles à effectuer
- Outils d'aide à l'évaluation
- Gestion des non-conformités

- Établissement d'une structure prédéterminée
- Fiches documentaires prédéfinies (formulaires)
- Gestion des documents par identifiant unique
- Traçabilité des contrôles

Le Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.) se doit de répondre aux exigences du cahier des charges concernant les travaux de bétonnage CDC-BET vers.10 en matière d'assurance qualité et vise à satisfaire aux 4 objectifs décrits ci-dessus. Le P.A.Q. est à compléter au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Une version à jour du P.A.Q. doit être consultable sur le chantier. Il est composé des parties suivantes :

Information d'ouverture de chantier

Cette partie fournit les renseignements relatifs aux différents intervenants, organismes et fournisseurs de béton et documente leurs qualifications, agrégations et certifications telles qu'exigées par le CDC-BET et le DNA EN 206 resp. le cahier particulier des charges. Une liste des documents contractuels (y compris liste des plans) y est tenue à jour. La classe de surveillance du béton à appliquer sur le chantier suivant l'annexe M du DNA EN 206 y est spécifiée. Cette partie est à transmettre à l'organisme de contrôle externe de conformité.

Plan de contrôle

Le plan de contrôle est prédéfini par le maître de l'ouvrage dans le cahier particulier des charges. Il établit l'ampleur des autocontrôles que l'Entrepreneur doit formaliser. L'adaptation spécifique du P.A.Q. au plan de contrôle se fait en coordination avec la Direction des Travaux.

Documentation des contrôles

Les autocontrôles effectués par l'Entrepreneur sont formalisés sur les fiches d'autocontrôles. Les points à contrôler sont définis avec la Direction des Travaux en fonction du type d'élément d'ouvrage. La documentation des non-conformités soutient le processus d'amélioration permanente de la qualité des prestations de l'entreprise et contribue à éliminer les désordres et les coûts qu'ils engendrent. Les fiches de commande et de réception du béton garantissent la traçabilité. Ils facilitent la spécification du béton lors de la commande et permettent de maîtriser les contrôles et fréquences de contrôles imposés du béton. L'évaluation des résultats d'essais et la validité du matériel d'essai du béton sur chantier y est également documentée.

Documentations techniques, avis, agréments, certifications, études, rapports d'essais

Cette partie permet de regrouper tous les documents demandés ou établis en fonction des exigences du CDC-BET et du cahier particulier des charges.

Annexes

Sont repris en annexes de façon informative et non obligatoire une série de fiches pouvant servir de listes de contrôles ou de supports à la préparation des travaux.

PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ POUR TRAVAUX DE BÉTONNAGE

2) INFORMATIONS D'OUVERTURE DE CHANTIER

Entreprise	Information d'ouverture de chantier (I)	n°:
Entreprise : Adresse : Tél. : Fax :	Chantier : Adresse : Tél. : Fax :	
Maître de l'ouvrage : Nom : Adresse : Tél. : Fax : Courriel :	Maître d'œuvre (partie gros œuvre) : Nom : Adresse : Tél. : Fax : Courriel :	
Responsable des Travaux désigné par l'Entreprise : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	Direction des Travaux désignée par le Maître de l'ouvrage : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	
Architecte : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	Ingénieur-conseil : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	
Géomètre : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	Autre : Responsable : Adresse : Tél. : Mobile : Fax : Courriel :	

Entreprise	Information d'ouverture de chantier (II)	n°:
------------	---	-----

Responsables contrôle qualité béton sur chantier suivant annexe M DNA EN 206 :

Organisme agréé contrôle externe de conformité	Organisme : Adresse : Responsable : Tél. : Fax : Courriel :
--	--

Responsable qualité	<input type="checkbox"/> Détenteur brevet Q Nom : Entreprise : Tél. : Fax : Courriel :
---------------------	---

Responsable essais	<input type="checkbox"/> Détenteur brevet C Nom : Entreprise : Tél. : Fax : Courriel :	<input type="checkbox"/> Organisme agréé contrôle béton Organisme : Adresse : Responsable : Tél. : Fax : Courriel :
--------------------	---	---

Laboratoire d'essai	Organisme : Adresse : Responsable : Tél. : Fax : Courriel :
---------------------	--

Description du marché :
 Début et fin prévus des travaux :

Classes de surveillance du béton suivant annexe M DNA EN 206

Type de béton	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Béton prêt à l'emploi	..... m ³	..... m ³	..... m ³
Béton fabriqué sur site	..... m ³	..... m ³	..... m ³
Éléments préfabriqués sur site	..... m ³	..... m ³	..... m ³

Producteur du béton prêt à l'emploi :

Centrale principale : Adresse : : Tél. : Fax : Courriel :	Centrale de secours : Adresse : : Tél. : Fax : Courriel :
---	---

Date de validité du certificat de contrôle de production délivré par l'Administration des Ponts et Chaussées du Luxembourg :	Date de validité du certificat de contrôle de production délivré par l'Administration des Ponts et Chaussées du Luxembourg :
--	--

Rédigé par :	indice :	
Date de mise à jour :		

#joindre les certificats et agrégations en annexe#

3) PLAN DE CONTRÔLE

PLAN DE CONTROLE

Ouvrage :	Rédigé par : Direction des Travaux (D.d.T.) :
--	--

Type d'ouvrage : exemple immeuble de bureau						Validation finale D.d.T.
Pos.	Eléments d'ouvrage	Types	Tâches spécifiques	Procédure de contrôle	Fréquence de formalisation des contrôles	
1	<i>Fondation profondes</i>	<i>Pieux armés Puits Parois moulées</i>			0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
2	<i>Fondations superficielles</i>	<i>Semelles Longrines Radiers</i>		<i>Fiche standard</i>	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input checked="" type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
3	<i>Dallage</i>	<i>surfacés sous-sols -3 ; -2 ; -1</i>		<i>Fiche standard</i>	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input checked="" type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
4			<i>Sciage des joints</i>	<i>Rapport comprenant : - réf. fiche de commande et réception du béton - réf. échantillons béton - temp. min/max et béton entre mise en œuvre et sciage - date sciage - plan implantation sciage</i>	pour chaque niveau du sous-sol	Date : Paraphe :
5			<i>Essais d'arrachement</i>	<i>EN 12504-3 Rapport d'essais</i>	3 essais / 500 m2	Date : Paraphe :
6	<i>Voiles</i>	<i>de refend</i>		<i>Fiche standard</i>	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input checked="" type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
7		<i>voiles sous-sols -3 ; -2 ; axes a ; f ; 0 ; 9 béton ht. rés. pén. eau</i>		<i>Fiche standard</i>	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input checked="" type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
8		<i>Résistance à la pénétration de l'eau</i>	<i>EN 12390-8</i>	4 éprouvettes par phase de bétonnage au lieu de 2 suivant CDC-BET !	Date : Paraphe :	
9		<i>Voiles rez à +3 axes a ; f ; 0 ; 9 béton apparent 2 faces</i>		<i>Fiche standard</i>	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input checked="" type="checkbox"/>	Date : Paraphe :

PLAN DE CONTROLE

Ouvrage :

.....

.....

.....

Rédigé par :

.....

Direction des Travaux (D.d.T.) :

.....

Type d'ouvrage : exemple immeuble de bureau

Validation finale D.d.T.

Pos.	Éléments d'ouvrage	Types	Tâches spécifiques	Procédure de contrôle	Fréquence de formalisation des contrôles	Validation finale D.d.T.
10			Réalisation d'une surface d'essais	Rapport d'essais	Rapport complet : - conditions météo - matériel de coffrage ; agent de décoffrage - qualité béton et temp. de mise en oeuvre - procédures de mise en oeuvre - délais de décoffrage - cure et protection - doc. photos	Date : Paraphe :
11	Piliers			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input checked="" type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
12			Documentation de la cure	Fiche 11 : rapport de cure	pour chaque lot par phase de bétonnage	Date : Paraphe :
13	Poutres			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input checked="" type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
14	Dalles			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input checked="" type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
15	Escaliers			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
16	Culées			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
17	Appuis			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
18	Piles			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :

PLAN DE CONTROLE

Ouvrage :

Rédigé par :

 Direction des Travaux (D.d.T.) :

Type d'ouvrage : exemple immeuble de bureau

**Validation
finale
D.d.T.**

Pos.	Eléments d'ouvrage	Types	Tâches spécifiques	Procédure de contrôle	Fréquence de formalisation des contrôles	Validation finale D.d.T.
19	Tabliers			Fiche standard	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
20	Corniches	Eléments préfa.		Bordereau de réception	0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input checked="" type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
21			Documentation de la résistance au gel-dégel	Rapport d'essais suivant RILEM/CDC 2	suivant CPU du producteur pour les éléments fournis	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :
					0 % <input type="checkbox"/> 25 % <input type="checkbox"/> 50 % <input type="checkbox"/> 75 % <input type="checkbox"/> 100 % <input type="checkbox"/>	Date : Paraphe :

.....
(lieu)

.....
(date)

.....
(Responsable des Travaux)

4) DOCUMENTATION DES CONTRÔLES

- 4.1) FICHES AUTOCONTRÔLES
- 4.2) FICHES DE NON CONFORMITÉ
- 4.3) FICHES DE COMMANDE BPE
- 4.4) FICHES DE RÉCEPTION BPE
- 4.5) BULLETINS D'ÉCHANTILLONNAGE BÉTON
- 4.6) ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ AUX CRITÈRES D'IDENTIFICATION
- 4.7) REGISTRE DU MATÉRIEL D'ESSAI DU BÉTON

Entreprise		Fiche d'autocontrôles			n°:	
Ouvrage :			Chantier :			
Élément de l'ouvrage :			Responsable des Travaux :			
Localisation :			
i	Point de contrôle Document de réf.	Contrôle effectué par Fiche de NC n°	Date	OK	NC	
<input type="checkbox"/> 1.0	IMPLANTATION - GÉOMÉTRIE			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 2.0	FERRAILLAGE			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 3.0	COFFRAGE			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 4.0	ETAIEMENT			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 5.0	ECHAFAUDAGE			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 6.0	MISE EN SÉCURITÉ			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 7.0	PRÉPARATION MISE EN ŒUVRE BÉTON			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 8.0	RÉCEPTION BÉTON			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 9.0	MISE EN ŒUVRE BÉTON			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 10.0	ASPECT -TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 11.0	CURE			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 12.0	PROTECTION			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 13.0	TRAITEMENT ULTÉRIEUR			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 14.0	ÉVALUATION CONTRÔLES QUALITÉ BÉTON			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> 15.0				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Commentaire :						
.....						
.....						
.....						
.....						
.....			
(lieu)		(date)		(signature Responsable des Travaux)		

Entreprise	Fiche de non-conformité	n°:
Ouvrage :	Responsable des Travaux :	
Élément(s) de l'ouvrage :	Responsable exécution :	
Constat de non-conformité suivant fiche d'autocontrôles n° : pos. i :		
Description de la non-conformité	Contrôles	
<p>Constaté par : date :</p>	<input type="checkbox"/>	
Type de non-conformités		
<input type="checkbox"/> Dimensions <input type="checkbox"/> Omission <input type="checkbox"/> coffrage <input type="checkbox"/> mise en œuvre béton <input type="checkbox"/> Qualité des matériaux <input type="checkbox"/> Conception <input type="checkbox"/> ferrailage <input type="checkbox"/> décoffrage, cure, protection <input type="checkbox"/> Endommagement <input type="checkbox"/> Coordination <input type="checkbox"/> fourniture béton <input type="checkbox"/> Autres (à préciser ci-dessus)		
<p>Rédigé par : date d'exécution prévue :</p>	<input type="checkbox"/>	
<p>Contrôlé par : date d'exécution effective :</p>		
Levée des réserves : ■ oui ■ non		
..... (lieu)	..... (date)	..... (signature Responsable des Travaux)

Entreprise	Commande de béton suivant DNA EN 206	n°:
Ouvrage :	Centrale :	
Élément de l'ouvrage :	Tél. :	
Bétonnage n° :	Fax :	
Responsable des Travaux :	Chantier :	
.....	Adresse :	
Responsable de la réception du béton :	Tél. :	
.....	Fax :	
Classe de résistance à la compression :		
<input type="checkbox"/> C8/10	<input type="checkbox"/> C20/25	<input type="checkbox"/> C30/37
<input type="checkbox"/> C12/15	<input type="checkbox"/> C25/30	<input type="checkbox"/> C35/45
<input type="checkbox"/> C...../.....	<input type="checkbox"/> LC...../.....	
Catégorie de béton :		
<input type="checkbox"/> Cat.0	<input type="checkbox"/> Cat.2	<input type="checkbox"/> Cat.3
<input type="checkbox"/> Cat.1	<input type="checkbox"/> Cat.3 HRS	<input type="checkbox"/> Cat.4 LP
<input type="checkbox"/> Catégorie spéciale, classes d'exposition :	<input type="checkbox"/> Cat.6	<input type="checkbox"/> Cat.6 HRS
Classe de consistance : étalement		
<input type="checkbox"/> F1 (≤ 34 cm)	<input type="checkbox"/> F3 (42 – 48 cm)	<input type="checkbox"/> F5 (56 – 62 cm)
<input type="checkbox"/> F2 (35 - 41 cm)	<input type="checkbox"/> F4 (49 – 55 cm)	<input type="checkbox"/> F6 (≥ 63 cm)
<input type="checkbox"/> Valeur cible :[cm]	Tolérance : <input type="checkbox"/> ± 30 mm	<input type="checkbox"/> ± 20 mm
Granulométrie :	Origine des granulats :	
<input type="checkbox"/> 0/8	<input type="checkbox"/> 0/16	<input type="checkbox"/> 0/22
<input type="checkbox"/> 0/32	<input type="checkbox"/> 0/63	
Autres prescriptions :		
<input type="checkbox"/> Béton non armé	<input type="checkbox"/> Classe d'évolution de la résistance	<input type="checkbox"/> Adjuvants :
<input type="checkbox"/> Béton armé	<input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> TL	<input type="checkbox"/> Additifs :
<input type="checkbox"/> Béton précontraint	<input type="checkbox"/> Haute résistance à la pénétration de l'eau	<input type="checkbox"/> Température béton frais :
<input type="checkbox"/> Béton léger	<input type="checkbox"/> Classe de chlorures :	<input type="checkbox"/> Module d'élasticité :
<input type="checkbox"/> Propriétés spéciales du ciment : <input type="checkbox"/> FCH <input type="checkbox"/> HRS <input type="checkbox"/> LA	<input type="checkbox"/> Masse volumique :	
<input type="checkbox"/> Autres prescriptions :		
<input type="checkbox"/> Code béton n°:	<input checked="" type="checkbox"/> Classe de surveillance : <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3	
<input checked="" type="checkbox"/> Date et heure du début du bétonnage :		
<input checked="" type="checkbox"/> Quantité totale :[m ³]		
<input checked="" type="checkbox"/> Débit de livraison :[m ³ /h]		
<input checked="" type="checkbox"/> Moyen d'acheminement du béton dans le coffrage :		
<input type="checkbox"/> goulotte <input type="checkbox"/> benne sous grue <input type="checkbox"/> tapis <input type="checkbox"/> pompe <input type="checkbox"/> Type et portée (L / H)..... [m]		
<input type="checkbox"/> Conditions d'accès au chantier :		
.....		
(lieu)	(date)	(signature)

Entreprise	Réception de béton suivant DNA EN 206	n°:
Ouvrage :	Centrale :	
Élément de l'ouvrage :	Tél. :	
Bétonnage n° :	Fax :	
Responsable des Travaux :	Chantier :	
.....	Adresse :	
Responsable de la réception du béton :	Tél. :	
.....	Fax :	
Contrôler les indications suivantes du bon de livraison		Contrôles
<input type="checkbox"/> Centrale à béton :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Organisme de certification :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Déclaration de conformité au DNA EN 206 :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Date de livraison :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Code béton n° :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Plaque(s) d'immatriculation malaxeur(s) sur bon(s) :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Signature(s) chauffeur(s) sur bon(s) :		<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Classe de résistance à la compression :C...../.....		<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Catégorie de béton :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Classe de consistance :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Origine des agrégats : Ø grain max :		<input type="checkbox"/>
caractéristiques particulières :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Autres prescriptions :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type et classe du ciment : CEM		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Dosage ciment :[kg/m ³], rapport E / C :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Classe d'évolution de la résistance : <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> TL		<input type="checkbox"/>
Contrôles supplémentaires et contrôle du béton frais et durci		
<input type="checkbox"/> Dosage maximal autorisé du fluidifiant / type :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Quantité de fluidifiant ajouté :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Volume béton / malaxeur : /		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Temps de malaxage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Dosage et type de retardateur/accélérateur :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Délai retardateur/accélérateur :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Autres adjuvants :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Additifs :		<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Température extérieure T _{ext} : → 5°C ≥ T _{ext} ≥ 25°C → Température du béton :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mesure de la teneur en air :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Remarques :		<input type="checkbox"/>
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
.....		
<input checked="" type="checkbox"/> En cas de non conformité contacter :		■
.....		
.....		
(lieu)	(date)	(signature)

Entreprise

Bulletin d'échantillonnage

n°:

BULLETIN D'ECHANTILLONNAGE

Essais sur béton durci (chantier)
(Béton suivant DNA-EN206)

N° LABO :
(réservé au Laboratoire)

Chantier :

Entreprise:

Élément de l'ouvrage :

Adresse :

Bétonnage n° :

Tél. :

Fax. :

Responsables des Travaux :

Maître de l'ouvrage :

Tél. :

Direction des Travaux :

Responsable de la réception du béton :

Fournisseur du béton :

Date de confection : Classe de résistance : Classe de consistance :

Catégorie : Classe(s) d'exposition : Code béton :

Essai demandé :

test d'identification essai de durcissement autre * :

* (1) Flexion ; (2) Perméabilité à l'eau ; (3) RILEM CDC 2 ; (4) Module d'élasticité ; (5) Résistance structurale ;

(6) autre contrôle :

Type et nombre d'éprouvette(s) : cubes 15 cylindres carottes
 poutres dalles autres :

Température extérieure T_{ext} : → $5^{\circ}C \geq T_{ext} \geq 25^{\circ}C$ → Température du béton :

Mesure de la teneur en air :

Eprouvettes :

N° id.	Bon de livraison. n°	Etalement [cm]	Echéance [jrs]	Date d'essai

Eprouvettes confectionnées par : détenteur brevet C Q

Méthode de compactage table vibrante aiguille vibrante damage autre :

Conservation des éprouvettes AVANT la remise au Laboratoire

à température ambiante sous eau à 20°C autre :

Eprouvette(s) remises par : le

Adresse(s) d'envoi(s) complémentaire(s) des résultats :

1).....

2).....

Remarques :

Echantillonnage reconnu exact

Nom et signature

Nom et signature

Entreprise :

Direction des Travaux :

Entreprise			Test d'identification du béton pour résistance à la compression suivant annexe M DNA EN 206: critères pour n = 2 à > 6										Feuille n°:	
Ouvrage:			Centre commerciale 3000										Responsable qualité béton:	
Élément d'ouvrage:			Parking										Dupont	
Classe de résistance:			C30/37 Cat.2_F3_0/22										Responsable des Travaux:	
Code béton n°:			77-109-FF										Dubonnet	
Dimensions des cubes [mm] :			150										mot de passe protection de la feuille: protection	
n	Bon de livraison	Epreuve	Date de confection	MVA	Résistance à la compression mesurée	Age à l'essai	Élément d'ouvrage	Résist. nom.	Résultat individuel "n" de la série	Moyenne	Critère 1		Critère 2	
											pour une moyenne de "n = 2 à > 6" résultats		résultat individuel	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	f _{cm} ≥ f _{ck} + variable		f _{ci} ≥ f _{ck} - 4	
	N°	N°		[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[jrs]	N°	f _{ck} [N/mm ²]	f _{ci} [N/mm ²]	f _{cm} [N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	
											(12)	(13)	(14)	(15)
1	345563	1	28/03/06	2,40	38,55		Fondation J2/AP axes 13/18	37	40,84	-	-	-	33	oui
	345578	2		2,40	43,62									
	345595	3		2,40	40,36									
2	346651	4	12/04/06	2,41	34,94		Fondation AP/J3 axes 18/24	37	38,54	39,7	38	oui	33	oui
	346680	5		2,43	39,30									
	346697	6		2,43	41,38									
3	347239	7	21/04/06	2,40	36,27		HB axe 20 voile 1	37	35,52	38,3	38	oui	33	oui
	347265	8		2,40	34,76									
	347284	9		2,40	33,96									
4	347711	16	27/04/06	2,41	45,63		HA galerie tech. voiles	37	40,39	38,8	38	oui	33	oui
	347744	17		2,42	36,79									
	347757	18		2,42	38,74									
5	348289	19	08/05/06	2,40	41,15		HB V14 axe 300	37	40,10	39,1	39	oui	33	oui
	348319	20		2,39	36,56									
	348330	21		2,41	42,60									
6	348403	22	09/05/06	2,39	41,77		Dalle couverture galerie technique	37	40,50	39,3	39	oui	33	oui
	348411	23		2,41	40,51									
	348444	24		2,42	39,21									
7	348771	25	15/05/06	2,42	41,26		HA 100 fondation J2/galerie phase2	37	41,56	39,6	39,5	oui	33	oui
	348782	26		2,40	43,61									
	348794	27		2,38	39,81									
8	349326	28	20/05/06	2,42	37,13		HB 400 13/18	37	39,31	39,6	39,5	oui	33	oui
	349339	29		2,40	41,00									
	349346	30		2,39	39,80									
9	349529	31	23/05/06	2,38	40,01		HA 100 fondation J2/galerie	37	42,30	39,9	39,5	oui	33	oui
	349551	32		2,43	45,38									
	349572	33		2,42	41,52									
10	349422	34	22/05/06	2,41	36,67		HA 400 V7 N-2	37	37,75	39,7	39,5	oui	33	oui
	349439	35		2,41	38,82									
	349443	36		0,00	37,75									
11	350208	37	03/06/06	2,40	36,77		HA fondation de J1 à galerie 300/400	37	38,38	39,6	39,5	oui	33	oui
	350227	38		2,31	40,26									
	350247	39		2,39	38,10									
12	349910	40	31/05/06	2,41	40,32		HA 300 V8	37	40,12	39,6	39,5	oui	33	oui
	349919	41		2,39	38,06									
	349937	42		2,41	41,98									
13	350316	43	06/06/06	2,44	42,21		HA 100 V8	37	40,69	39,7	39,5	oui	33	oui
	350336	44		2,40	35,43									
	350358	45		2,46	44,44									
14	351061	46	14/06/06	2,42	37,53		HA 100 V4	37	38,81	39,6	39,5	oui	33	oui
	351080	47		2,43	39,28									
	351086	48		2,45	39,63									
15	351230	49	16/06/06	2,42	38,00		HA 100 V6	37	38,11	39,5	39,5	oui	33	oui
	351258	50		2,39	37,80									
	351266	51		2,40	38,54									
16	351859	52	28/06/06	2,33	30,79		HA 100 V1 + V2	37	32,02	39,1	39,5	non	33	non
	351878	53		2,34	30,61									
	351911	54		2,33	34,66									
17	351022	55	14/06/06	2,43	38,95		HB 400 V12	37	40,02	39,1	39,5	non	33	oui
	351034	56		2,40	39,87									
	351044	57		2,43	41,23									
18	351756	55'	26/06/06	2,40	41,23		HB 400 V14	37	42,55	39,3	39,5	non	33	oui
	351785	56'		2,44	43,56									
	351801	57'		2,41	42,87									
19	352236	58	04/07/06	2,38	46,68		HA axe 300 V16	37	45,04	39,6	39,5	oui	33	oui
	352237	59		2,38	43,56									
	352247	60		2,40	44,87									
20	593399	61	03/07/06	2,38	41,59		HA 400 V6	37	42,55	39,8	39,5	oui	33	oui
	59424	62		2,39	43,50									
	59434	63		2,36	42,55									
21	352380	64	06/07/06	2,43	37,94		HA 400 V16	37	39,68	39,8	39,5	oui	33	oui
	352390	65		2,38	39,87									
	352401	66		2,38	41,23									
22	352331	67	05/07/06	2,39	37,95		HA 300 V6	37	39,10	39,7	39,5	oui	33	oui
	352345	68		2,41	42,06									
	352362	69		2,39	37,28									
23	353029	67'	15/07/06	2,40	39,79		HA 400 V4	37	40,50	39,8	39,5	oui	33	oui
	353036	68'		2,40	41,73									
	353050	69'		2,38	39,98									
24	353634	73	25/05/06	2,44	41,85		HA 300 V4	37	41,12	39,8	39,5	oui	33	oui
	353638	74		2,45	41,28									
	353654	75		2,43	40,24									
25	353651	79	25/07/06	2,41	33,64		HA fondation J2/AP	37	35,79	39,7	39,5	oui	33	oui
	353669	80		2,43	38,25									
	353682	81		2,44	35,48									
26	353477	94	21/07/06	2,39	38,04		HB dalle 1 axes 300/400 P80 à 103	37	39,01	39,6	39,5	oui	33	oui
	353477	95		2,42	38,98									
	353477	96		2,41	40,02									
	353626	97		2,41	38,06									

n	Bon de livraison	Eprouvette	Date de confection	MVA	Résistance à la compression mesurée	Age à l'essai	Élément d'ouvrage	Résist. nom.	Résultat individuel "n" de la série	Moyenne	Critère 1 pour une moyenne de "n = 2 à > 6" résultats		Critère 2 résultat individuel	
	N°	N°		[kg/dm ³]	[N/mm ²]	[jrs]		N°	f _{ck} [N/mm ²]	f _{ci} [N/mm ²]	f _{cm} [N/mm ²]	f _{cm} ≥ f _{ck} + variable [N/mm ²]	f _{ci} ≥ f _{ck} - 4 [N/mm ²]	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
27	353626	98	25/07/06	2,41	36,62		HB dalle 2 axes 300/400 P103 à 132	37	36,98	39,5	39,5	oui	33	oui
	353626	99		2,40	36,26									
	353835	106		2,39	39,87									
28	353835	107	27/07/06	2,38	41,23		HB dalle 3 axes 300/400 P132 à 158	37	39,70	39,5	39,5	oui	33	oui
	353835	108		2,40	38,00									
	355207	127		2,41	36,10									
29	355226	128	12/09/06	2,40	33,78		HB 400 N-1 V10	37	34,03	39,3	39,5	non	33	oui
	355237	129		2,42	32,22									
	355856	133		2,45	47,37									
30	355863	134	20/09/06	2,45	47,74		HB 300 N-1 V10	37	47,48	39,6	39,5	oui	33	oui
	355874	135		2,44	47,32									
	356330	136		2,44	44,73									
31	356335	137	26/09/06	2,43	44,65		HB 300 N-1 V12	37	44,57	39,8	39,5	oui	33	oui
	356340	138		2,42	44,32									
	356499	142		2,41	44,07									
32	356501	143	28/09/06	2,40	44,55		HC 100 radier 178 / 196	37	44,46	39,9	39,5	oui	33	oui
	356512	144		2,40	44,77									
	356869	145		2,43	49,93									
33	356884	146	03/10/06	2,43	49,71		HB 400 N-1 V14 HB 400 N-1 V14 HB 400 N-1 V14	37	49,88	40,2	39,5	oui	33	oui
	356899	147		2,44	50,00									
	356850	151		2,44	47,70									
34	356857	152	03/10/06	2,44	47,50		HB 300 N-1 V14 HB 300 N-1 V14 HB 300 N-1 V14	37	47,91	40,5	39,5	oui	33	oui
	356866	153		2,43	48,53									
	357217	163		2,43	43,45									
35	357220	164	06/10/06	2,43	41,86		HA Dalle N-1 P53/P72 HA Dalle N-1 P53/P72 HA Dalle N-1 P63/P73	37	41,84	40,5	39,5	oui	33	oui
	357229	165		2,40	40,22									
	357405	154		2,42	44,85									
36	357406	155	10/10/06	2,43	44,83		HB 300 N-1 V16 HB 300 N-1 V16 HB 300 N-1 V16	37	44,87	40,6	39,5	oui	33	oui
	457419	156		2,43	44,94									
	357422	148		2,45	51,84									
37	357432	149	10/10/06	2,44	50,51		HB 400 N-1 V16 HB 400 N-1 V16 HB 400 N-1 V16	37	50,97	40,9	39,5	oui	33	oui
	357436	150		2,45	50,56									
	357489	157		2,43	46,26									
38	357489	158	12/10/06	2,44	46,22		HB 100 N-2 V14	37	47,07	41,1	39,5	oui	33	oui
	357492	159		2,44	48,74									
	120													

Ecart-type: 0,23 4,35

4,11 0,53

PLAN D'ASSURANCE QUALITÉ POUR TRAVAUX DE BÉTONNAGE

5) DOCUMENTATIONS TECHNIQUES, AVIS, AGRÉMENTS, CERTIFICATIONS, ÉTUDES, RAPPORTS D'ESSAIS

6) ANNEXES

Entreprise	Contrôle des armatures	n°:
Ouvrage :		Responsable des Travaux :
Élément de l'ouvrage :		Responsable exécution :
Plan de réf. n° : .....		.....
Livraison et stockage		Contrôles
<input type="checkbox"/> Bon de livraison (provenance, date, n°) :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Qualité(s) d'acier :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BSt 500S	BSt 500M	BSt 500M -dyn
BSt 500M Tiefrippung	BSt 500MW	BSt 500WR
(autre)		
A / B	A / B	A / B
A / B	A / B	A / B
<input type="checkbox"/> Déclaration de conformité à la DIN 488 / EN 10080 :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Vérification de l'identification par étiquetage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Intégrité des armatures (déformation, fissure, entaille, écaillage, rupture) :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Conformité à la liste du plan de référence :		<input type="checkbox"/>
Pos.	Qté	Ø barre
Longueur	Mesures pliage	Ø mandrin
<input type="checkbox"/> Stockage sans contact avec le sol, protection contre les intempéries :		<input type="checkbox"/>
Exécution		
<input type="checkbox"/> Enrobage des armatures c_{nom} requis :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type, teinte et dimensions des cales suivant annexe B1 :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Quantité et position du calage suivant annexe B2 :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Qualité des ligatures / soudures :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Entre distance puits de bétonnage / de vibration : /		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Dispositions d'arrimage et de répartition des charges sur le ferrailage en vue du bétonnage		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Conformité de la pose au plan de référence :		<input type="checkbox"/>
Pos.	Qté	Ø barre
Entre distance	Recouvrement	Position
<input type="checkbox"/> Enrobage minimal c_{min} mesuré :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Position des armatures en attente : (la position et l'orientation des armatures repliées doit permettre un redressement sans contrainte pour le béton de recouvrement)		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Intégrité des armatures (déformation, fissure, entaille, écaillage, rupture) :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Etat de propreté du ferrailage : (agent de décoffrage, mortier, boue, écaillage par corrosion, glace, fils de ligature, feuilles mortes, autres)		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Contrôle relatif aux autres éléments à intégrer : (prises terre ; bandes d'étanchéité ; joints de dilatation ; passages muraux ; gaines ; autres)		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mesure de protection contre la corrosion des armatures en attente : (mise en peinture ; enduit de coulis de ciment ; autres).....		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> En cas de non conformité contacter :		<input style="background-color: #ff0000;" type="checkbox"/>
.....		
(lieu)	(date)	(signature)

Type de cale

R1

Les cales d'armatures verticales en plastique sont interdites (CDC-BET, article 2.7)



P0

ponctuelle, sans fixation



P1

ponctuelle, avec fixation



L0

linéaire, sans fixation



L1

linéaire, avec fixation



F0

Surfacique, sans fixation



F1

Surfacique, avec fixation



Chaises

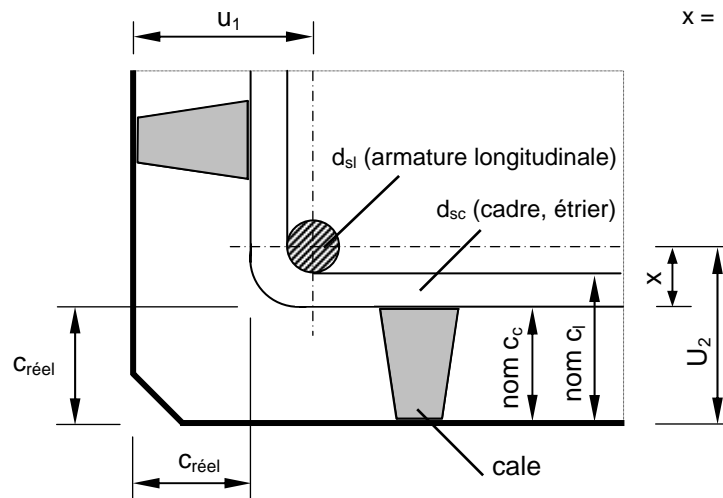
p.ex.: chevalets, cintres, cages



Distanceurs

p.ex. crochets S; U

Enrobage des armatures



x = Entre-distance armature longitudinale - arête extérieure armature extérieure

Enrobage après pose

$$C_{réel} \geq \text{nom } C_c$$

$$\geq \text{nom } C_i - d_{sc}$$

$$\geq u_1 - d_{sl}/2 - d_{sc}$$

$$\geq u_2 - d_{sl}/2 - d_{sc}$$

sachant que l'enrobage nominale

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta c \text{ (v. CDC-BET, article 2.9)}$$

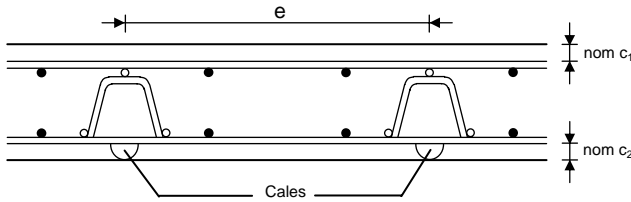
Dalles

Calage de la nappe d'armature supérieure

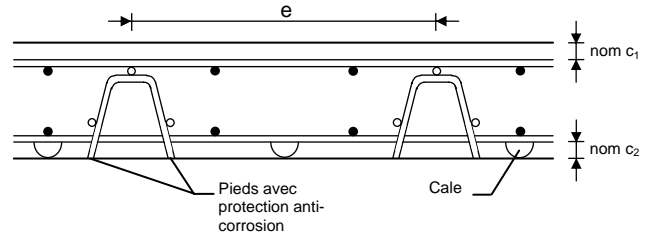
Entre-distance e des cales / chaises

Ø armature portante	Cales			Chaises
	ponctuelles		linéaires, surfaciques	
	e max	pc/m ²	e max	e max
≤ 14 mm	50 cm	4	50 cm	50 cm
> 14 mm	70 cm	2	70 cm	70 cm

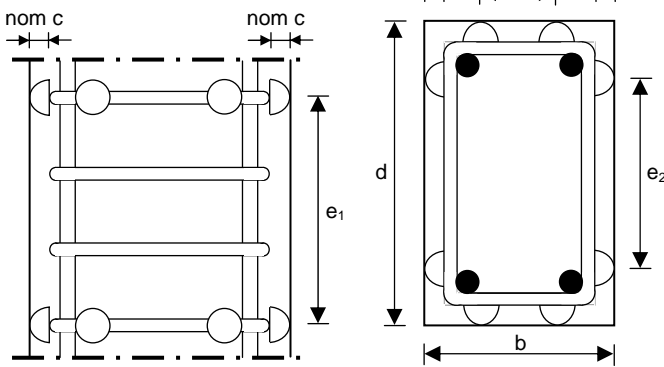
en appui sur l'armature inférieure:



en appui sur le coffrage:



Colonnes, poutres



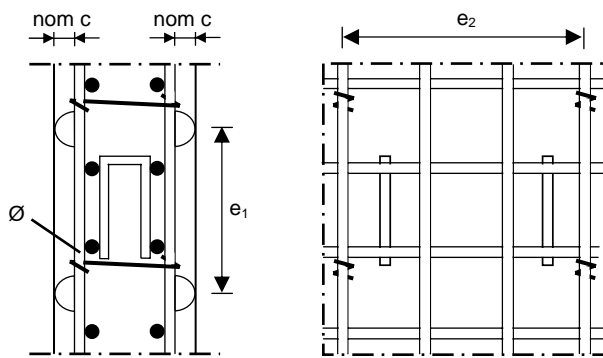
Entre-distance longitudinale e₁ max. des cales

Ø Armatures longitudinales	Colonnes	Poutres
≥ 10 mm	50 cm	25 cm
12 à 20 mm	100 cm	50 cm
> 20 mm	125 cm	75 cm

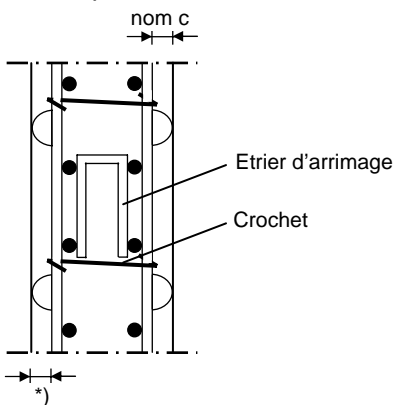
Entre-distance transversales e₂ max. des cales

b resp. d	nombre de cales	
	Colonnes	Poutres
≤ 100 cm	2	2
> 100 cm	≥ 3	≥ 3
e ₂ max	75 cm	50 cm

Voiles



coupe



Entre-distance et nombre

Ø armature portante	Cales		Crochets	Arrimage avec étrier
	e ₁ max	pc/m ² voile ¹⁾	pc/m ² voile	pc/m ² voile
≥ 8 mm	70 cm	4	1	1
10 à 16 mm	100 cm	2		
> 16 mm				4

¹⁾ et par face

*) Une réduction ponctuelle de l'enrobage p.ex. due aux crochets, n'a pas besoin d'être prise en considération lors du calcul de nom c.

Entreprise		Etude de coffrage (II) : matériels		n°:	
Ouvrage :		Responsable des Travaux :			
Élément(s) de l'ouvrage* :		Responsable exécution :			
* En fonction de la complexité de l'étude : rédiger une feuille par élément d'ouvrage ou regrouper les informations sur une feuille en indiquant à quels éléments elles s'appliquent.				Contrôles	
Matériels de coffrage					
Caractéristiques principales à indiquer en annexe y compris pour les coffrages de rive, éléments de compensation et de réservation :					
- Système de coffrage : dimensions ; tolérances ; assemblage ; butonnage 1 face, 2 faces					
- Peau de coffrage : dimensions ; tolérances ; assemblage ; assemblage des angles ; méthode d'étanchéité ; structure (texture) et revêtement de surface ; qualité ; provenance					
Système de coffrage		autoportant	modulaire	mixte (à poutrelles)	<input type="checkbox"/>
Peau de coffrage					
absorbante	Panneau bois non revêtu (aggloméré de particules)	# élément d'ouvrage # # annexe n°#			
	Planche brute sciée				
	Planche rabotée				
peu absorbante	Bois à surface poncée (p.ex. panneau 3 plis, planche)				
	Contreplaqué				
	Panneau de bois latté				
non absorbante	Panneau pelliculé - contreplaqué - contreplaqué latté - contreplaqué lamellé				
	Panneau synthétique				
	Matrice élastomère				
	Tube de coffrage				
	Tôle métallique				
Spéc.	Membrane drainante				
<input type="checkbox"/> Note de calcul relatif à la stabilité des coffrages :					<input type="checkbox"/>
Annexe(s) n°: <input style="width: 600px;" type="text"/>					
Accessoires de coffrage					
<input type="checkbox"/> Types, teinte et dimensions des cales d'armatures : # à reporter sur fiche 03:contrôle des armatures #					<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type et dimensions des écarteurs de coffrage :					<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type et dimensions des cônes :					<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types et dimensions d'accessoires spéciaux :					<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types, dimensions et fixation des baguettes d'angles et cornières :					<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types, dimensions et fixation des profils de marquage.....					<input type="checkbox"/>
.....					
(lieu)		(date)		(signature)	

Entreprise	Contrôle du coffrage	n°:
Ouvrage :	Responsable des Travaux :	
Élément de l'ouvrage :	Responsable exécution :	
Plan de réf. n° :		
<i>Le coffrage des voiles est à contrôler avant et après fermeture.</i>		
		Contrôles
<input type="checkbox"/> Validité du plan de coffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Conformité au plan de calepinage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type de coffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Nature et qualité des peaux de coffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Traitement(s) préalable des peaux de coffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type et qualité d'application du produit de décoffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Propreté, possibilité de nettoyage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Traitement préalable des reprises de bétonnage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Contrôle relatif aux réservations et mannequins :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types et étanchéité des joints entre panneaux et des joints de reprise :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Contrôle relatif aux éléments à intégrer :		<input type="checkbox"/>
(prises terre ; bandes d'étanchéité ; joints de dilatation ; passages muraux ; gaines ; autres)		
<input type="checkbox"/> Types, teinte et dimensions des cales d'armature :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Ecarteurs de coffrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type et étanchéité des cônes :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type, nombre, écartement et fixation des tiges d'ancrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types, dimensions et fixation des baguettes d'angles et cornières :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Types, dimensions et fixation des profils de marquage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Dimensions ; hauteurs ; planéité ; aplomb ; flèche :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Stabilité et rigidité de l'ensemble :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mise en sécurité :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Protection à mettre en œuvre (bâchage ; isolation thermique ; humidification ; autres) :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Remarques :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> En cas de non conformité contacter :		<input style="background-color: #ff0000;" type="checkbox"/>
.....		
(lieu)	(date)	(signature)

Entreprise	Compactage du béton						n°:	
Ouvrage :	Responsable des Travaux :							
Élément de l'ouvrage :	Responsable exécution :							
Plan de réf. n° :								
Méthodes usuelles							Contrôles	
	Classe de consistance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Méthode de compactage		F1	F2	F3	F4	F5	F6	BAP
Damage		<input type="checkbox"/>						
Plaque vibrante		<input type="checkbox"/>						
Règle vibrante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Aiguille vibrante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Piquage				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vibreux externe			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Pas de compactage autorisé								<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Cas particulier: béton léger / béton apparent / Cat. XF4 /							<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Essai préalable à effectuer:							<input type="checkbox"/>	
..... rapport d'essai n°:								
Compactage de surface								
<input type="checkbox"/> Epaisseur de couche après compactage : [cm]							<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Nombre minimale de passes:								
<input type="checkbox"/> Vitesse de déplacement:								
<input type="checkbox"/> Guides pour règle vibrante:								
Vibration interne								
<input type="checkbox"/> Caractéristiques de l'aiguille vibrante:							<input type="checkbox"/>	
Diamètre Ø: [mm]		Fréquence de vibration: [Hz]						
Force centrifuge: [kN]		Masse de l'aiguille: [kg]						
Longueur de l'aiguille: [cm]		Longueur du flexible: [m]						
<input type="checkbox"/> Entre distance des points de plongée: [cm]							<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Epaisseur maximale compactable de la couche de béton : [cm]								
<input type="checkbox"/> Marquage de la profondeur de plongée sur le flexible par incrément de: [cm]								
Vibration externe								
<input type="checkbox"/> Caractéristiques des vibreurs externes:							<input type="checkbox"/>	
Puissance: [W]		Fréquence de vibration: [Hz]						
Force centrifuge: [kN]		Masse: [kg]						
<input type="checkbox"/> Entre distance des points de fixation: [cm]							<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Fixation 1 face / 2 faces du coffrage:								
<input type="checkbox"/> Critère(s) de mise en marche:								
<input type="checkbox"/> Post-compactage:							<input type="checkbox"/>	
Méthode:								
Surépaisseur de béton à prévoir avant recompactage:								
Profondeur de recompactage:								
Temps d'attente avant exécution: après mise en œuvre du béton								
<input type="checkbox"/> Surfaçage:							<input type="checkbox"/>	
Aspect:		Tolérance de planéité:						
.....								
(lieu)		(date)			(signature)			

Entreprise		Cure et protection du béton				n°:	
Ouvrage :					Responsable qualité béton :		
Élément de l'ouvrage : .....					.....
Bétonnage n° :					Responsable exécution :		
.....						
Méthodes usuelles							
N°	Température ambiante					Procédés de cure	
	< -3°	-3° à +5°	+5° à +10°	+10° à +25°	> +25°		
1				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Humidification préalable et couverture avec une bâche imperméable (polyane)	
2				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Humidification continue par pulvérisation d'eau	
3			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Couverture avec une bâche imperméable	
4			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		Pulvérisation d'un produit de cure	
5		<input type="checkbox"/>				Pulvérisation d'un produit de cure et isolation thermique	
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Couverture et isolation thermique	
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Couverture, mise sous abris (tente) et chauffage	
Dispositions complémentaires							
8				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Protection des coffrages métalliques du rayonnement solaire	
9			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Humidification des coffrages en bois	
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				Utilisation de coffrages isolants (p.ex. bois) ou calorifugés	
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			Maintien de la température du béton à $\geq +10^{\circ}\text{C}$ pendant un délai de 3 jours à une température supérieure ou égale à 10°C	
Dispositions de protection							
12			<input type="checkbox"/>			Isolation thermique du béton de masse	
13			<input type="checkbox"/>			Protection contre le lessivage par eaux de pluie / de ruissellement	
14			<input type="checkbox"/>			Protection contre les attaques chimiques	
15			<input type="checkbox"/>			Protection contre les sollicitations mécaniques	
16			<input type="checkbox"/>			Protection contre les salissures et coulées de rouille	
Contrôles supplémentaires et contrôle du béton frais et durci							Contrôles
<input type="checkbox"/> Matériel de couverture :							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Moyen de protection des surfaces non coffrées :							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Contact avec la surface du béton autorisé <input type="checkbox"/> non autorisé, entre distance min. : cm							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Matériel de pulvérisation d'eau :							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Produit de cure : <input type="checkbox"/> fiche technique annexée, qté min. : g/m ²							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Matériel d'isolation thermique :							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Matériel de calorifugeage du coffrage :							<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> annexe(s) descriptive(s) # à reporter sur fiches 03 contrôle armatures ; 13.5 étude de coffrage #							<input type="checkbox"/>
Disposition n°:	11	12	13	14	15	16	(autre)
Fiches(s) n°:					13.5	03 ; 13.5	
.....							
(lieu)			(date)			(signature)	

Entreprise	Rapport de cure et de protection du béton	n°:
------------	--	-----

Ouvrage :	Responsable qualité béton :
Elément de l'ouvrage :	Responsable exécution :

Spécification du béton :	Bétonnage n° :
--------------------------	--

C	X	F	D	P	Evolution résistance	Date	Mise en œuvre (heure)		Température [°C]		Conditions ambiantes
							Début	Fin	Béton	Extérieur	
					<input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/> TL						

Durée minimale de la cure en jours pour les applications courantes						Date	Durée cure / protection	Méthode suivant fiche de procédure cure et protection		Température [°C]		Conditions ambiantes
Conditions ambiantes	T° de surface du béton	Classe d'évolution de la résistance du béton ^{b)}						% cure effective	N°	Béton	Extérieur	
		R	M	L	TL	Min.	Max.					
bonnes pas d'exposition directe au soleil et au vent humidité relative de l'air ≥ 80%	≥ 10 °C	1	2	3	4		1					
	< 10 °C ^{a)}	2	4	5	7		2					
normales ensoleillement moyen et vent de vitesse moyenne, humidité relative ≥ 50%	≥ 10 °C	1	3	4	6		3					
	< 10 °C ^{a)}	2	5	8	12		4					
mauvaises fort ensoleillement et / ou vent fort et / ou humidité relative < 50%	≥ 10 °C	2	4	6	10		5					
	< 10 °C ^{a)}	3	7	10	15		6					
							7					
							8					
							9					
							10					
							11					
							12					
							13					
							14					
							15					
							16					
							17					
							18					

^{a)} La durée de la cure est à prolonger du nombre de jours pendant lesquels la température aura été inférieure à + 5 °C

^{b)} Fonction du rapport entre la résistance moyenne à la compression à 2 jours (f_{cm,2}) et à 28 jours (f_{cm,28}) déterminées par les essais initiaux.


La durée de la cure pour les applications courantes peut également être déterminée en fonction de la résistance structurale effectivement atteinte par la partie de l'ouvrage concernée. Dans ce cas, la cure sera assurée jusqu'à ce que la résistance structurale en surface du béton atteigne 50% de la résistance caractéristique f_{ck}.

La durée de la cure est par conséquent et en générale donc également à prolonger lors de l'utilisation d'adjuvant retardateur.

Pour des applications spécifiques, pour lesquelles d'autres caractéristiques que la seule résistance à la compression sont déterminantes, p.ex. des bétons présentant une haute résistance à l'usure, les durées minimales de la cure du tableau ci-dessus sont à doubler resp. la cure est à assurer jusqu'à ce que la résistance structurale en surface du béton atteigne 70% de la résistance caractéristique f_{ck}.

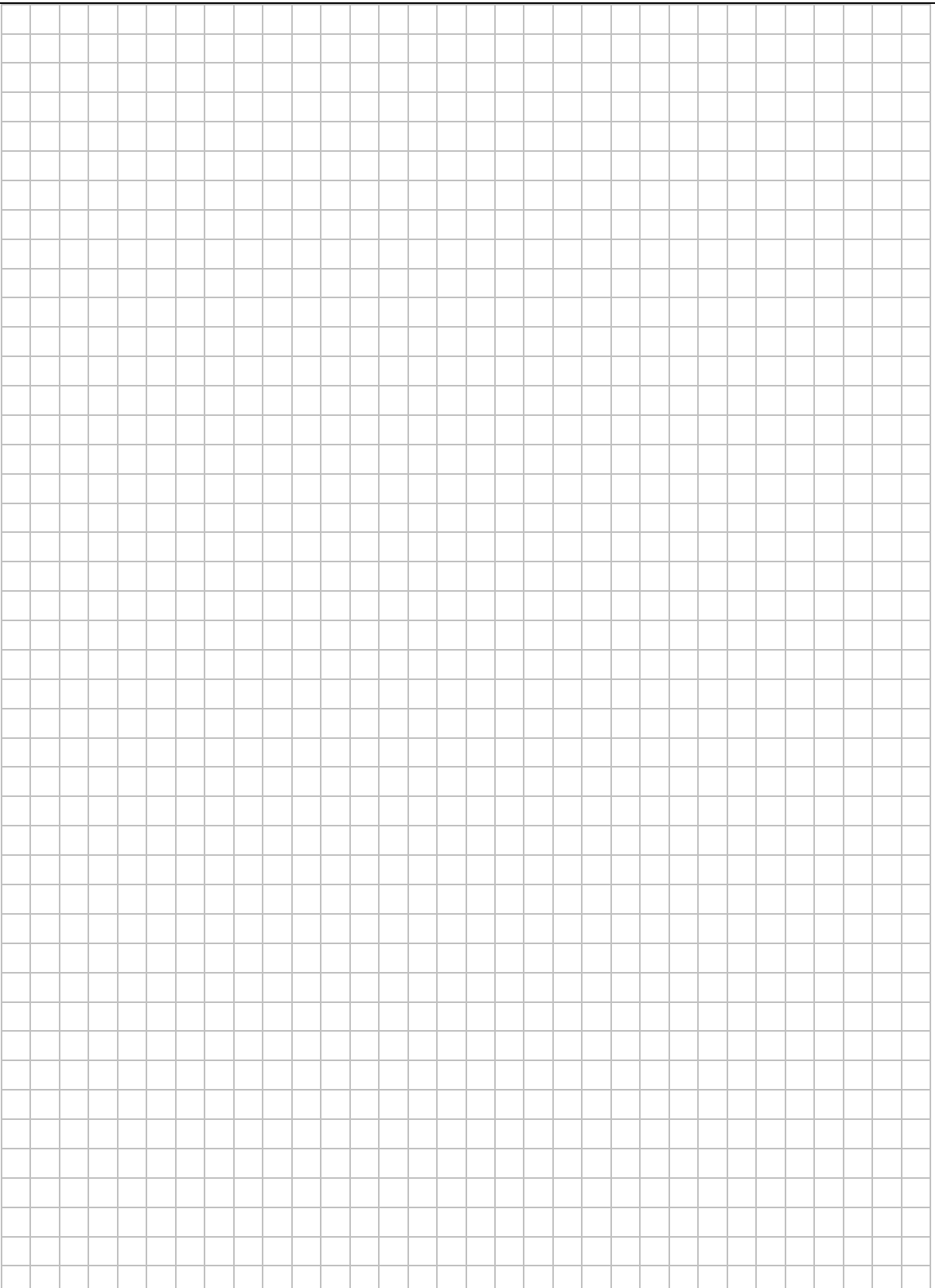
Date	Résistance structurale

.....
(lieu)	(date)	(signature Direction des Travaux)

Entreprise	Traitements et protections	n°:
Ouvrage :	Responsable des Travaux :	
Élément(s) de l'ouvrage* :	Responsable exécution :	
* En fonction de la complexité de l'étude : rédiger une feuille par élément d'ouvrage ou regrouper les informations sur une feuille en indiquant à quels éléments elles s'appliquent.		Contrôles
Procédures de traitements et de protections des éléments décoffrés		
<input type="checkbox"/> Protection contre les salissures et coulés de rouille : # à reporter sur fiche 10 : cure et protection du béton #		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mesure de protection contre la corrosion des armatures en attente : (mise en peinture ; enduit de coulis de ciment ; autres)..... # à reporter sur fiche 03 : contrôle des armatures #		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Mesure de protection contre les sollicitations mécaniques : (protection des angles; des surfaces ; autres) # à reporter sur fiche 10 : cure et protection du béton #		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Méthode d'obturation des trous d'ancrage :		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type, mode et condition d'application d'un traitement en surface : (p.ex. anti-graffitis)		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type, mode et condition d'exécution d'un traitement de la surface : (p.ex. bouchardage)		<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Type, mode et condition d'exécution de ragréage.....		<input type="checkbox"/>
..... (lieu)		..... (signature)

Entreprise	Annexe #n°# : #fiche#	n°:
------------	-----------------------	-----

Ouvrage :	Responsable des Travaux :
<input type="text"/>	<input type="text"/>
.....

<input type="text"/>	Contrôles
	<input type="checkbox"/>

.....
(lieu)	(date)	(signature)