LES CIMENTS BELGES
SPÉCIFICATION ET CERTIFICATION

TECHNOLOGIE | JUIN 2013

		q2	(Ajp)

BB/SfB

- **NORME NBN EN 197-1**
- **NORMES NBN B 12-108, NBN B 12-109 & NBN B 12-110**
- **MARQUAGE CE**
- **MARQUE VOLONTAIRE BENOR**

Le 21 mai 2000, la norme harmonisée EN 197-1 pour les ciments courants a été approuvée. Cette norme a reçu, le 18 septembre 2000, le statut de norme belge sous la dénomination NBN EN 197-1 : 2000. Le 29 novembre 2011, la seconde édition de la norme NBN EN 197-1 a été publiée au moniteur belge. Par rapport à l'édition précédente, cette norme introduit 7 ciments courants, résistant aux sulfates. Elle consolide également dans un document unique les spécifications des ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme et des ciments à faible chaleur d'hydratation. Ces ciments faisaient l'objet respectivement de la norme NBN EN 197-4 et de l'addendum NBN EN 197-1/A1 aujourd'hui annulés. La définition de chaque ciment inclut les proportions dans lesquelles les constituants doivent être associés pour obtenir ces produits dans une plage de 9 classes de résistance. La norme reprend également les exigences auxquelles les constituants doivent satisfaire ainsi que les exigences mécaniques, physiques et chimiques.

En plus des ciments résistant aux sulfates définis dans la norme NBN EN 197-1 : 2011, il a été démontré au niveau de différents pays membres du CEN, dont la Belgique, que d'autres ciments présentaient des propriétés de résistance aux sulfates. Ces ciments, dont la liste figure en Annexe A de la nouvelle NBN EN 197-1, sont considérés comme des ciments résistant aux sulfates dans les limites du territoire de ces pays. C'est ainsi que la norme NBN B 12-108 relative aux ciments à haute résistance aux sulfates est maintenue. Celle-ci a toutefois été revue pour mettre ses spécifications en conformité avec la nouvelle NBN EN 197-1 : 2011. D'autres ciments spéciaux ne sont toujours pas traités par la normalisation européenne. Il s'agit des ciments à teneur limitée en alcalis (LA) qui font l'objet de la norme NBN B12-109 et des ciments à haute résistance initiale (HES) spécifiés par la norme NBN B 12-110.

Le marquage CE, obligatoire depuis le 1er avril 2002, garantit uniquement la conformité avec la norme NBN EN 197-1. La marque BENOR par contre est et reste une marque de qualité volontaire qui a prouvé sa crédibilité dans le passé. Pour cette raison, même pour des ciments courants, la marque BENOR est disponible en complément au marquage CE. La marque BENOR est en outre basée sur un contrôle de la qualité plus sévère.

La garantie de conformité des ciments spéciaux pour ce qui concerne les caractéristiques non traitées par la normalisation européenne ne peut se faire que par la marque BENOR. Ils portent donc le double marquage, à savoir le marquage CE attestant la conformité de leurs propriétés courantes, et la marque BENOR certifiant leurs caractéristiques spéciales ne faisant pas l'objet d'une normalisation européenne.

Photo haut de page : Zemst, maison de repos et de soins – arch. Debray
© ConfédérationConstruction – Journée Chantiers Ouverts 2013

Photo couverture : C. Ployaert

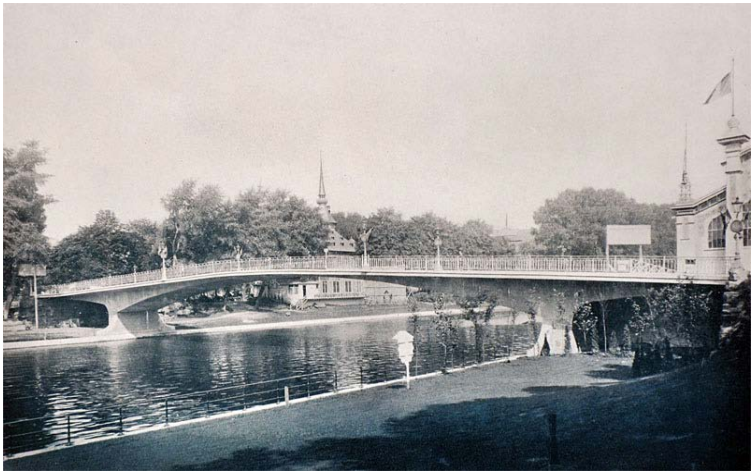
1. BREF HISTORIQUE DU CIMENT

Les liants minéraux ont été utilisés depuis la plus haute antiquité et principalement à l'époque romaine durant laquelle de véritables bétons à base de liant naturel (pouzzolane en mélange avec de la chaux) ont été mis en oeuvre et subsistent encore de nos jours. Jusqu'à la fin du 18e siècle, la cuisson plus ou moins poussée de chaux avec des quantités variables d'argiles, donne lieu à des chaux plus ou moins hydrauliques, mais ce liant ne servit qu'à la confection de mortiers de maçonnerie. C'est au 19e siècle que la relation de cause à effet entre la présence d'argile dans les chaux et l'hydraulicité de ces dernières est découverte et exploitée dans la fabrication de divers liants qui aboutiront au ciment Portland. Le 20e siècle verra surtout la naissance et la croissance d'une véritable industrie cimentière dont la production ne cessera de croître tant qualitativement que quantitativement.

Les événements ayant contribué aux ciments d'aujourd'hui peuvent être résumés comme ceci:
• Vers 800 – 700 avant J.C., utilisation par les Etrusques de la pouzzolane en mélange avec la chaux grasse. Le mot pouzzolane vient de Pozzuoli, localité au pied du Vésuve où furent exploitées les cendres volcaniques.
• Durant l'époque romaine, utilisation de mélanges de pouzzolanes et de chaux grasse comme liant. VITRUVE, architecte romain du 1er siècle avant J.C. conseillait de mélanger deux parts de pouzzolane pour une part de chaux grasse.
• De l'époque romaine à la seconde moitié du 18e siècle : la recette du liant imaginée par les romains se perd : on ne fera plus de béton. Le liant pour maçonnerie sera à base de chaux grasse ou de chaux faiblement à moyennement hydraulique.
• Durant la seconde moitié du 18e siècle et au début du 19e, plusieurs chercheurs remarquent que la propriété de certaines chaux de durcir sous eau provient de la présence de proportions importantes de matières argileuses dans les roches calcaires.
En 1756, SMEATON compare la dureté de ces chaux hydrauliques après durcissement à celle des meilleures pierres exploitées dans la région de Portland, nom qui deviendra célèbre par la suite.
En 1796, PARKER commence à fabriquer sous le nom de 'ciment romain', un liant obtenu par la cuisson modérée de concrétions calcaires très argileuses.
En 1818, VICAT, ingénieur français, explique l'hydraulicité des chaux par la réaction entre la silice et l'alumine des argiles et la chaux des calcaires lors de la cuisson.

Le Panthéon à Rome, construit entre 118 et 125

• C'est en 1824, en dépit de toutes les découvertes antérieures, que l'on peut affirmer que le ciment Portland est né. En effet, ASPDIN, entrepreneur écossais, dépose un brevet pour un mélange artificiel de calcaire et d'argiles cuit à température élevée et dont l'aspect à l'état durci ressemble à celui d'une pierre naturelle des environs de Portland. En Belgique, ce ciment sera dénommé 'ciment Portland artificiel' étant donné qu'il existe des ciments provenant de la cuisson d'une roche calcaro-schisteuse ayant naturellement une composition chimique qui se rapproche de celle nécessaire pour obtenir un véritable ciment Portland. Leurs fabricants les qualifient de « ciments Portland naturels ».
• De 1825 à 1900, on voit apparaître les premières usines de ciment Portland d'abord en Angleterre, puis en France et en Allemagne. La première usine belge s'est ouverte en 1872 à Cronfestu près de La Louvière. Le nombre d'usines en Belgique montera à plus de 30 avant la seconde guerre mondiale. Toute les usines de ciment naturel se sont converties vers le ciment Portland véritable car les ciments naturels ne présentaient ni la même homogénéité, ni la même constance dans leurs propriétés, que les ciments artificiels.
• Parallèlement au développement du ciment Portland, l'hydraulicité du laitier de haut fourneau granulé par trempe est mise en lumière et exploitée dès la seconde moitié du 19e siècle.
En 1862, LANGEN préconise la granulation du laitier à la sortie du haut fourneau mais il faudra un certain temps pour se rendre compte de l'importance de cette découverte. Vers 1880, plusieurs chercheurs (TETMEYER, PRUSSING, PASSOW, FERET, ...) étudient les propriétés hydrauliques des laitiers granulés. En 1908, KÜHL découvre l'action activante du sulfate de calcium sur le laitier.
• Les premiers ciments de haut fourneau sont fabriqués en 1909 en Allemagne et à partir de 1927 en Belgique.
• En 1932, suite aux travaux de KÜHL, prolongés par ceux de BLONDIAU en Belgique, naît le ciment sursulfaté.



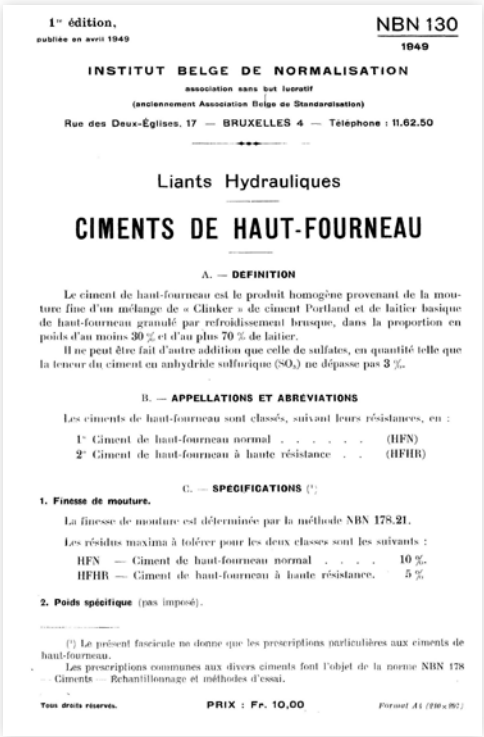
La passerelle Mativa (ou 'pont Hennebique') à Liège, construite en 1905

2. UN SIÈCLE DE NORMALISATION ET DE CONTRÔLE DES CIMENTS

Ainsi qu'il vient d'être exposé, l'invention du ciment Portland remonte à bientôt deux siècles. Au départ, les procédés de fabrication restèrent rudimentaires mais les applications croissantes ont fortement stimulé l'amélioration continue de la fabrication du ciment. A la fin du 19e siècle, les efforts d'amélioration ont notamment abouti à la mise au point et à l'emploi industriel du four rotatif pour la cuisson. L'extension de l'utilisation de ces fours et le perfectionnement successif des appareils de mouture de la pâte et du clinker, les soins plus minutieux apportés au dosage et à l'homogénéisation de la pâte sont tous des facteurs qui ont progressivement amélioré les qualités du ciment déjà bien avant la première guerre mondiale.

Les infrastructures construites, les travaux de communication entrepris ont toujours exigé des bétons plus résistants et capables d'être mis en service dans des délais de plus en plus courts. Ces facteurs ont initié de nouvelles recherches et ont fait comprendre aux cimentiers que les caractéristiques et les qualités des ciments doivent être définies et qu'elles doivent pouvoir être contrôlées aisément et avec certitude. Tel est l'objet des normes. Nécessaires pour le cimentier qui doit régler sa fabrication en vue d'y répondre, les normes sont indispensables pour les utilisateurs. Un ciment qui satisfait aux normes peut être utilisé en toute confiance et avec plein succès dans les travaux.

Dans ce but, des spécifications ont été étudiées et codifiées par l'Institut Belge de Normalisation (IBN – en 2005 rebaptisé NBN, Normalisatiebureau - Bureau de Normalisation) dans les feuilles de normes NBN 48 – 198 – 130 – 131 – 132 et 178 de 1949 et rééditées en 1959 (*fig. 1*).
L'application des normes ciments a comme grand intérêt d'être non seulement un moyen de contrôle de la fabrication mais aussi un index standard de la qualité atteinte en pratique. C'est dans cet esprit que l'industrie cimentière belge, voulant donner une garantie supplémentaire de la qualité de ses produits, s'est soumise volontairement à un contrôle de la qualité de ses ciments en plus de celui qu'elle exerçait nécessairement elle-même au cours de ses fabrications et ce dès 1927. Elle a voulu que ce contrôle s'effectue indépendamment des laboratoires de ses usines. Aussi a-t-elle confié cette mission à des organismes impartiaux et compétents, agréés comme tels par les administrations.



1re édition,
publiée en avril 1949

NBN 130
1949

INSTITUT BELGE DE NORMALISATION
association sans but lucratif
(anciennement Association Belge de Standardisation)
Rue des Deux-Églises, 17 — BRUXELLES 4 — Téléphone : 11.62.50

Liants Hydrauliques

CIMENTS DE HAUT-FOURNEAU

A. — DEFINITION

Le ciment de haut-fourneau est le produit homogène provenant de la mouture fine d'un mélange de « Clinker » de ciment Portland et de laitier basique de haut-fourneau granulé par refroidissement brusque, dans la proportion en poids d'au moins 30 % et d'au plus 70 % de laitier.
Il ne peut être fait d'autre addition que celle de sulfates, en quantité telle que la teneur du ciment en anhydride sulfurique (SO_3) ne dépasse pas 3 %.

B. — APPELLATIONS ET ABREVIATIONS

Les ciments de haut-fourneau sont classés, suivant leurs résistances, en :

1° Ciment de haut-fourneau normal . . . . . (HFN)
2° Ciment de haut-fourneau à haute résistance . . (HFHR)

C. — SPECIFICATIONS (*)

1. Finesse de mouture.

La finesse de mouture est déterminée par la méthode NBN 178.21.

Les résidus maxima à tolérer pour les deux classes sont les suivants :

HFN — Ciment de haut-fourneau normal . . . . 10 %.
HFHR — Ciment de haut-fourneau à haute résistance. 5 %

2. Poids spécifique (pas imposé).

(*) Le présent fascicule ne donne que les prescriptions particulières aux ciments de haut-fourneau.
Les prescriptions communes aux divers ciments font l'objet de la norme NBN 178 — Ciments — Echantillonnage et méthodes d'essai.

Tous droits réservés. PRIX : Fr. 10,00 Format A4 (210 x 297)

Fig. 1 – Première page de la norme NBN 130 de 1949 relative aux ciments de haut-fourneau

Les laboratoires chargés du contrôle de qualité des ciments étaient, pour les ciments Portland, le Laboratoire de Recherches et de Contrôle, Groupement Professionnel des Fabricants de Ciment Portland de Belgique (G.P.C.) utilisant, à l'époque, les installations du Laboratoire d'Essai des Matériaux de l'Université Libre de Bruxelles et pour les ciments métallurgiques, le Laboratoire d'Essais des Constructions du Génie Civil et d'Hydraulique Fluviale à l'Université de Liège. Le Laboratoire du Béton Armé de l'Université de Gand et le G.P.C. contribuaient conjointement à ce contrôle en ce qui concerne les ciments en dépôt chez les distributeurs et sur les chantiers ou encore en cours d'exportation. Les principes des contrôles étaient les suivants : les laboratoires effectuaient, mensuellement et pour chaque usine, le prélèvement d'un échantillon de ciment de chaque nature et de chaque classe de qualité pour le soumettre aux essais normalisés. Les prélèvements avaient lieu au choix des laboratoires dans les cimenteries, chez les négociants, aux ports d'expédition, sur les chantiers ou dans les usines d'éléments préfabriqués en béton. Le contrôle des ciments était attesté par les marques de contrôle déposées d'une part par le G.P.C. et d'autre part par l'Association Professionnelle des Fabricants de Ciments Métallurgiques pour les ciments métallurgiques (*figure 2*).

Fig. 2 – Marques de contrôle « C » pour les ciments Portland et « CM » pour les ciments métallurgiques

Durant la période qui a suivi la seconde guerre mondiale, l'industrie cimentière belge s'est complètement renouvelée. Les investissements consentis ont permis d'atteindre un niveau technologique que beaucoup de pays voisins pouvaient envier. Parallèlement à cette évolution technico-économique, se sont perfectionnées les connaissances relatives aux ciments et à leurs utilisations. Ce développement scientifique s'est traduit comme suit :

• Les laboratoires des cimenteries s'équipent de façon à répondre continuellement aux derniers critères qualitatifs en matière d'analyse et d'étude ;

•Le Centre National de Recherches Scientifiques et Techniques pour l'Industrie Cimentière (CRIC) est créé. Il s'agit d'un « Centre De Groote » institué par la Loi De Groote de 1947 visant à promouvoir la recherche industrielle. Le CRIC est officiellement créé par Arrêté Royal le 11 avril 1959 mais il n'entre que réellement en activité le 11 avril 1961 ;

• Les spécifications des ciments notifiées et codifiées sous forme de normes par l'Institut Belge de Normalisation sont revues afin de se conformer aux recommandations de l'organisme international de normalisation ISO (« International Organization for Standardization »). Ainsi, les normes de la série 771 remplacent en 1969 les normes citées ci-avant. Ces normes 771-01 à -17 ont également permis de simplifier les classes de résistance en les uniformisant, d'augmenter les conditions d'essai en laboratoire et d'augmenter les impositions qualitatives.

L'indicatif de ces normes a été modifié en 1973 ; la série 771 est devenue la série B 12. C'est à ce moment (en juillet 1973) que la marque de conformité « BENOR » pour les ciments remplace les marques C et CM.

L'Arrêté Royal du 10 avril 1954 concède à l'Institut Belge de Normalisation le droit de déposer la marque BENOR. L'apposition de cette marque sur un produit a pour objet de garantir sa conformité aux critères spécifiés dans les normes de l'IBN ou, le cas échéant, dans d'autres prescriptions préétablies, approuvées par l'IBN et pouvant être connues du public. L'attribution du label de qualité « BENOR – ciment » atteste de l'existence d'un autocontrôle interne de fabrication approfondi par le producteur lui-même ainsi que d'un contrôle externe par un organisme indépendant agréé par l'IBN. Ces contrôles sont supervisés par un collège d'experts désignés par les utilisateurs les plus importants et mandatés par l'IBN.

Les travaux de normalisation européenne dans le domaine des ciments ont débuté en 1969, de façon totalement volontaire, entre les six pays signataires du traité de Rome. A partir de 1973, les travaux ont été poursuivis dans le cadre du Comité Européen de Normalisation, le CEN, au sein du comité technique 51 « Ciment et Chaux de construction ». L'objectif des travaux était d'élaborer des normes d'essais communes pour tous les pays membres et de rédiger des normes de spécifications de produits. Les normes d'essais ont été adoptées en 1987 et 1989. Dès 1990, les performances de tous les ciments ont donc été évaluées de la même façon dans tous les pays membres du CEN. L'adoption en 1989 de la Directive Produits de Construction « DPC » a entraîné le rejet d'un projet de norme de spécifications qui ne s'appliquait pas à tous les ciments traditionnels et éprouvés. Le CEN/TC 51 « Ciment et chaux de construction » a ensuite repris ces travaux et inclut tous les ciments dans le texte qui a été adopté comme prénorme ENV 197-1 le 15 avril 1992.

Etant donné les nouveautés introduites par la prénorme ENV 197-1 par rapport aux normes belges correspondantes NBN B 12-101 à -107, la Commission compétente de l'Institut Belge de Normalisation a décidé de remplacer ces dernières par la prénorme européenne, sous réserve d'adapter celle-ci au contexte belge dans l'attente d'une harmonisation complète des normes nationales au sein de la CEE sur base de la norme EN 197 définitive. La norme NBN B 12-001 de 1993 constituait donc l'adaptation au contexte belge de la prénorme européenne ENV 197-1. De ce fait, les ciments belges sont, depuis lors, conformes à la norme européenne NBN EN 197-1 : 2000, et ni leur composition ni leurs performances n'ont fondamentalement changé en pratique. La norme NBN B 12-001 : 1993 ne définissait que des ciments courants bien connus en Belgique. C'est ainsi que la non-disponibilité de pouzzolanes naturelles dans notre pays a conduit à ne pas reprendre le ciment pouzzolanique de type IV. C'est donc depuis lors, que la dénomination des ciments Portland « P » est devenue « CEM I », celle des ciments Portland composé « PPz », « CEM II », celle des ciments de haut fourneau « HK, HL et LK » respectivement « CEM III/A, CEM III/B et CEM III/C » et que le ciment composé CEM V/A a été spécifié sous une norme belge. Parallèlement, les anciennes désignations 30 – 40 – 50 des classes de résistance sont devenues 32,5 – 42,5 – 52,5.

Anvers, 'Lichttoren' – awg Architecten © Confédération Construction – Journée Chantiers Ouverts 2013

La même démarche, effectuée simultanément dans différents pays de l'UE, a permis d'accomplir l'essentiel du chemin vers une norme européenne. Le dernier pas a été franchi avec l'adoption le 21 mai 2000 du projet de norme EN 197-1 pour les ciments courants à l'unanimité des pays membres du CEN. Cette norme a reçu, le 18 septembre 2000, le statut de norme belge sous la dénomination NBN EN 197-1 : 2000. Il s'agit de la première norme européenne harmonisée, adoptée dans le cadre défini par la DPC. Le ciment est donc le premier matériau de construction à recevoir le marquage CE. En effet, depuis le 1er avril 2002, dans tous les pays membres, les ciments courants mis sur le marché doivent être conformes à la norme EN 197-1 et doivent porter le marquage CE sur les sacs ou sur les documents d'accompagnement pour le vrac. A côté de ce marquage CE obligatoire, la marque de qualité BENOR est restée d'application. Celle-ci est en outre basée sur un contrôle de la qualité plus sévère, un contrôle externe par mois au lieu d'un contrôle tous les deux mois pour le marquage CE. De plus, certains ciments spéciaux à haute résistance aux sulfates (HSR – « high sulphate resisting » – norme NBN B 12-108) ou à teneur limitée en alcalis (LA – « low alkali » – norme NBN B 12-109) ou encore à résistance initiale élevée (HES – « high early strength » – norme NBN B 12-110) ne sont pas encore traités par la normalisation européenne. En attendant que chose soit faite, ils portent le double marquage, à savoir le marquage CE attestant la conformité de leurs propriétés courantes, et la marque BENOR certifiant leurs caractéristiques spéciales.

Gand, FPC – arch. de Jong Gortemaker Algra / Abscis © Confédération Construction – Journée Chantiers Ouverts 2013

Le 29 novembre 2011, la seconde édition de la norme NBN EN 197-1 a été publiée au moniteur belge. Par rapport à l'édition précédente, cette norme introduit des ciments courants résistant aux sulfates et reprend les spécifications des ciments de haut fourneau à faible résistance à court terme (L) et des ciments à faible chaleur d'hydratation (« low heat » – LH). Ces ciments faisaient l'objet respectivement de la norme NBN EN 197-4 et de l'addendum NBN EN 197-1/A1 aujourd'hui annulés. La norme reprend également les exigences auxquelles les constituants doivent satisfaire ainsi que les exigences mécaniques, physiques et chimiques.

En plus des ciments résistant aux sulfates définis dans la norme NBN EN 197-1 : 2011, il a été démontré que d'autres ciments présentaient des propriétés de résistance aux sulfates. Ces ciments, dont la liste figure en Annexe A de cette nouvelle NBN EN 197-1, sont considérés par différents pays membres du CEN, dont la Belgique, comme des ciments résistant au sulfates dans les limites de leur territoire. C'est ainsi que la norme NBN B 12-108 relative aux ciments à haute résistance aux sulfates est maintenue. Celle-ci a toutefois été revue pour mettre ses spécifications en conformité avec la nouvelle NBN EN 197-1 : 2011.
Les autres ciments spéciaux qui ne sont toujours pas traités par la normalisation européenne, à savoir les ciments à teneur limitée en alcalis (LA) et des ciments à haute résistance initiale (HES) font toujours l'objet de normes belges respectivement la NBN B 12-109 et la NBN B 12-110.
Les paragraphes suivants présenteront les ciments courants et spéciaux fabriqués et éprouvés en Belgique.

3. LES CIMENTS COURANTS « CE »

La norme NBN EN 197-1 d'octobre 2011 définit les caractéristiques de 27 ciments courants répartis en 5 types. Le *tableau 1* définit les ciments actuellement produits et commercialisés en Belgique. Les exigences mécaniques (classe de résistance), physiques et chimiques de ces ciments courants sont indiquées aux *tableaux 2* et *3*. Nous renvoyons le lecteur vers les *tableaux 1, 3* et *4* de la NBN EN 197-1 pour la définition et les exigences des autres ciments courants.

Types	Notation		Constituants principaux (*)				Constituants secondaires (*)
			Clinker (K)	Laitier de haut-fourneau (S)	Cendres volantes (V)	Calcaire (LL) (**)	
I	ciment Portland	**CEM I**	95-100	-	-	-	0-5
II	ciment Portland au laitier	**CEM II/A-S**	80-94	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	0-5
	ciment Portland aux cendres volantes	**CEM II/A-V**	80-94	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	21-35	-	0-5
	ciment Portland au calcaire	**CEM II/A-LL**	80-94	-	-	6-20	0-5
	ciment Portland composé (***)	**CEM II/A-M**	80-88	12-20			0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35			0-5
III	ciment de haut-fourneau	**CEM III/A**	35-64	36-65	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	0-5
V	ciment composé (***)	**CEM V/A**	40-64	18-30	18-30	-	0-5

(*) Les valeurs indiquées sont des pourcentages en masse et se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires, c.-à-d. sans compter le sulfate de calcium et les additifs.
(**) LL: calcaire avec une teneur totale en carbone organique inférieure à 0,20 % en masse
(***) Pour les ciments Portland composé CEM II/A-M et CEM II/B-M ainsi que pour le ciment composé CEM V/A, les constituants principaux autres que le clinker doivent être déclarés dans la désignation du ciment. Exemple : CEM II/B-M (LL-S-V).

Tableau 1 – Composition des ciments courants fabriqués et commercialisés en Belgique

Classes de résistance	Résistances à la compression [MPa]				Temps de début de prise [min]	Expansion [mm]
	2 jours	7 jours	28 jours			
32,5 L (*)	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 L (*)	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L (*)	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				

(*) Classes de résistance uniquement définies pour les ciments CEM III

Tableau 2 – Exigences mécaniques et physiques des ciments

Propriétés	Types de ciment	Classes de résistance	Exigences (*) [%]
Perte au feu	**CEM I** **CEM III**	Toutes les classes	≤ 5,0
Résidu insoluble	**CEM I** **CEM III**	Toutes les classes	≤ 5,0
Teneur en sulfates (SO_3)	**CEM I** **CEM II** **CEM V**	32,5 N / 32,5 R / 42,5 N	≤ 3,5
		42,5 R / 52,5 N / 52,5 R	≤ 4
	CEM III (**)	Toutes les classes	
Teneur en chlorures	**Tous types** (***)	Toutes les classes	≤ 0,10

(*) Les exigences sont données en pourcentage en masse du ciment produit fini.
(**) Le ciment de type CEM III/C peut contenir jusque 4,5 % de SO_3.
(***) Les ciments de type CEM III peuvent contenir plus de 0,10 % de chlorures mais dans ce cas, la teneur maximale en chlorures doit figurer sur l'emballage et/ou le bon de livraison.

Tableau 3 – Exigences chimiques des ciments courants fabriqués et commercialisés en Belgique

DEFINITION D'UN CIMENT SELON LA NORME NBN EN 197-1

Le ciment est un liant hydraulique, c.-à-d. un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.
Le ciment conforme à la norme NBN EN 197-1, appelé ciment CEM, mélangé avec des granulats et gâché avec de l'eau de façon appropriée, doit être capable de produire un mortier ou un béton qui conserve son ouvrabilité pendant un temps suffisamment long et doit, après des périodes déterminées, atteindre des niveaux de résistance prescrits et aussi présenter une stabilité de volume à long terme.
Le durcissement hydraulique du ciment CEM est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium, mais d'autres composés chimiques peuvent également intervenir dans le processus de durcissement, tel que, par exemple, les aluminates. Dans les ciments CEM, la somme des quantités relatives d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO_2) réactifs doit représenter une proportion au moins égale à 50 % en masse, lorsqu'elles sont déterminées selon la norme NBN EN 196-2.
Les ciments CEM sont constitués de différents matériaux et sont de composition statistiquement homogène du fait d'une assurance qualité couvrant les processus de production et de manutention.

4. LES CARACTÉRISTIQUES OPTIONNELLES « CE » DES CIMENTS COURANTS

Alors que l'édition 1 de la norme NBN EN 197-1 ne couvrait aucun ciment spécial, c.-à-d. un ciment courant doté d'une ou de plusieurs propriétés supplémentaires ou spécifiques, l'édition 2 actuelle en définit plusieurs. Nous les nommerons dans la suite de ce document « caractéristiques optionnelles des ciments courants ». En effet, comme il s'agit de caractéristiques éventuelles, les ciments courants peuvent éventuellement en être dotés. Le *tableau 4* donne un aperçu des caractéristiques optionnelles des ciments courants fabriqués en Belgique actuellement spécifiées par la norme NBN EN 197-1.
Il s'agit de la caractéristique LH (*Low Heat*) pour les ciments courants à faible chaleur d'hydratation et de la caractéristique SR (*Sulfate Resisting*) pour les ciments courants résistant aux sulfates. Etant donné que la norme EN 197-1 est une norme harmonisée, ces caractéristiques optionnelles doivent également être marquées CE.

			Caractéristiques optionnelles (*)		
Ciments	**Norme**	**Marquage**	**Propriété**	**Norme**	**Marquage**
Courants	NBN EN 197-1	CE	**LH**	NBN EN 197-1	CE
			SR	NBN EN 197-1	CE

(*) En ce qui concerne les caractéristiques optionnelles, toutes les combinaisons sont, en principe, possibles.

Tableau 4 – Aperçu des caractéristiques optionnelles des ciments courants selon NBN EN 197-1

· LES CIMENTS À FAIBLE CHALEUR D'HYDRATATION « LH » (NBN EN 197-1)

La chaleur d'hydratation du ciment, exprimée en Joule [J] par gramme de ciment est la quantité de chaleur dégagée par son hydratation. En effet, les réactions d'hydratation des ciments sont des réactions exothermiques.
Dans les constructions massives, l'utilisation de ciments à faible chaleur d'hydratation réduit fortement l'échauffement de la masse de béton lors du durcissement et constitue par conséquent une précaution utile pour diminuer le retrait thermique ultérieur et le risque de fissuration engendré par ce retrait.
Les ciments LH sont donc à prescrire pour les ouvrages de masse, généralement à partir de plus de 50 cm d'épaisseur.

Les ciments courants à faible chaleur d'hydratation sont des ciments dont la chaleur d'hydratation ne dépasse pas la valeur caractéristique de 270 J/g. Ils sont identifiés par la notation LH.
Cette chaleur d'hydratation est déterminée conformément à la norme NBN EN 196-8 à 7 jours ou à la norme NBN EN 196-9 à 41 heures. Une recherche prénormative a démontré l'équivalence des résultats d'essai pour ces deux méthodes normalisées.

Les ciments courants belges à faible chaleur d'hydratation selon la NBN EN 197-1 sont les suivants :
· CEM I LH
· CEM III/A LH
· CEM III/B LH
· CEM III/C LH
· CEM V/A (S-V) LH

· LES CIMENTS À FAIBLE CHALEUR D'HYDRATATION « LH » (NBN EN 197-1)

Le Comité Technique CEN/TC 51 'Ciment et chaux de construction' a mené une enquête sur toutes les spécifications et recommandations nationales au sein de l'Union Européenne afin d'identifier les ciments courants généralement acceptés comme résistant aux sulfates et donc susceptibles d'être inclus dans l'EN 197-1. L'examen de ces recherches a abouti au fait qu'une grande variété de ciments a été classée par les Etats membres de l'UE comme résistant aux sulfates. Cela est dû aux différentes conditions géographiques et climatiques dans lesquelles les attaques sulfatiques sur le mortier et le béton se produisent sur le lieu d'utilisation, aux règles traditionnellement différentes régissant la production et l'utilisation des mortiers et bétons résistant aux sulfates et à la disponibilité parfois locale de certains constituants principaux des ciments.

Les types de ciments courants dits « résistant aux sulfates » devant être harmonisés au niveau européen ont été choisis. Ce choix couvre la plupart des ciments courants généralement acceptés comme résistant aux sulfates, mais il n'était pas possible de prendre en compte toutes les particularités nationales dont l'utilisation est spécifiée dans des normes nationales, des règles d'application et des réglementations/dispositions nationales. C'est ainsi qu'en Belgique, d'autres ciments sont considérés comme résistant aux sulfates. Ils sont codifiés HSR (*High Sulfate Resisting*) depuis plus de 30 ans.

Afin de simplifier la prescription des ciments possédant des propriétés de résistance accrue aux sulfates, la norme belge NBN B 12-108 reprend les spécifications des ciments HSR belges et définit les types de ciments SR européens (conformes à la NBN EN 197-1) dont l'expérience en Belgique a démontré leur haute résistance aux sulfates. Tous ces ciments sont définis au chapitre 6 de ce document.

5. LES CIMENTS COURANTS « CE + BENOR »

Outre les caractéristiques couvertes par le marquage CE, les ciments courants peuvent porter le double marquage CE + BENOR. Ils satisfont alors aux exigences additionnelles suivantes, stipulées dans le PTV 603 :

- limitation du temps de fin de prise à 720 minutes ;
- limitation du refus au tamis de 200 µm à 3,0 %.

Ces critères additionnels répondent aux souhaits des utilisateurs en matière de respect des délais de décoffrage des bétons, d'aspect des parements et de durabilité.

En outre, le contrôle externe et le contrôle des laboratoires des fabricants sont maintenus à un niveau plus sévère par rapport aux impositions de la norme NBN EN 197-2.

Tous les ciments BENOR font l'objet d'une fiche technique qui contient des renseignements au sujet de leur composition et leurs caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques.

LE MARQUAGE DE CONFORMITÉ « CE » = PASSEPORT RÉGLEMENTAIRE
LA MARQUE « BENOR » = MARQUE DE QUALITÉ VOLONTAIRE

CE + BENOR

Les ciments CE + BENOR sont tous des ciments conformes à la NBN EN 197-1 et porteur en supplément, c.-à-d. sur base volontaire soumis à un contrôle plus sévère, de la marque BENOR.

Photo : FEBELCEM

6. LES CARACTÉRISTIQUES OPTIONNELLES « BENOR » DES CIMENTS COURANTS

La norme NBN EN 197-1 ne couvre pas certaines caractéristiques fortement utilisées en Belgique qui concernent les ciments :

- à haute résistance aux sulfates définis par la norme NBN B 12-108 comme déjà mentionné au chapitre 4,
- LA (Low Alkali) défini par la norme NBN B 12-109 et
- HES (High Early Strength – uniquement pour les ciments Portland), définis par la norme NBN B 12-110.

Ces trois caractéristiques sont des caractéristiques optionnelles des ciments courants BENOR.
En effet, les ciments courants peuvent éventuellement en être dotés et la conformité aux exigences des normes belges précitées ne peut être attestée que par la marque BENOR. Ainsi, un ciment courant ne peut porter une ou plusieurs de ces trois caractéristiques que s'il porte déjà le double marquage CE + BENOR.
Le *tableau 5* donne un aperçu des caractéristiques optionnelles des ciments courants CE + BENOR fabriqués en Belgique.

		Caractéristiques additionnelles couvertes par BENOR			Caractéristiques additionnelles (*)		
Ciments	**Norme**	**Propriété**	**Document normatif**	**Marquage**	**Propriété**	**Norme**	**Marquage**
Courants	NBN EN 197-1	**Temps de fin de prise et refus à 200 µm**	PTV 603	CE + BENOR	**SR** (**)	NBN EN 197-1 et NBN B 12-108	CE + BENOR
					HSR	NBN EN 12-108	BENOR
					LA	NBN EN 12-109	BENOR
					HES	NBN EN 12-110	BENOR

(*) En ce qui concerne les caractéristiques optionnelles, toutes les combinaisons sont, en principe, possibles sauf la combinaison SR avec HSR qui n'est pas autorisée.
(**) Uniquement d'application pour SR, SR 0 et SR 3

Tableau 5 – Aperçu des caractéristiques optionnelles des ciments courants CE + BENOR

· LES CIMENTS À HAUTE RÉSISTANCE AUX SULFATES « SR » OU « HSR » (NBN B 12-108)

Le sulfate, c'est l'ennemi principal du ciment durci, d'autant plus dangereux que présent dans de nombreux milieux (sols, eau de mer, effluents, ...) et non agressif pour les autres matériaux et les êtres vivants tant végétaux qu'animaux. Son mécanisme d'intervention consiste en la formation d'un sel expansif, du sulfoaluminate de calcium hydraté, appelé 'sel de Candlot'. Ce sel est le résultat de la réaction entre le sulfate en solution, l'aluminate tricalcique (C_3A) hydraté, un des premiers composés formés lors de l'hydratation du clinker et l'ion calcium libéré par le processus d'hydratation du clinker Portland.
Ainsi, lorsque les bétons sont exposés à des liquides contenant plus de 500 mg/l de sulfates ou lorsqu'ils sont en contact avec des terres ayant plus de 3000 mg/kg de sulfates, il y a lieu d'utiliser un ciment à haute résistance aux sulfates (cf. NBN B 15-001, tableaux F.2 et F.3 : exigences de durabilité).

Pour qu'un ciment ait une résistance accrue aux sulfates, il faut limiter ou supprimer le composant nécessaire à la réaction expansive. Cette propriété est celle :

- des ciments Portland naturellement pauvres en alumine Al_2O_3 dans lesquels la formation du C_3A en cours de cuisson a été remplacée totalement ou partiellement par celle du C_4AF (aluminoferrite trétracalcique) ;
- des ciments de haut fourneau à forte teneur en laitier ;
- des ciments composés dont la teneur en chaux CaO, source d'ion calcium, est faible.

Comme signalé au chapitre 4, la norme européenne NBN EN 197-1 : 2011 introduit plusieurs types de ciments résistant aux sulfates, mentionnés SR. Cette norme admet cependant que d'autres types de ciments, nationalement reconnus comme résistant aux sulfates et non normalisés au niveau européen, soient maintenus comme tels. Ces ciments sont décrits dans la norme belge NBN B 12-108 et sont marqués « HSR ». De plus, afin de faciliter la prescription des ciments résistant aux sulfates, cette norme NBN B 12-108 reprend également les types de ciments SR reconnus en Belgique comme à haute résistance aux sulfates. Ces derniers ciments étant déjà marqués « SR » dans leur dénomination couverte par le marquage CE, ne peuvent pas être marqués « HSR ». La seule référence à la norme NBN B 12-108 dans la prescription des bétons permet cependant de regrouper les ciments « HSR belges » avec la sélection des ciments « SR européens » dont la haute résistance aux sulfates est démontrée par l'expérience en Belgique.

Les ciments reconnus en Belgique comme à haute résistance aux sulfates et repris dans la norme NBN B 12-108 sont les suivants :

- CEM I - SR 3 (ou SR 0 – SR 0 répondant par définition aux exigences SR 3)
- CEM III/B - SR
- CEM III/C - SR
- CEM V/A (S-V) HSR

L'ensemble de ces ciments peut être dénommé HSR dans les documents contractuels en Belgique.
Les ciments CEM I SR 5 et CEM IV SR de la NBN EN 197-1, n'ayant jamais été utilisés en Belgique dans des ouvrages en contact avec des sulfates et dont l'aptitude spécifique à l'emploi dans les milieux sulfatiques n'a pas été démontrée, ne sont donc pas conformes à la norme NBN B 12-108.

Outre les exigences de composition et les spécifications physiques, mécaniques et chimiques reprises aux *tableaux 1*, *2* et *3*, les ciments courants à haute résistance aux sulfates doivent répondre aux impositions reprises au *tableau 6*.

Types de ciment	Propriétés	Classes de résistance	Exigences [%]
CEM I - SR 3	Teneur en sulfates (SO_3)	32,5 N / 32,5 R / 42,5 N	≤ 3,0
		42,5 R / 52,5 N / 52,5 R	≤ 3,5
	Teneur en C_3A du clinker	Toutes les classes	≤ 3
CEM III/B - SR	Teneur en laitier	Toutes les classes	≥ 66
CEM III/C - SR	Teneur en laitier	Toutes les classes	≥ 81
CEM V/A (S-V) HSR	Teneur en chaux (CaO)	Toutes les classes	≤ 50,0

Tableau 6 – Exigences supplémentaires pour les ciments courants à haute résistance aux sulfates

Les ciments à haute résistance aux sulfates sont utilisés dans le secteur des eaux usées comme par exemple pour la fabrication de tuyaux ou pour la construction de stations d'épuration. Dans le domaine agricole, les bétons en contact avec des effluents d'élevages doivent également être à base d'un ciment SR ou HSR conforme à la norme NBN B12-108. (photos C. Ployaert)

· LES CIMENTS À TENEUR LIMITÉE EN ALCALIS « LA » (NBN B 12-109)

La réaction alcali-silice (RAS) est une réaction entre les alcalis (Na_2O et K_2O) présents dans le béton et la silice réactive présente dans certains types de granulats (sable et gravillons) du béton. L'utilisation d'un ciment à faible teneur en alcalis constitue la précaution principale contre la réaction alcali-silice. Pour rappel, trois conditions sont simultanément nécessaires à l'apparition de la RAS, à savoir :

- un environnement humide ;
- la présence dans le béton de granulats sensibles aux alcalis, il s'agit de granulats contenant de la silice réactive ;
- une teneur élevée en alcalis dans le béton.

En milieu humide, il est donc recommandé d'utiliser un ciment LA chaque fois que la provenance des granulats est incertaine ou lorsque ceux-ci peuvent avoir des origines différentes, ainsi que lorsqu'il y a le moindre doute au sujet de la non-sensibilité des granulats vis-à-vis de la RAS.

Les dégradations dues à la réaction alcali-silice se présentent sous forme d'un réseau de fissures important. L'expérience et de nombreux travaux de recherches ont démontré que l'application d'un ciment à teneur limitée en alcalis LA empêche la réaction alcali-silice.

Les ciments courants à teneur limitée en alcalis sont les suivants :

- CEM I LA
- CEM III/A LA
- CEM III/B LA
- CEM III/C LA
- CEM V/A (S-V) LA

Outre les exigences de composition et les spécifications physiques, mécaniques et chimiques reprises aux *tableaux 1*, *2* et *3*, les ciments courants à teneur limitée en alcalis doivent répondre aux impositions reprises au *tableau 7* conformément à la norme NBN B 12-109.

Types de ciment	Propriétés	Classes de résistance	Exigences [%]
CEM I LA	Teneur en Na_2O équivalent (*)	Toutes les classes	≤ 0,60
CEM III/A LA		Toutes les classes	≤ 0,90 si S < 50 % (**)
			≤ 1,10 si S ≥ 50 % (**)
CEM III/B LA		Toutes les classes	≤ 1,30
CEM III/C LA		Toutes les classes	≤ 2,00
CEM V/A (S-V) LA		Toutes les classes	≤ 1,50

(*) Le % de Na_2O équivalent du ciment est calculé comme suit : % Na_2O_{eq} = % Na_2O + 0,658 x % K_2O
(**) S = teneur en laitier de haut fourneau

Tableau 7 – Exigences supplémentaires pour les ciments courants à teneur limitée en alcalis

Pour les bétons routiers, les cahiers des charges-types exigent l'utilisation d'un ciment CEM I ou CEM III/A, tous deux de classe de résistance minimale 42,5 N et à teneur limitée en alcalis LA. (photos C. Ployaert)

· LES CIMENTS PORTLAND À HAUTE RÉSISTANCE INITIALE « HES » (NBN B 12-110)

Grâce à leur résistance à la compression à 1 jour très élevée (10, 15 ou 20 MPa), les ciments Portland CEM I HES sont particulièrement indiqués chaque fois qu'un décoffrage ou une mise en service rapides sont souhaités. Les ciments HES sont limités au type CEM I et aux classes 42,5 R et supérieures.

Outre les exigences de composition et les spécifications physiques, mécaniques et chimiques reprises aux *tableaux 1*, *2* et *3*, les ciments à haute résistance initiale doivent répondre aux impositions reprises au *tableau 8* conformément à la norme NBN B 12-110.

Types de ciment	Propriétés	Classes de résistance	Exigences [MPa]
CEM I HES	Résistance à la compression à 1 jour	32,5 N / 32,5 R / 42,5 N	N'existe pas
		42,5 R	≥ 10,0
		52,5 N	≥ 15,0
		52,5 R	≥ 20,0

Tableau 8 – Exigences supplémentaires pour les ciments à haute résistance initiale

Les ciments Portland HES sont essentiellement utilisés en préfabrication pour des bétons développant des résistances élevées et permettant un décoffrage rapide.
(photos C. Ployaert)

ASPECTS LIÉS A LA SANTÉ

Le ciment sec ne comporte aucun risque pour la santé à condition de ne pas l'inhaler et de se protéger les yeux et la peau de la poussière. Par contre, le ciment humide, le mortier ou le béton frais peuvent avoir une action irritante en cas de contact prolongé avec la peau. Les lésions de la peau (dermatose – eczéma) se développent sans qu'on ressente une douleur au début mais elles peuvent conduire à des irritations, des allergies ou des brûlures (par exemple lors de la mise à genou dans du mortier ou du béton frais, même si un simple pantalon long est porté). L'eczéma est dû soit au pH élevé (de l'ordre de 13) obtenu par l'hydratation du ciment (on parle de dermatose de contact), soit par une réaction immunitaire au Chrome (VI) soluble par nature dans l'eau (on parle de dermatose allergique).

Conformément au règlement européen CE 1907/2006 (REACH), Annexe XVII, le ciment contenant plus de 2 ppm (0,0002 % du poids sec du ciment) de Chrome (VI) soluble doit être traité à l'aide d'un agent réducteur pour diminuer les réactions allergiques. Une condition indispensable pour l'efficacité de la réduction est le stockage approprié dans un endroit sec et le respect de la durée limite d'utilisation mentionnée sur l'emballage ou le bordereau de livraison. A noter que certains ciments, notamment les ciments blancs, sont naturellement conformes à la limite de Chrome VI soluble et ne doivent donc pas être traités. D'autre part, il est permis de commercialiser, par dérogation, des ciments à teneur plus élevée en Chrome VI dans les processus entièrement automatisés.

Le béton de ciment est un matériau qui convient particulièrement bien pour les ouvrages de stockage d'eau. En effet, grâce à l'hydratation du clinker Portland, le béton contient de la chaux qui va neutraliser l'acidité naturelle de l'eau de pluie. De plus, des études ont montré que les matériaux à base de ciment peuvent être considérés tout à fait inoffensifs vis-à-vis de l'environnement en termes de relargage de substances dangereuses et qu'ils peuvent être utilisés avec les eaux destinées à la consommation humaine.
(photo Ecobeton Water Technologies)

7. COMMENT SPECIFIER UN CIMENT ?

Tous les ciments courants doivent porter le marquage CE et comprendre les notations suivantes (*voir schéma ci-contre*):

- le type de ciment précédé de l'acronyme CEM ;
- les lettres A, B ou C précisant la teneur en clinker (à l'exception des ciments Portland – CEM I) ;
- pour les ciments Portland composés (CEM II), la nature des constituants principaux autres que le clinker, éventuellement précédés de la lettre M dans le cas d'un mélange de plusieurs constituants et pour les ciments composés (CEM V), la nature des constituants principaux autres que le clinker;
- une des 3 classes de résistance : 32,5 – 42,5 – 52,5;
- une des 3 classes de résistance à court terme (2 ou 7 jours) : L – N – R
  (L uniquement pour les ciments de haut-fourneau CEM III).

De plus, certains ciments peuvent porter les caractéristiques optionnelles LH ou SR.

Par ailleurs, tous les ciments courants peuvent être couverts par la marque de qualité volontaire BENOR s'ils répondent aux exigences de la PTV 603 et du TRA 600.

Enfin, les ciments peuvent également être dotés de caractéristiques additionnelles définies par les normes NBN B 12-108, NBN B 12-109 et NBN B 12-110. La conformité avec ces normes est attestée par la marque BENOR.

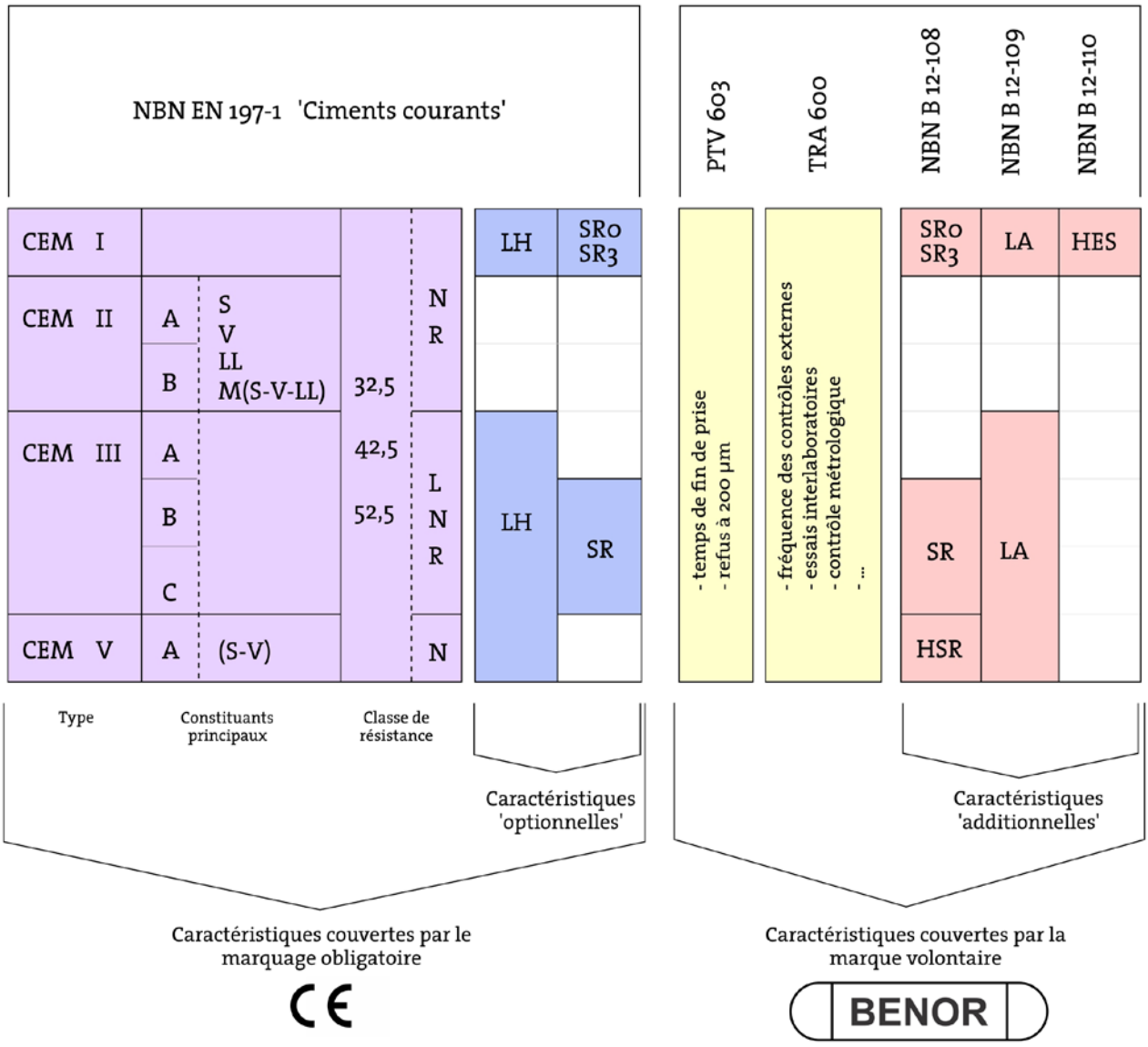
CE + BENOR

EXEMPLES DE PRESCRIPTION D'UN CIMENT :

- Pour les ouvrages soumis à des sels de déverglaçage tels que tous les ouvrages routiers paar exemple (classe d'environnement EE4 selon la NBN B 15-001), le ciment est de type CEM I ou CEM III/A de classe de résistance minimum 42,5 N, et il est LA, c.-à-d. conforme à la norme NBN B 12-109 ;
- Pour les ouvrages en contact avec des sulfates (teneur en sulfates > 500 mg/kg dans l'eau ou > 3000 mg/kg dans le sol), le ciment est un ciment à haute résistance aux sulfates conforme à la NBN B 12-108 ;
- Pour les ouvrages soumis aux classes d'environnement EE1 à EE4 et ES1 à ES4, le ciment est à teneur limitée en alcalis LA conforme à la NBN B 12-109 ;
- Pour les ouvrages de masse de plus de 50 cm d'épaisseur, le ciment est un ciment à faible chaleur d'hydratation LH conforme à la NBN EN 197-1.

Les ciments de haut fourneau CEM III/B et les ciments composés CEM V/A (S-V) conviennent très bien pour les ouvrages en béton en milieux acides comme les silos d'ensilage. décoffrage rapide. (photo FEBELCEM)

CIMENTS : DÉSIGNATION – MARQUAGE « CE » – MARQUE « BENOR »



Exemples de désignations normalisées

CEM III/A 42,5 N	CEM III/A 42,5 N CE BENOR
CEM I 52,5 N SR3 LA	CEM I 52,5 N SR3 CE LA BENOR (*)
CEM II/B-M (LL-S) 32,5 R	CEM II/B-M (LL-S) 32,5 R CE BENOR
CEM I 42,5 R – SR3	CEM I 42,5 R SR3 CE BENOR (*)
CEM I 52,5 R HES	CEM I 52,5 R CE HES BENOR
CEM III/B 32,5 N – LH/SR LA	CEM III/B 32,5 N LH SR CE LA BENOR (*)
CEM V/A (S-V) 32,5 N – LH HSR LA	CEM V/A (S-V) 32,5 N LH CE HSR LA BENOR

(*) SR et SR3 sont également BENOR

Bibliographie

[1] *Le ciment Portland artificiel – Fabrication, propriétés*
Groupement Professionnel des Fabricants de Ciment Portland Artificiel de Belgique
Bruxelles, 1930

[2] *Normes des ciments*
Centre d'Information de l'Industrie cimentière belge
Bulletin n° 10
Bruxelles, 1953

[3] HUBERTY J.M.
Les Ciments – Composition, fabrication, utilisation
Fédération de l'Industrie Cimentière
Bruxelles, 1974

[4] HALLEUX P.
L'Industrie Cimentière au Laboratoire d'Essai des Matériaux de l'Université Libre de Bruxelles
Bruxelles, 1996

[5] *Les constituants des bétons et mortiers*
CIMbéton
Paris, 2005

[6] JOURNAL OFFICIEL DE L'UNION EUROPÉENNE
Directive 2003/53/CE du parlement européen et du conseil
Luxembourg, 2003

Normes ou documents normatifs cités

[7] *NBN EN 197-1 : Ciment – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants*
Bruxelles, NBN, 2011

[8] *NBN EN 197-2 : Ciment – Partie 2 : évaluation de la conformité*
Bruxelles, NBN, 2000

[9] *PTV 603 : Ciments – Caractéristiques additionnelles*
Bruxelles, CRIC-OCCN, 2011

[10] *TRA 600 : Règlement pour l'attribution de la licence d'usage de la marque BENOR aux fabricants de ciment*
Bruxelles, CRIC-OCCN, 2011

[11] *NBN B 12-108 : Ciments – Ciments à haute résistance aux sulfates*
Bruxelles, NBN, 2013

[12] *NBN B 12-109 : Ciments – Ciments à teneur limitée en alcalis*
Bruxelles, NBN, 2013

[13] *NBN B 12-110 : Ciments – Ciments - Ciment Portland à haute résistance initiale*
Bruxelles, NBN, 2002

[14] *NBN B 15-001 : Supplément à la NBN EN 206-1:2001 - Béton - Spécification, performances, production et conformité*
Bruxelles, NBN, 2012

1 – 2
3 – 4
5 – 6
7

1 & 2 : Gand, FPC – dJGA / Abscis
3 : Malines, Croix-Rouge – arch. Poponcini & Lootens
4 : Gand, VAC - arch. Poponcini & Lootens
5 : Hasselt, 'Alverberg' – arch. M. Jamaer
6 : Wuustwezel, 'Amandina' – arch. Llox
7 : St-Trond, 'Triamant' – arch. BURO II & ARCH I+I
© Confédération Construction –
Journée Chantiers Ouverts 2013

[photo dos de couverture : Pascale Hardy]

FEBELCEM

T-5

Ce bulletin est publié par
FEBELCEM
Fédération de l'industrie Cimentière Belge
Bld du souverain 68 – 1170 Bruxelles
tél. 02 645 52 11
www.febelcem.be
info@febelcem.be

Auteur : Ir C. Ployaert

Dépôt légal :
D/2013/0280/08

Ed. resp. : A. Jasienski

infobeton.be