

CIMENT

COMPOSITION, SPÉCIFICATIONS ET CRITÈRES DE CONFORMITÉ DES CIMENTS COURANTS

Nombre de pages : 22

Edition et diffusion : ⌘



**Institut Algérien
de Normalisation**

5, 7 Rue Abou Hamou Moussa- Alger
Tél : 021 64.19.08 Fax : 021 64.17.61
E-mail : ianor@ianor.org
Vente@ianor.org
Cinfo@ianor.org

AVANT PROPOS

La présente norme annule et remplace les normes NA **442** version **2000**. Cette nouvelle version a été adoptée comme norme Algérienne par les membres du comité technique national n° **37: « Liants – Bétons - Granulats »** conformément à la résolution du procès-verbal de réunion n° **03** du **19/04/2004**.

Le contenu technique de la présente norme est équivalent à la **EN 197-1/A1** (2004).

La liste des membres ayant participé à l'adoption de la présente norme est la suivante :

NOM	PRENOM	ORGANISME	STATUT - CTN
BOUCHEFA	Ouahiba	CGS	Président du comité
CHIHEUB	Fadila	IANOR	Secrétaire du comité
SITAYEB	Saïd	COSIDER	Membre du comité
BELAÏD	Abdelouahab	LNHC	Membre du comité
BENMEZAÏ	Yamina	ENHYD	Membre du comité
SAHRANE	Nadia	LCTP	Membre du comité
SAHLAOUI	Ismaïl	LABO / SENCO	Membre du comité
RAHIM	Nabil	SCIMAT	Membre du comité
BENAKILA	Hichem	SIKA.OM	Membre du comité

SOMMAIRE

1. Objet et domaine d'application	4
2. Références	4
3. Définitions	4
4. Ciment	6
5. Constituants	6
5.1 Généralités	6
5.2 Constituants principaux	7
5.3 Constituants secondaires	10
5.4 Sulfate de calcium	11
5.5 Additifs	11
6. Composition et notation	11
7. Exigences mécaniques, physiques, chimiques et de durabilité	13
7.1 Exigences mécaniques	13
7.2 Exigences physiques	13
7.3 Exigences chimiques	14
7.4 Exigences de durabilité	14
8. Désignation normalisée	14
9. Critères de conformité	15
9.1 Exigences générales	15
9.2 Critères de conformité pour les propriétés mécaniques, physiques et chimiques et méthode d'évaluation	15
9.3 Critères de conformité applicables à la composition du ciment	17
9.4 Critères de conformité applicables aux propriétés des constituants du ciment	17

1. Objet et domaine d'application

La NA 442 définit et présente les spécifications de 27 ciments courants différents et de leurs constituants. La définition de chaque ciment inclut les proportions dans lesquelles les constituants doivent être associés pour produire ces produits différents dans une plage de six classes de résistance. La définition comporte également des exigences que les constituants doivent satisfaire ainsi que les exigences mécaniques, physiques et chimiques y compris, le cas échéant, les exigences relatives à la chaleur d'hydratation, applicables à ces 27 produits et aux classes de résistance. La NA 442 établit également les critères de conformité et les règles correspondantes. En outre, il est fait référence aux exigences portant sur la durabilité.

NOTE 1 : En plus de ces exigences, il peut s'avérer utile que le fabricant et l'utilisateur du ciment échangent des informations complémentaires. Les procédures afférentes à un tel échange ne sont pas du domaine d'application de la NA 442, mais il convient qu'elles soient traitées conformément aux normes ou règlements nationaux ; elles peuvent également faire l'objet d'un accord entre les parties concernées.

NOTE 2 : Sauf spécification contraire, le mot «ciment» est uniquement utilisé dans la NA 442 pour qualifier les ciments courants.

2. Références

- NA 230 Méthodes d'essais des ciments – Détermination du temps de prise et de la stabilité.
- NA 231 Méthodes d'essais des ciments – Détermination de la finesse.
- NA 234 Méthodes d'essais des ciments – Détermination des résistances mécaniques.
- NA 254 Méthodes d'essais des ciments – Méthodes de prélèvement et d'échantillonnage du ciment.
- NA 1952 Méthodes d'essais des ciments – Essai de pouzzolanité des ciments pouzzolaniques.
- NA 5040 Ciments – Evaluation de la conformité.
- NA 5042 Méthodes d'essais des ciments – Analyse chimique des ciments.
- NA 8300 Tamis de contrôle - Exigences techniques et vérifications - Tamis de contrôle en tissus métalliques.
- NA 1948 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Détermination des fines – Essai au bleu de méthylène.
- NA 775 Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Adjuvants pour béton – Définitions et exigences.
- NA 4340 Détermination de l'aire massique (surface spécifique) des solides par absorption de gaz à l'aide de la méthode BET.
- NA 5082 Méthode d'essai des cendres volantes – Détermination de la teneur en oxyde de calcium libre
- NA 5097 Méthodes d'essais des ciments - Chaleur d'hydratation - Méthode par dissolution.
- NA 5061 Méthodes d'essais des ciments - Chaleur d'hydratation - Méthode semi-adiabatique.

3. Définitions

Pour les besoins de la NA 442, les définitions suivantes s'appliquent :

Oxyde de calcium réactif (CaO)

Proportion du CaO qui, dans des conditions normales de durcissement, peut former des silicates de calcium hydratés ou des aluminates de calcium hydratés

NOTE : Pour évaluer cette proportion, retrancher de la teneur totale en oxyde de calcium (CaO) (voir NA 5042) la proportion correspondant au carbonate de calcium (CaCO_3) calculée sur la base de la teneur mesurée en dioxyde de carbone (CO_2) et la proportion correspondant au sulfate de calcium (CaSO_4) calculée sur la base de la teneur mesurée en sulfate (SO_3) (voir NA 5042), déduction faite de la quantité de SO_3 fixée par les alcalins.

Dioxyde de silicium réactif (SiO_2)

Proportion de SiO_2 soluble après traitement dans l'acide chlorhydrique (HCl) et dans une solution en ébullition d'hydroxyde de potassium (KOH).

NOTE : La quantité de SiO_2 réactif est déterminée en retranchant de la teneur totale en SiO_2 (voir NA 5042) la proportion contenue dans le résidu insoluble dans l'acide chlorhydrique et dans l'hydroxyde de potassium (voir NA 5042), toutes deux étant déterminées sur échantillon sec.

Constituant principal

Matériau minéral spécialement choisi, représentant une proportion supérieure à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires.

Constituant secondaire

Matériau minéral spécialement choisi, représentant une proportion inférieure ou égale à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires.

Type de ciment courant

Un des 27 produits (voir tableau 1) de la famille des ciments courants.

Classe de résistance du ciment

Classe de résistance à la compression.

Essai d'autocontrôle

Essai effectué en continu par le fabricant sur des échantillons ponctuels de ciment prélevés au(x) point(s) de délivrance du produit de l'usine ou du dépôt.

Période de contrôle

Période de production et de distribution identifiée pour l'évaluation des résultats des essais d'autocontrôle.

Valeur caractéristique

Valeur correspondant à une propriété requise en dehors de laquelle se situe un pourcentage spécifié, le percentile P_k , de toutes les valeurs de la population étudiée.

Valeur caractéristique spécifiée

Valeur caractéristique d'une propriété mécanique, physique ou chimique qui, dans le cas d'une limite supérieure, ne peut être dépassée ou, dans le cas d'une limite inférieure, doit au moins être atteinte.

Valeur limite applicable à chacun des résultats

Valeur correspondant à une propriété mécanique, physique ou chimique, et qui pour aucun des résultats d'essais ne peut être dépassée, dans le cas d'une limite supérieure, ou doit, au minimum être atteinte, dans le cas d'une limite inférieure.

Probabilité admissible d'acceptation CR

Dans un plan d'échantillonnage donné, probabilité admissible d'acceptation d'un ciment comportant une valeur caractéristique hors de la valeur caractéristique spécifiée.

Plan d'échantillonnage

Plan spécifique définissant l'effectif (statistique) de l'échantillon à utiliser, le percentile P_k et la probabilité admissible d'acceptation CR.

Échantillon ponctuel

Échantillon prélevé à un instant et à un endroit donnés, en fonction des essais prévus. Il peut être obtenu par une prise ou la combinaison de plusieurs prises élémentaires immédiatement consécutives (voir 254).

Chaleur d'hydratation

Quantité de chaleur développée par l'hydratation d'un ciment en un temps donné.

Ciment courant à faible chaleur d'hydratation

Ciment courant caractérisé par une chaleur d'hydratation limitée.

4. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire 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 NA 442, 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, tels que, par exemple, les aluminates. Dans les ciments CEM, la somme des quantités relatives d'oxyde de calcium (CaO) et de dioxyde de silicium (SiO₂) réactifs doit représenter une proportion au moins égale à 50 % en masse, lorsqu'elles sont déterminées selon la NA 5042.

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. Le lien entre ces processus de production et de manutention et la conformité du ciment à la NA 442 est défini dans la NA 5040.

NOTE : Il existe également des ciments dont le durcissement est principalement dû à la présence d'autres composants, par exemple l'aluminate de calcium dans le ciment d'aluminates de calcium.

5. Constituants

5.1 Généralités

Les exigences portant sur les constituants spécifiés dans les paragraphes 5.2 à 5.5 doivent, en principe, être déterminées conformément aux méthodes d'essais décrites dans la NA 5042, sauf spécifications contraires.

5.2 Constituants principaux

5.2.1 Clinker Portland (K)

Le clinker Portland est obtenu par calcination d'un mélange fixé avec précision de matières premières (farine crue, pâte) contenant des éléments couramment exprimés en oxydes CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 et de petites quantités d'autres matières. La farine crue ou la pâte, qui est finement divisée et intimement mélangée, est donc homogène.

Le clinker Portland est un matériau hydraulique qui doit être constitué d'au moins deux tiers en masse de silicates de calcium ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ et $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), la partie restante étant constituée de phases contenant de l'aluminium et du fer, ainsi que d'autres composants. Le rapport massique (CaO) / (SiO_2) ne doit pas être inférieur à 2,0. La teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5,0 % en masse.

5.2.2 Laitier granulé de haut fourneau (S)

Le laitier granulé de haut fourneau est obtenu par refroidissement rapide du laitier fondu de composition adaptée provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau ; il contient au moins deux tiers en masse de laitier vitreux et présente des propriétés hydrauliques après avoir subi une activation convenable.

Le laitier granulé de haut fourneau doit être constitué d'au moins deux tiers en masse de la somme de l'oxyde de calcium (CaO), l'oxyde de magnésium (MgO) et du dioxyde de silicium (SiO_2). Le restant contient de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) ainsi que de faibles quantités d'autres composants. Le rapport massique ($\text{CaO} + \text{MgO}$) / (SiO_2) doit être supérieur à 1,0.

5.2.3 Matériaux pouzzolaniques (P, Q)

5.2.3.1 Généralités

Les matériaux pouzzolaniques sont des substances naturelles siliceuses ou silico-alumineuses, ou une combinaison de celles-ci. Bien que les cendres volantes et les fumées de silice aient des propriétés pouzzolaniques, leurs spécifications font l'objet d'articles séparés (voir 5.2.4 et 5.2.7).

Les matériaux pouzzolaniques ne durcissent pas par eux-mêmes lorsqu'ils sont mélangés avec de l'eau mais, lorsqu'ils sont finement broyés, ils réagissent à température ambiante, en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ dissous, pour former des composés de silicates de calcium et d'aluminates de calcium générateurs de résistances. Ces composés sont comparables à ceux qui sont formés lors du durcissement des matériaux hydrauliques. Les pouzzolanes sont composées essentiellement de SiO_2 réactif et d' Al_2O_3 . La partie restante contient de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres oxydes. La proportion de CaO réactif est négligeable vis-à-vis du durcissement. La teneur en SiO_2 réactif doit être au moins égale à 25 % en masse.

Les matériaux pouzzolaniques doivent être convenablement préparés, c'est-à-dire sélectionnés, homogénéisés, séchés ou traités thermiquement et réduits en poudre, en fonction de leur état à la production ou à la livraison.

5.2.3.2 Pouzzolane naturelle (P)

Les pouzzolanes naturelles sont en général des matériaux d'origine volcanique ou bien des roches sédimentaires ayant une composition chimique et minéralogique appropriée et elles doivent être conformes à 5.2.3.1.

5.2.3.3 Pouzzolane naturelle (Q)

Les pouzzolanes naturelles calcinées sont des matériaux d'origine volcanique, des argiles, des schistes ou des roches sédimentaires, activés thermiquement ; elles doivent être conformes à 5.2.3.1.

5.2.4 Cendres volantes (V, W)

5.2.4.1 Généralités

Les cendres volantes sont obtenues par précipitation électrostatique ou mécanique de particules pulvérulentes contenues dans les fumées des chaudières alimentées au charbon pulvérisé. Les cendres obtenues par d'autres méthodes ne doivent pas être utilisées dans les ciments conformes à la NA 442.

Les cendres volantes peuvent être de nature siliceuse ou calcique. Les premières ont des propriétés pouzzolaniques; les dernières peuvent avoir, en plus, des propriétés hydrauliques. La perte au feu des cendres volantes, déterminée conformément à la norme NA 5042, mais avec un temps de calcination de 1 h, ne doit pas excéder 5,0 % en masse.

Il est également possible d'accepter des cendres volantes dont la perte au feu est comprise entre 5,0 % et 7,0 % en masse, à condition que les exigences particulières de durabilité, et notamment en ce qui concerne la résistance au gel, et la compatibilité avec les adjuvants, soient respectées, en application des normes et/ou règlements en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton ou du mortier. Dans le cas de cendres volantes dont la perte au feu est comprise entre 5,0 % et 7,0 % en masse, la limite maximale de 7,0 % doit être mentionnée sur l'emballage et/ou sur le bon de livraison du ciment.

5.2.4.2 Cendre volante siliceuse (V)

La cendre volante siliceuse est une poudre fine constituée de particules principalement sphériques ayant des propriétés pouzzolaniques. Elle est essentiellement constituée de silice (SiO_2) réactive et d'alumine (Al_2O_3). Le restant contient de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres composants.

La proportion d'oxyde de calcium (CaO) réactif doit être inférieure à 10,0 % en masse, la teneur en oxyde de calcium libre, déterminée par la méthode décrite dans la NA 5082, ne devant pas dépasser 1,0 % en masse. La cendre volante ayant une teneur en oxyde de calcium libre supérieure à 1,0 % en masse, mais inférieure à 2,5 % en masse est également acceptable, à condition que l'exigence concernant l'expansion (stabilité) n'excède pas 10 mm, lorsqu'elle est déterminée conformément à la NA 230, sur un mélange composé de 30 % en masse de cendre volante siliceuse et de 70 % en masse d'un ciment CEM I conforme à la NA 442.

La teneur en silice (SiO_2) réactive ne doit pas être inférieure à 25 % en masse.

5.2.4.3 Cendre volante calcique (W)

La cendre volante calcique est une poudre fine ayant des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques. Elle est essentiellement constituée d'oxyde de calcium (CaO) réactif, de silice (SiO_2) réactive et d'alumine (Al_2O_3). Le restant contient de l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'autres composants. La proportion d'oxyde de calcium (CaO) réactif ne doit pas être inférieure à 10,0 % en masse. La cendre volante calcique contenant entre 10,0 % et 15,0 %

en masse d'oxyde de calcium (CaO) réactif, doit contenir au moins 25,0 % en masse de silice (SiO₂) réactive.

La cendre volante calcique, contenant plus de 15 % en masse d'oxyde de calcium (CaO) réactif, convenablement broyée, doit présenter une résistance à la compression d'au moins 10,0 MPa à 28 jours lorsqu'elle est essayée selon la NA 234. Avant l'essai, la cendre volante doit être broyée et sa finesse, exprimée sous forme du pourcentage en masse du refus au tamis à 40 µm, après tamisage par voie humide, doit être comprise entre 10 % et 30 % en masse. Le mortier doit être préparé à partir de cendres volantes calciques broyées seules, au lieu du ciment. Les éprouvettes de mortier doivent être démoulées 48 h après leur préparation, puis conservées en atmosphère humide d'au moins 90 % d'humidité relative jusqu'à l'essai.

L'expansion (stabilité) des cendres volantes calciques ne doit pas dépasser 10 mm lorsqu'elle est déterminée conformément à la NA 230 sur un mélange contenant 30 % en masse de cendres volantes calciques broyées comme décrit plus haut et 70 % en masse d'un ciment CEM I conforme à la NA 442.

NOTE : Si la teneur en sulfate (SO₃) de la cendre volante excède la limite supérieure admissible pour la teneur en sulfate du ciment, cette donnée doit être prise en compte dans la fabrication du ciment en réduisant en conséquence la quantité des constituants contenant des sulfates de calcium.

5.2.5 Schiste calciné (T)

Le schiste calciné, et en particulier le schiste bitumineux calciné, est produit dans un four spécial à une température d'environ 800 °C. En raison de la composition des matériaux naturels et du procédé de production, le schiste calciné contient des phases du clinker, principalement du silicate bicalcique et de l'aluminate monocalcique. Il contient également, outre de petites quantités de chaux libre et de sulfate de calcium, des quantités plus importantes d'oxydes réagissant de façon pouzzolanique, notamment SiO₂. En conséquence, le schiste calciné finement broyé présente, outre des propriétés pouzzolaniques, des propriétés fortement hydrauliques, comme le ciment Portland.

Déterminée conformément à la NA 234, la résistance à la compression à 28 jours du schiste calciné convenablement broyé doit être supérieure ou égale à 25,0 MPa. Le mortier doit être préparé à partir de schiste calciné finement broyé seul, au lieu du ciment. Les éprouvettes de mortier doivent être démoulées 48 h après leur préparation et conservées en atmosphère humide d'au moins 90 % d'humidité relative jusqu'à l'essai.

Déterminée conformément à la NA 230, sur un mélange contenant 30 % en masse de schiste calciné broyé et 70 % en masse d'un ciment CEM I conforme à la NA 442, l'expansion (stabilité) du schiste calciné ne doit pas dépasser 10 mm.

NOTE : Si la teneur en sulfate (SO₃) du schiste calciné excède la limite supérieure admissible pour la teneur en sulfate du ciment, cette donnée doit être prise en compte dans la fabrication du ciment en réduisant en conséquence la quantité des constituants contenant des sulfates de calcium.

5.2.6 Calcaire (L, LL)

Le calcaire doit respecter les exigences suivantes :

- a) La teneur en carbonate de calcium (CaCO₃) calculée à partir de la teneur d'oxyde de calcium (CaO) doit être supérieure ou égale à 75 % en masse ;

- b) La teneur en argile déterminée par l'essai au bleu de méthylène conformément à la NA 1948 ne doit pas être supérieure à 1,20 g/100 g. Cet essai implique que le calcaire soit broyé à une finesse d'environ 5 000 cm²/g déterminée en termes d'aire massique, conformément à la NA 231;
- c) La teneur totale en carbone organique (TOC) doit, lorsqu'elle est déterminée selon la NA 8300, être conforme à l'un des critères suivants :
 - LL : inférieure à 0,20 % en masse.
 - L : inférieure à 0,50 % en masse.

5.2.7 Fumée de silice (D)

La fumée de silice provient de la réduction de quartz de grande pureté par du charbon dans des fours à arc électrique utilisés pour la production de silicium et d'alliages de ferrosilicium ; elle est formée de particules sphériques contenant au moins 85 % en masse en silice amorphe.

La fumée de silice doit satisfaire aux exigences suivantes :

- a) La perte au feu, déterminée conformément à la NA 5042, mais avec un temps de calcination de 1 h, doit être inférieure ou égale à 4,0 % en masse ;
- b) L'aire massique (BET) de la fumée de silice non traitée, déterminée conformément à la NA 4340, doit être supérieure ou égale à 15,0 m²/g.

Lorsqu'elle est destinée à être cobroyée avec du clinker et du sulfate de calcium, la fumée de silice peut être soit dans son état d'origine, soit densifiée, soit granulée (avec de l'eau).

5.3 Constituants secondaires

Les constituants secondaires sont spécialement sélectionnés ; ce sont des matériaux minéraux naturels, ou des matériaux minéraux dérivés du processus de fabrication du clinker ou des constituants spécifiés en 5.2, sauf s'ils sont déjà inclus en tant que constituants principaux du ciment.

Les constituants secondaires améliorent les propriétés physiques des ciments (telles que l'ouvrabilité ou la rétention d'eau), après une préparation adaptée et du fait de leur granulométrie. Ils peuvent être inertes ou présenter des propriétés faiblement hydrauliques, hydrauliques latentes ou pouzzolaniques. Aucune exigence vis-à-vis de ces propriétés n'est toutefois établie.

Les constituants secondaires doivent être préparés correctement, c'est-à-dire qu'ils doivent être sélectionnés, homogénéisés, séchés et pulvérisés, en fonction de leur état à la production ou à la livraison. Ils ne doivent pas accroître sensiblement la demande en eau du ciment, ni diminuer en aucune manière la résistance du béton ou du mortier à la détérioration, ni diminuer la protection des armatures contre la corrosion.

NOTE : Il convient que le fabricant fournisse, sur demande, des renseignements relatifs aux constituants secondaires du ciment.

5.4 Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium est ajouté aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, pour réguler la prise.

Le sulfate de calcium peut être du gypse (sulfate de calcium dihydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), de l'hémihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), de l'anhydrite (sulfate de calcium anhydre CaSO_4) ou tout mélange de ceux-ci. Le gypse et l'anhydrite existent à l'état naturel. Le sulfate de calcium existe également sous forme de sous-produit de certains procédés industriels.

5.5 Additifs

Les additifs au sens de la NA 442 sont des constituants qui ne figurent pas dans les paragraphes 5.2 à 5.4 et qui sont ajoutés pour améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment.

La quantité totale des additifs doit être inférieure ou égale à 1,0 % en masse de ciment (exception faite des pigments). La proportion des additifs organiques, sous forme d'extrait sec, doit être inférieure ou égale à 0,5 % en masse du ciment.

Ces additifs ne doivent pas favoriser la corrosion des armatures ni altérer les propriétés du ciment ou du béton ou du mortier fabriqué avec ce ciment.

Lorsque des adjuvants du béton, mortier ou coulis conformes aux différentes parties de la NA 775 sont utilisés dans le ciment, la notation normalisée leur correspondant doit figurer sur l'emballage ou le bon de livraison.

6. Composition et notation

Le Tableau 1 donne les 27 produits de la famille des ciments courants traités dans cette norme ainsi que leurs notations. Ils sont regroupés en cinq types principaux qui sont les suivants :

- CEM I Ciment Portland ;
- CEM II Ciment Portland composé ;
- CEM III Ciment de haut fourneau ;
- CEM IV Ciment pouzzolanique ;
- CEM V Ciment composé.

La composition des différents ciments doit être conforme au Tableau 1.

NOTE : Pour la clarté des définitions, les exigences portant sur la composition font référence à la somme des constituants principaux et secondaires. Le ciment produit fini doit être compris comme la somme des constituants principaux et secondaires, plus le sulfate de calcium nécessaire (voir 5.4) et tous additifs (voir 5.5).

Tableau 1 : Les 27 produits de la famille des ciments courants

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires
			Constituants principaux										
			Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné	Calcaire		
						Naturelle	Naturelle calcinée	Siliceuse	Calciq				
K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T	L	LL				
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	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 à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	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
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 →									0-5
		CEM II/B-M	65-79	← 21-35 →									0-5
CEM 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
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	← 11-35 →					—	—	—	0-5
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 →					—	—	—	0-5
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →			—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →			—	—	—	—	0-5

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.

b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.

c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM II/A-M et CEM II/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'article 8).

7. Exigences mécaniques, physiques, chimiques et de durabilité

7.1 Exigences mécaniques

7.1.1 Résistance courante

La résistance courante d'un ciment est la résistance à la compression déterminée conformément à la norme NA 234, mesurée à 28 jours. Elle doit être conforme aux exigences du Tableau 2.

Trois classes de résistance courante sont couvertes : classe 32,5 ; classe 42,5 ; classe 52,5 (voir Tableau 2).

7.1.2 Résistance à court terme

La résistance à court terme d'un ciment est la résistance à la compression, déterminée conformément à la norme NA 234, après 2 ou 7 jours. Elle doit être conforme aux exigences du Tableau 2.

À chaque classe de résistance courante, correspondent deux classes de résistance à court terme, une classe de résistance à court terme ordinaire, notée N, et une classe de résistance à court terme élevée, notée R (voir Tableau 2).

Tableau 2 : Exigences mécaniques et physiques définies en termes de valeurs caractéristiques

Classe de résistance	Résistance à la compression				Temps de début de prise	Stabilité (expansion)
	MPa					
	Résistance à court terme		Résistance courante			
	2 jours	7 jours	28 jours		min	mm
32,5 N	—	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	—				
42,5 N	≥ 10,0	—	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20,0	—				
52,5 N	≥ 20,0	—	≥ 52,5	—	≥ 45	
52,5 R	≥ 30,0	—				

7.2 Exigences physiques

7.2.1 Temps de début de prise

Déterminé selon la NA 230, le temps de début de prise doit satisfaire aux exigences du Tableau 2.

7.2.2 Stabilité

Déterminée selon la NA 230, l'expansion doit satisfaire aux exigences du Tableau 2.

7.2.3 Chaleur d'hydratation

La chaleur d'hydratation des ciments courants à faible chaleur d'hydratation ne doit pas dépasser la valeur caractéristique de 270 J/g, déterminée selon la NA 5097 après 7 jours ou selon la NA 5061 après 41 h.

Les ciments courants à faible chaleur d'hydratation sont désignés par les lettres LH.

NOTE 1 : Une recherche pré-normatif a démontré que les résultats de l'essai réalisé selon la NA 5097 après 7 jours sont équivalents aux résultats obtenus avec l'essai effectué selon la NA 5061 après 41 h. Néanmoins, en cas de litige entre les laboratoires, il convient que la méthode à appliquer fasse l'objet d'un accord.

NOTE 2 : Un ciment présentant une valeur de chaleur d'hydratation plus élevée est adapté à certaines applications. Il est nécessaire que cette valeur fasse l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur et que le ciment ne soit pas identifié comme un ciment à faible chaleur d'hydratation (LH).

7.3 Exigences chimiques

Déterminées conformément aux normes citées dans la colonne 2 du Tableau 3, les propriétés des ciments des types et classes de résistance figurant respectivement aux colonnes 3 et 4 de ce tableau doivent être conformes aux valeurs figurant à la colonne 5.

NOTE : Certains pays ont des exigences supplémentaires applicables à la teneur en chrome hexavalent soluble dans l'eau.

7.4 Exigences de durabilité

Dans de nombreuses applications, et notamment dans des conditions environnementales particulièrement sévères, le choix du ciment a une influence sur la durabilité du béton, du mortier et des coulis, par exemple vis-à-vis de la résistance au gel, de la résistance à l'action de substances chimiques, et vis-à-vis de la protection des armatures.

Le choix du ciment à partir de la NA 442, en particulier le choix du type et de la classe de résistance, en fonction de l'utilisation et de la classe d'exposition, doit se faire en appliquant les normes et/ou règlements relatifs au béton ou au mortier, en vigueur sur le lieu d'utilisation.

8. Désignation normalisée

Les ciments CEM doivent être identifiés au minimum par la notation du type de ciment spécifiée dans le Tableau 1, suivie des nombres 32,5 ; 42,5 ou 52,5 indiquant la classe de résistance (voir 7.1). Pour indiquer la classe de résistance à court terme, on doit ajouter la lettre N ou la lettre R, selon le cas (voir 7.1).

Les ciments courants à faible chaleur d'hydratation doivent, en outre, être identifiés par la notation complémentaire LH.

EXEMPLE 1 : Un ciment Portland conforme à la NA 442, appartenant à la classe de résistance 42,5, et présentant une résistance à court terme élevée, est identifié par :

Ciment Portland NA 442 — CEM I 42,5 R

NA 442

EXEMPLE 2 : Un ciment Portland au calcaire contenant entre 6 % et 20 % en masse de calcaire, avec une teneur TOC inférieure ou égale à 0,50 % en masse (L), appartenant à la classe de résistance 32,5, et présentant une résistance à court terme ordinaire, est identifié par :

Ciment Portland au calcaire NA 442 — CEM II/A-L 32,5 N

EXEMPLE 3 : Un ciment Portland composé contenant au total une quantité de laitier granulé de haut fourneau (S), de cendres volantes siliceuses (V) et de calcaire (L) comprise entre 6 et 20 % en masse, appartenant à la classe de résistance 32,5, et présentant une résistance à court terme élevée, est identifié par :

Ciment Portland composé NA 442 — CEM II/A-M (S-V-L) 32,5 R

EXEMPLE 4 : Un ciment composé contenant de 18 % à 30 % en masse de laitier granulé de haut fourneau (S), et de 18 % à 30 % en masse de cendres volantes siliceuses (V) appartenant à la classe de résistance 32,5, et présentant une résistance à court terme ordinaire, est identifié par :

Ciment composé NA 442 — CEM V/A (S-V) 32,5 N

De plus, pour les ciments courants à faible chaleur d'hydratation :

EXEMPLE 5 : Un ciment de haut fourneau, conforme à la NA 442, contenant de 66 % à 80 % en masse de laitier granulé de haut fourneau (S), appartenant à la classe de résistance 32,5 et présentant une résistance à court terme ordinaire et une faible chaleur d'hydratation, est identifié par :

Ciment de haut fourneau NA 442 — CEM III/B 32,5 N — LH.

9. Critères de conformité

9.1 Exigences générales

La conformité des 27 produits à la NA 442 doit être évaluée en continu sur la base d'essais effectués sur des échantillons ponctuels. Les propriétés, les méthodes d'essai et les fréquences minimales d'essais applicables pour les essais d'autocontrôle du fabricant sont spécifiées dans le Tableau 4. En ce qui concerne la fréquence des essais de ciment ne faisant pas l'objet d'une distribution ininterrompue ainsi que pour d'autres détails, voir la NA 5040.

Pour la certification de conformité par un organisme de certification agréé, la conformité du ciment à la NA 442 doit être évaluée conformément à la NA 5040.

NOTE : La NA 442 ne traite pas du contrôle de réception à la livraison.

9.2 Critères de conformité pour les propriétés mécaniques, physiques et chimiques et méthode d'évaluation

9.2.1 Généralités

Le ciment est réputé conforme aux exigences portant sur les propriétés mécaniques, physiques et chimiques énoncées dans la NA 442 si les critères de conformité spécifiés en 9.2.2 et 9.2.3 sont remplis. La conformité doit être évaluée sur la base d'un échantillonnage

continu sur des échantillons ponctuels prélevés aux points de délivrance du produit et sur la base des résultats d'essai obtenus sur l'ensemble des échantillons d'autocontrôle prélevés au cours de la période de contrôle.

9.2.2 Critères statistiques de conformité

9.2.2.1 Généralités

La conformité doit être formulée en termes de critère statistique fondé sur :

- Les propriétés mécaniques, physiques et chimiques requises définies en termes de valeurs caractéristiques spécifiées comme indiqué en 7.1, 7.2 et 7.3 de la NA 442;
- Le percentile P_k sur lequel la définition de la valeur caractéristique spécifiée est fondée, indiqué dans le Tableau 5 ;
- La probabilité admissible d'acceptation CR, indiquée dans le Tableau 5.

NOTE : L'évaluation de la conformité par une méthode fondée sur un nombre fini de résultats d'essais ne peut que donner une valeur approximative du pourcentage de résultats de la population étudiée s'écartant de la valeur caractéristique. Plus l'effectif de l'échantillon (nombre de résultats d'essais) est important, meilleure est l'approximation. La probabilité d'acceptation choisie CR conditionne le degré d'approximation du plan d'échantillonnage.

La conformité aux exigences de la NA 442 doit être vérifiée par mesures ou par attributs, comme décrit en 9.2.2.2 et 9.2.2.3, comme spécifié dans le Tableau 4.

La période de contrôle doit durer 12 mois.

9.2.2.2 Contrôle par mesures

Ce contrôle part de l'hypothèse que les résultats d'essais suivent une distribution normale. La conformité est vérifiée si les équations (1) et (2), selon le cas, sont satisfaites :

$$\bar{x} - k_A \times s \geq L$$

Et

$$\bar{x} + k_A \times s \leq U$$

Où :

- $\bar{x}$ Est la moyenne arithmétique de l'ensemble des résultats des essais d'autocontrôle obtenus au cours de la période de contrôle ;
- s Est l'écart type sur l'ensemble des résultats des essais d'autocontrôle obtenus au cours de la période de contrôle ;
- k_A Est la constante d'acceptabilité ;
- L Est la limite inférieure spécifiée donnée dans le Tableau 2 et dont il est question en 7.1 ;
- U Est la limite supérieure spécifiée donnée dans les Tableaux 2 et 3, et dont il est question à l'article 7.

La constante d'acceptabilité k_A est fonction du percentile P_k sur lequel la définition de la valeur caractéristique est fondée, de la probabilité admissible d'acceptation CR et du nombre n de résultats d'essai. Les valeurs de k_A sont énumérées dans le Tableau 6.

9.2.2.3 Contrôle par attributs

Le nombre c_D de résultats d'essais s'écartant de la valeur caractéristique doit être compté et comparé avec un nombre acceptable c_A , calculé à partir du nombre n de résultats d'essais d'autocontrôle et du percentile P_k , tel qu'il est spécifié dans le Tableau 7.

La conformité est vérifiée si cette équation est satisfaite :

$$c_D \leq c_A$$

La valeur de c_A dépend du percentile P_k sur lequel la définition de la valeur caractéristique est fondée, de la probabilité admissible d'acceptation CR, et d'un nombre n de résultats d'essais. Les valeurs de c_A sont énumérées dans le Tableau 7.

9.2.3 Critères de conformité applicables à chacun des résultats

Outre les critères statistiques de conformité, la conformité des résultats d'essais aux exigences de la NA 442 implique de vérifier que chacun des résultats d'essais respecte la valeur limite spécifiée lui correspondant et figurant dans le Tableau 8.

9.3 Critères de conformité applicables à la composition du ciment

Le fabricant doit vérifier au moins une fois par mois la composition du ciment en utilisant, en règle générale, un échantillon ponctuel prélevé au point de délivrance du ciment. La composition du ciment doit respecter les exigences spécifiées dans le Tableau 1. Les teneurs limites spécifiées pour les constituants principaux indiquées dans le Tableau 1 sont des valeurs de référence que les valeurs moyennes de composition calculées à partir d'échantillons ponctuels prélevés pendant la période de contrôle doivent respecter. Pour chaque résultat individuel, des écarts maximaux de -2 , pour la valeur de référence la plus basse, et de $+2$, pour la valeur de référence la plus élevée, sont autorisés. Les procédures en cours de production et les méthodes de vérification permettant de garantir le respect de cette exigence doivent être appliquées et formalisées par écrit.

9.4 Critères de conformité applicables aux propriétés des constituants du ciment

Les constituants du ciment doivent respecter les exigences spécifiées à l'article 5. Les procédures utilisées en cours de production pour garantir le respect de cette exigence doivent être appliquées et formalisées par écrit.

Tableau 3 : Exigences chimiques définies en termes de valeurs caractéristiques

1	2	3	4	5
Propriétés	Référence de l'essai	Type de ciment	Classe de résistance	Exigences ^{a)}
Perte au feu	NA 5042	CEM I CEM III	Toutes classes	≤ 5,0 %
Résidu insoluble	NA 5042 ^{b)}	CEM I CEM III	Toutes classes	≤ 5,0 %
Sulfates (SO ₃)	NA 5042	CEM I CEM II ^{c)} CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5 %
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III ^{d)}	Toutes classes	
Chlorure	NA 5042	Tous tipes ^{e)}	Toutes classes	≤ 0,10 % ^{f)}
Pouzzolanité	NA 1952	CEM IV	Toutes classes	Satisfait à l'essai

a) Les exigences sont données en pourcentage en masse du ciment produit fini.

b) Détermination des résidus insolubles dans l'acide chlorhydrique et le carbonate de sodium.

c) Le ciment de type CEM II / B-T peut contenir un maximum de 4,5 % de SO₃ quelle que soit la classe de résistance.

d) Le ciment de type CEM III / C peut contenir un maximum de 4,5 % de SO₃.

e) Le ciment de type CEM III peut contenir plus de 0,10 % de chlorure mais, dans ce cas, la teneur maximale en chlorure doit figurer sur l'emballage et / ou le bon de livraison.

f) Pour des applications en précontrainte, les ciments peuvent être produits selon une exigence plus basse. Dans ce cas, la valeur de 0,10 % doit être remplacée par cette valeur plus basse qui doit être mentionnée sur le bon de livraison.

Tableau 4 : Propriétés, méthodes d'essais et fréquences minimales d'essais pour les essais d'autocontrôle du fabricant, et méthode d'évaluation statistique

Propriétés	Ciments à soumettre aux essais	Méthode d'essai ^{a) b)}	Essai d'autocontrôle			
			Fréquence minimale d'essai		Méthode d'évaluation statistique	
			Situation courante	Période d'admission pour un nouveau type de ciment	Mesures ^{e)}	attributs
1	2	3	4	5	6	7
Résistance à court terme	Tous	NA 234	2/ semaine	4/ semaine	X	
Résistance courante						
Temps de début de prise	Tous	NA 230	2/ semaine	4/ semaine		X ^{f)}
Stabilité (expansion)	Tous	NA 230	1/ semaine	4/ semaine		X
Perte au feu	CEM I, CEM III	NA 5042	2/ mois ^{c)}	1/ semaine		X ^{f)}
Résidu insoluble	CEM I, CEM III	NA 5042	2/ mois ^{c)}	1/ semaine		X ^{f)}
Teneur en sulfate	Tous	NA 5042	2/ semaine	4/ semaine		X ^{f)}
Teneur en chlorure	Tous	NA 5042	2/ mois	1/ semaine		X ^{f)}
pouzzolanité	CEM IV	NA 1952	2/ mois	1/ semaine		X
composition	Tous	— ^{d)}	1/ mois	1/ semaine		
Chaleur d'hydratation	ciments courants à faible chaleur d'hydratation	NA 5061 et NA 5097	1/ mois	1/ semaine		X ^{f)}

- a) Lorsque la NA correspondante le permet, il est possible d'utiliser d'autres méthodes que celles indiquées à condition qu'elles donnent des résultats corrélés avec et équivalent à ceux obtenus avec la méthode de référence.
- b) Les méthodes utilisées pour prélever et préparer les échantillons doivent être conformes aux exigences de la NA 254.
- c) Lorsqu'aucun des résultats d'essais ne dépasse 50 % de la valeur caractéristique sur une période de 12 mois, la fréquence peut être ramenée à un par mois.
- d) Il revient au fabricant de choisir une méthode d'essai adaptée.
- e) Si les données ne suivent pas une distribution normale, la méthode d'évaluation doit être choisie au cas par cas.
- f) Si le nombre d'échantillons est d'au moins un par semaine au cours de la période de contrôle, l'évaluation peut se faire par mesures.

Tableau 5 : Valeurs requises de P_k et CR

	Exigences mécaniques		Exigences physiques et chimiques
	Résistance courante et à court terme (limite inférieure)	Résistance courante (limite supérieure)	
Percentille P_k sur lequel la définition de la valeur caractéristique est fondée	5 %	10 %	
Probabilité admissible d'acceptation CR	5 %		

Tableau 6 : Constance d'acceptabilité K_A

Nombre de résultats d'essais n	K_A ^{a)}	
	pour $P_k = 5 \%$	pour $P_k = 10 \%$
	(résistance courante et à court terme, limite inférieure)	(autres propriétés)
20 à 21	2,40	1,93
22 à 23	2,35	1,89
24 à 25	2,31	1,85
26 à 27	2,27	1,82
28 à 29	2,24	1,80
30 à 34	2,22	1,78
35 à 39	2,17	1,73
40 à 44	2,13	1,70
45 à 49	2,09	1,67
50 à 59	2,07	1,65
60 à 69	2,02	1,61
70 à 79	1,99	1,58
80 à 89	1,97	1,56
90 à 99	1,94	1,54
100 à 149	1,93	1,53
150 à 199	1,87	1,48
200 à 299	1,84	1,45
300 à 399	1,80	1,42
> 400	1,78	1,40
NOTE Les valeurs données dans ce tableau sont valables pour CR = 5 %.		
a) Il est également permis d'utiliser les valeurs de K_A valables pour des valeurs intermédiaires de n .		

Tableau 7 : Valeurs de c_A

Nombre de résultats d'essais $n^a)$	Valeurs de c_A , correspondant à $P_k = 10\%$
20 à 39	0
40 à 54	1
55 à 69	2
70 à 84	3
85 à 99	4
100 à 109	5
110 à 123	6
124 à 136	7

NOTE Les valeurs données dans ce tableau sont valables pour CR = 5 %.

a) Si le nombre de résultats d'essais n est inférieur à 20 (P_k étant égal à 10 %), on ne peut pas utiliser un critère statistique de conformité, mais un critère $c_A = 0$ doit cependant être utilisé dans les cas où $n < 20$.

Tableau 8 : Valeurs limites applicables à chacun des résultats

Propriété		Valeurs limites applicables à chacun des résultats					
		Classe de résistance					
		32,5 N	32,5R	42,5 N	42,5R	52,5 N	52,5R
Résistance à court terme (MPa) valeur limite inférieure	2 jours	-	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
	7 jours	14,0	-	-	-	-	-
Résistance courante (MPa) valeur limite inférieure	28 jours	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0
Temps de début de prise (min) valeur limite inférieure		60		50		40	
Stabilité (expansion en mm) valeur limite supérieure		10					
	CEM I CEM II ^{a)} CEM IV CEM V	4,0			4,5		
	CEM III/A CEM III/B	4,5					
	CEM III/C	5,0					
Teneur en chlorure (%) ^{b)} valeur limite supérieure		0,10 ^{c)}					
Pouzzolanité		Positive à 15 jours					
Chaleur d'hydratation (J/g) valeur limite supérieure	LH	300					
a) Le ciment de type CEM II/B-T peut contenir jusqu'à 5,0 % de SO₃ quelle que soit la classe de résistance. b) La teneur en chlorure des ciments de type CEM III peut être supérieure à 0,10 % à condition de déclarer la teneur maximale en chlorure. c) Pour des applications en précontrainte, les ciments peuvent être produits selon une exigence plus basse. Dans ce cas, la valeur de 0,10 % doit être remplacée par cette valeur plus basse qui doit être mentionnée sur le bon de livraison.							