Généralités sur le béton hydraulique

Introduction

Le béton est un matériau multiphasique, constitué d'un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravillons et, le plus souvent, adjuvants, additions ou fibres qui constituent un ensemble homogène.

2.1.Composition du béton hydraulique

Le béton, mélange de plusieurs composants très différents, présente des caractéristiques qui sont fonction de celles de ces composants et de leur proportion dans le mélange. L'évolution des connaissances du matériau, les exigences nouvelles en matière de propriétés ont incité les chercheurs et les utilisateurs à introduire dans les formulations de nouveaux « produits » afin d'obtenir des propriétés singulières.

2.1.1. Eau de gâchage

L'eau joue un double rôle dans la formulation du béton :

- déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes ;
- assurer la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place.

Le dosage en eau à travers le rapport Eau/Ciment (E/C) est un paramètre déterminant vis-à-vis de la porosité, de la résistance et donc de la durabilité du béton. Plus le rapport E/C est faible plus ces propriétés sont favorisées. En règle générale le rapport E/C est compris entre 0,4 et 0,6.

L'eau utilisée pour formuler le béton doit être conforme à la norme NF EN 1008 « Eaux de gâchage ».

Cette norme :

- Définit les spécifications relatives à la qualité de l'eau utilisable pour la production de béton ;
- Décrit les méthodes permettant d'apprécier son aptitude à l'emploi selon des critères chimiques (teneur en chlorures, sulfates, alcalins, sucres...) et mécaniques (temps de prise, résistance...);
- Définit les différents types d'eaux et leur aptitude à l'emploi.

L'eau potable du réseau de distribution convient parfaitement. Les eaux de nappes phréatiques ou de captage doivent être analysées par des essais bien définis.

2.1.2. Ciments

Le ciment appartient à la classe des liants hydrauliques. Un liant hydraulique est un corps qui présente la faculté de faire prise en présence d'eau et de durcir, mais également une fois durci, de résister à l'action de l'eau (NF EN 197-1).

Le durcissement est dû aux réactions chimiques d'hydratation des silicates et aluminates de chaux. Le ciment est obtenu à partir d'un ou plusieurs constituants

2.1.2.1. Les principaux constituants du ciment

Les constituants du ciment sont :

- Le clinker Portland (K)
- Laitier granulé de haut fourneau (S)
- Pouzzolanes naturelles (Z) ou naturelles calcinées (Q)
- Cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W)
- Schistes calcinés (T)
- Calcaires (L, LL)
- Fumées de silice (D)
- Le sulfate de calcium
- Constituants secondaires
- Additifs

2.1.2.2. Les types de ciments courants

Les différents types de ciments courants sont :

- Le ciment Portland : CEM I : 95 % de clinker et au plus 5 % de constituants secondaires.
- Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B : 65 % de clinker et au plus 35 % d'autres constituants.
- Le ciment de haut fourneau : CEM III/A ou B : 36 et 80 % de laitier et 20 à 64 % de clinker.
- Le ciment de haut fourneau : CEM III/C : 81 % de laitier et 5 à 19 % de clinker.

- Le ciment pouzzolanique : CEM IV/A ou B : 65 à 90 % de clinker(A) et 45 à 64 (B) en plus d'un constituant en propriété pouzzolanique.
- Le ciment composé : CEM V/A ou B : 20 à 64 % de clinker, de 18 à 50 % de cendres volantes et de 18 à 50 % de laitier.

2.1.3. Granulats

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions (comprises entre 0 et 125 mm), produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux entrant dans la composition des bétons et mortiers et destinés à réaliser des ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80% du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de graviers. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. Ils peuvent être mis en œuvre, soit sans liant : ballast des voies de chemin de fer, couches de fondation des routes, remblais... soit en les solidarissant avec un liant : ciment pour le béton, bitume pour les enrobés...

Suivant les normes en application, les granulats se définissent par leurs :

- Caractéristiques de fabrication (granularité, aplatissement, angularité, qualité et quantité des fines...);
- Caractéristiques intrinsèques (résistance à l'usure, à la fragmentation, au polissage, ...).

2.1.3.1. Origine et types de granulats

Un granulats est dit naturel s'il est d'origine minérale et issu de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage). Il est dit artificiel lorsqu'il est d'origine minérale et résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres. On parle de granulats recyclés, lorsqu'il est obtenu par traitement d'une matière organique utilisée précédemment dans la construction, tels que les bétons de démolition de bâtiments

Les granulats sont dits légers lorsque leur masse volumique réelle ρ_r est inférieure à 2 g/cm³, courants si ρ_r est comprise entre 2 et 3 g/cm³ et lourds au-delà de 3 g/cm³ (Lazhar, 2011).

On peut obtenir les granulats :

- Soit en exploitant directement les alluvions détritiques non consolidées, de type sable et graviers des rivières (dans certains cas, ils peuvent être ultérieurement concassés) ;
- Soit par concassage des roches massives : granites, diorites, basaltes, calcaires, quartzites.

Les professionnels distinguent trois catégories principales de granulats en fonction de leur nature et de leur origine :

- Les granulats d'origine alluvionnaire, alluviale, marine et autres dépôts ;
- Les granulats de roches massives, roches éruptives, calcaires, autres roches sédimentaires et roches métamorphiques ;
- Les granulats de recyclage et artificiels : bétons recyclés, laitiers de hauts-fourneaux...

2.1.3.2. Classification des granulats selon leurs dimensions

Un granulat est caractérisé par sa classe d/D ; d et D étant respectivement la plus petite et la plus grande dimension des grains. La norme NF P 18 545 indique la terminologie des granulats

selon leurs dimensions :

- Fines (fillers) : $D \leq 0,063$ mm
- Sables : $d = 0$ mm et $D \leq 4$ mm ;
- Gravillons : $d \geq 2$ mm et $4 \leq D \leq 63$ mm ;

2.1.4. Les additions

Les additions sont des constituants minéraux finement divisés utilisés dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières.

Les additions peuvent être de deux types :

- Le type I comprend les matériaux quasiment inertes (filler calcaire et pigments) qui ne génèrent aucune réaction chimique.
- Le type II désigne des matériaux à propriétés pouzzolaniques (cendre volante ou fumée de silice) ou à hydraulicité latente (laitier de haut-fourneau) qui contribuent à la résistance et à la durabilité du béton lors de l'hydratation du ciment.

2.1.6. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci.

Pour des raisons de commodité d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvent dans le commerce sous forme de liquides. Certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur coût de transport. Dans ce cas il faut généralement les diluer avant l'emploi : la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est en effet moins certaine que celle d'un liquide.

Un adjuvant a, en général une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement « effet secondaire ».

2.1.6.1. Classification des adjuvants

Les normes européennes retiennent la classification suivante :

- Plastifiants réducteurs d'eau : produits qui viennent se fixer par adsorption à la surface du ciment. Ils provoquent une défloculation des grains et une lubrification de la pâte. Ce processus permet soit une amélioration de la maniabilité sans augmenter le dosage en eau, soit une réduction du rapport E/C, donc une augmentation des résistances mécaniques, sans modifier la maniabilité.
- Superplastifiants hautement réducteurs d'eau : mode d'action similaire à celui des plastifiants mais il se produit avec une intensité bien plus importante.
- Rétenteurs d'eau : réduisent la tendance au ressuage des bétons et améliorent la cohésion des bétons fluides dont le sable manque d'éléments fins ou à faible dosage en ciment.
- Rétenteurs d'air : améliorent essentiellement la plasticité et l'ouvrabilité du béton.
- Accélérateurs : augmentent la vitesse d'hydratation du ciment. On distingue :
 - Accélérateurs de prise : alcalis, carbonates et sulfates de soude ou de potasse, utilisés surtout par temps froid ;
 - Accélérateurs de durcissement : chlorures et carbonates, plus généralement employés afin de réduire certains délais pour décoffrer ou manutentionner les pièces.

- Retardateurs de prise : retardent plus ou moins longtemps l'hydratation et le début de prise du ciment.
- Hydrofuges : introduits dans la masse du béton, ont pour fonction principale d'en diminuer l'absorption capillaire.

Certains adjuvants peuvent avoir plusieurs de ces fonctions.

Selon la propriété recherchée pour le béton, on aura recours à l'adjuvant approprié. Compte tenu de la diversité des produits disponibles, on se conformera aux prescriptions du fabricant pour leur emploi et leur dosage, et on vérifiera leur compatibilité avec le ciment.

2.2. Différents types de béton hydraulique

Le béton varie en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. C'est ainsi que nous avons :

- Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2500 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut, néanmoins, être élevée, sont employés dans le bâtiment.
- Les bétons cellulaires peuvent répondre aux problèmes d'isolation dans le bâtiment.
- Les bétons fibrés, plus récents, correspondent à des usages très variés : dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain.
- Les BHP, les BAP, les BFUP.

2.3. Classification des bétons hydrauliques

Les propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci sont prescrites sous forme de classes dans la norme NF EN 206/CN.

2.3.1. Classes de consistance du béton frais

Les classes de consistance correspondent à une caractéristique du béton lorsqu'il est encore frais. Ces différentes classes permettent de contrôler l'ouvrabilité (facilité à la mise en œuvre) du béton et d'ajuster son dosage en fonction des performances recherchées.

Il existe de nombreux essais et tests permettant de mesurer la consistance du béton frais : essai d'affaissement au cône d'Abrams (norme EN 12350-2), indice de serrage (norme EN 12350-4), essai d'étalement à la table à chocs (EN 12350-5), essai d'étalement au cône d'Abrams (EN 12350-8).

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (slump-test) est la méthode la plus utilisée et décline cinq classes de consistance consignées dans le tableau suivant (Tableau 2).

Tableau 2 : Classes d'affaissement au cône d'Abrams (EN 12350-2, 2019)

Classes	Affaissement (mm)	Observation
S1	10 - 40	Béton ferme
S2	50 - 90	Béton plastique
S3	100 - 150	Béton très plastique
S4	160 - 210	
S5	> 220	

2.3.2. Classes selon la dimension maximale des granulats

Un béton peut également être classifié par la dimension supérieure du plus gros granulat (D_{max}). Cette dimension nominale maximale doit être choisie en fonction de l'épaisseur de l'enrobage et de l'écartement entre les barres d'armature ainsi que de la géométrie des éléments à bétonner.

Par exemple, la dimension maximale des granulats et sa proportion par rapport à l'espacement nu à nu des barres permettent de distinguer quatre types de pieux (Tableau 3).

Tableau 3 : Types de pieux en fonction du diamètre supérieur des granulats et de l'espacement nu à nu des barres longitudinales (GUEYE, 2019)

Dimension maximale (D_{max})	Types de pieux
32 mm et 1/4 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales	Pour les pieux forés et les parois moulés
32 mm et 1/3 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales	Pour les pieux avec refoulement de sol
16 mm et 1/4 de l'espacement nu à nu des barres longitudinales	Pour les micropieux
1/6 du diamètre intérieur du tube plongeur	En cas de mise en place en conditions immergées

2.3.3. Classes de résistance à la compression du béton durci

Un béton est défini par sa résistance caractéristique en compression. Cette résistance varie en fonction de l'âge du béton (en jours). La mesure de sa résistance en compression est assurée à l'aide des éprouvettes qui peuvent être cubiques ou cylindriques (les plus utilisées au Sénégal). Cette résistance est le rapport entre la charge maximale provoquant la rupture (en newtons N) sur la section (en mm^2) de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée. La résistance à la compression est exprimée en MPa (N/mm^2).

Les classes de résistance à la compression sont donc définies par deux valeurs :

- fck-cyl : résistance caractéristique en compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cylindriques ($\varnothing = 150 \text{ mm} - H = 300 \text{ mm}$, $\varnothing = 160 \text{ mm} - H = 320 \text{ mm}$, $\varnothing = 110 \text{ mm} - H = 220 \text{ mm}$) à 28 jours en N/mm^2 où $\varnothing$ et H sont respectivement les diamètres et hauteurs des éprouvettes.
- fck-cube : résistance caractéristique en compression du béton déterminée par essais sur éprouvettes cubiques (côté : 100 ou 150 mm) à 28 jours en N/mm^2 .

La norme NF EN 206/CN propose deux familles de classes de résistance en fonction de la masse volumique du béton (Tableau 4) :

- La classe de résistance à la compression des bétons de masse volumique normale et des bétons lourds est désignée par la lettre C suivie des valeurs fck-cyl et fck-cube.
- La classe de résistance des bétons légers est désignée par les lettres LC suivies des valeurs fck-cyl et fck-cube.

Tableau 4: Classes de résistance à la compression à 28 jours (NF EN 206+A1, Novembre 2016)

Classes de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds			Classes de résistance à la compression pour les bétons légers		
Classes	$f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)	$f_{ck,cube}$ (N/mm ²)	Classes	$f_{ck,cyl}$ (N/mm ²)	$f_{ck,cube}$ (N/mm ²)
C8/10	8	10			
C12/15	12	15			
C16/20	16	20	LC8/9	8	9
C20/25	20	25	LC12/13	12	13
C25/30	25	30	LC16/18	16	18
C30/37	30	37	LC20/22	20	22
C35/45	35	45	LC25/28	25	28
C40/50	40	50	LC30/33	30	33
C45/55	45	55	LC35/38	35	38
C50/60	50	60	LC40/44	40	44
C55/67	55	67	LC45/50	45	50
C60/75	60	75	LC50/55	50	55
C70/85	70	85	LC55/60	55	60
C80/95	80	95	LC60/66	60	66
C90/105	90	105	LC70/77	70	77
C100/115	100	115	LC80/88	80	88

2.3.4. Classes de masse volumique du béton durci

On définit le béton normal, le béton léger et le béton lourd en fonction de leur masse volumique après séchage à l'étuve (Tableau 5).

Tableau 5 : Classes de masse volumique du béton durci (NF EN 206+A1, Novembre 2016)

Classes	Masse volumique (kg/m ³)
Béton léger	800 – 2000
Béton normal	2000 – 2600
Béton lourd	> 2600

Lorsque le béton léger est classé selon sa masse volumique, il faut appliquer les critères du tableau ci-après (Tableau 6).

Tableau 6 : Classes de masse volumique pour le béton léger (NF EN 206+A1, Novembre 2016)

Classe de masse volumique	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Plage de masses volumiques, en kg/m ³ , essai selon l'EN 12390-7	≥ 800 et ≤ 1000	> 1000 et ≤ 1200	> 1200 et ≤ 1400	> 1400 et ≤ 1600	> 1600 et ≤ 1800	> 1800 et ≤ 2000

2.3.5. Classes de teneurs en chlorures

La norme NF EN 206/CN définit les teneurs maximales en ions chlorures du béton à respecter en fonction de son type d'utilisation. Elle définit cinq classes de teneur : Cl 1,0 / Cl 0,65 / Cl 0,4 / Cl 0,2 / Cl 0,1 (Tableau 7).

Les classes de chlorures permettent d'adapter la composition du béton en fonction des risques de corrosion des armatures.

La teneur maximale en ions chlorure est définie en pourcentage de la masse du ciment, elle concerne la somme des chlorures de tous les constituants.

Tableau 7 : Classes de chlorures à respecter en fonction de l'utilisation du béton (NF EN 206+A1, Novembre 2016)

Utilisation du béton	Classe de chlorures	Teneur maximale en Cl rapportée à la masse de ciment (%)
Béton contenant ni armature en acier, ni pièces métalliques noyées	Cl 1,0	1
Béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées, et formulé avec un ciment de type CEM III	Cl 0,65	0,65
Béton contenant des armatures en acier ou des pièces métalliques noyées	Cl 0,40	0,40
Béton contenant des armatures de précontrainte en acier	Cl 0,20 Cl 0,10	0,20 0,10

2.3.6. Classes d'exposition des bétons

La norme NF EN 206/CN définit 18 classes d'exposition regroupées en 6 « familles » par risque de corrosion, d'attaques ou d'agressions dépendant des actions et conditions environnementales auxquelles le béton de l'ouvrage ou de chaque partie d'ouvrage est soumis pendant leur durée d'utilisation.

Le choix de la classe d'exposition est de la responsabilité du maître d'ouvrage.

Si plusieurs classes d'exposition sont spécifiées pour un même béton, il doit respecter toutes les exigences prévues pour chaque classe d'exposition (Tableau 8).

Tableau 8 : Classes d'exposition des bétons selon la norme NF EN 206/CN, 2014

Classes d'exposition	Description de l'environnement	Béton concerné
XO	Aucun risque de corrosion ni d'attaque	Béton non armé ou béton armé en environnement très sec
XC1, XC2, XC3 et XC4	Corrosion par carbonatation	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées exposé à l'air et à l'humidité
XD1, XD2 et XD3	Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact d'une eau ayant une origine autre que marine contenant des chlorures, y compris des sels de déverglaçage
XS1, XS2 et XS3	Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer	Béton contenant des armatures ou des pièces métalliques noyées soumis au contact des chlorures présents dans l'eau de mer ou à l'action de l'air véhiculant du sel marin
XF1, XF2, XF3 et XF4	Attaque par le gel/dégel	Béton soumis à une attaque significative due à des cycles gel/dégel alors qu'il est mouillé
XA1, XA2 et XA3	Environnement chimique agressif	Béton exposé aux attaques chimiques se produisant dans les sols naturels, les eaux de surface et / les eaux souterraines

Chaque classe fait l'objet d'une description des conditions environnementales et est illustrée d'exemples informatifs.

La combinaison des classes d'exposition permet de définir avec précision l'environnement de chaque partie d'ouvrage et d'optimiser les performances des bétons et leur durabilité.

2.4.Réaction alcalis-granulats

L'alcali-réaction est une réaction chimique entre certaines formes de silice et de silicate, pouvant être présentes dans les granulats et les alcalins du béton. Elle correspond à une attaque du granulat par le milieu basique du béton et provoque la formation d'un gel de réaction (silicate alcalin), dont l'expansion engendre, sous certaines conditions, des gonflements.

Il y a trois groupes de réactions alcali-granulats (alcalins Na et K) :

- Réaction alcalis-silice ;
- Réactions alcalis-silicates et
- Réactions alcalis-carbonate.

La pathologie et les manifestations externes se signalent par un ou plusieurs des symptômes suivants :

- une fissuration,
- un faïençage à mailles plus ou moins larges ou en étoile ou une fissuration orientée suivant une direction fonction de la distribution des armatures,
- des exsudations blanches formées de calcite et parfois de gels translucides,
- des pustules ou cratères avec des éclatements localisés en forme de petits cônes résultant de la réaction de gros granulats superficiels qui sont visibles au fond des cratères d'éclatement,
- des mouvements et déformations,
- des colorations ou décolorations.

Les réactions alcalis-silice peuvent être caractérisées par un essai de réactivité potentielle aux alcalins du ciment, suivant la norme américaine ASMTC 289-71.

L'essai de réactivité potentielle avec les alcalins du ciment a été effectué sur les silexites par Arnould (1984) et Diémé (1991) et a été complétée avec des essais sur les granulats de calcaire et de grès.

Les résultats ont montré que le silexite (de Taïba) peut être alcali-réactif tandis que le calcaire (de Bargny) et le grès (de Paki) sont non alcalis-réactifs (essais effectués en Allemagne).

$F_{c28} = 25$ MPa.

Tableau 9-Résultats d'essai de réactivité potentielle avec les alcalins

Paramètres	Granulats	Silexite	Calcaire	Grès
Réduction d'alcalinisé (m.mole/l)		255	170	165
Silice dissoute (m.mole/l)		360	120	80

On distingue 3 types de granulats (selon FD P 18-542 et XP P 18-594 (fév. 2004)

Granulats Non réactifs (NR) : Granulats pour bétons hydrauliques qui ne conduiront jamais à des désordres par alcali-réaction.

Granulats Potentiellement Réactifs (PR) : Granulats susceptibles, dans certaines conditions, de conduire à des désordres par alcali-réaction (Tableau n° 10).

Granulats Potentiellement Réactifs à effet de Pessimum (PRP) : Granulats qui, bien que riches en silice réactive, peuvent être mis en œuvre sans risque de désordres en respectant certaines conditions d'utilisation.

Trois conditions simultanées sont nécessaires pour amorcer et entretenir les réactions de phénomène exceptionnel :

- Un environnement fortement humide ;
- Une teneur en alcalins solubles dans la solution interstitielle élevée et dépassant un seuil critique ;
- La présence dans le béton de silice réactive en quantité suffisante (apportée par des granulats potentiellement réactifs).

Tableau 10- Principales roches pouvant contenir des minéraux sensibles en milieu alcalin
(Ministère de l'Economie des Finances et de la Relance de France).

	Roches	Minéraux sensibles en milieu alcalin
Magmatiques	<ul style="list-style-type: none"> . Granites . Granodiorites . Rhyolites . Dacites . Andésites . Trachyandésites . Basaltes . Obsidienne . Tufs volcaniques . Rétinites 	<p>Quartz à réseau déformé, présentant une extinction ondulante.</p> <p>Minéraux feldspathiques altérés, joints de grains ouverts.</p> <p>Présence de verres siliceux ou de verres basaltiques plus ou moins dévitrifiés.</p> <p>Présence de tridynite, de cristobalite, d'opale.</p> <p>Verres riches en silice plus ou moins dévitrifiés, souvent microfissurés</p>
Métamorphiques	<ul style="list-style-type: none"> . Gneiss . Mica-schistes . . Quartzites . Cornéennes 	<p>Quartz à extinction ondulante.</p> <p>Micro quartz de seconde génération.</p> <p>Joints de grains ouverts, minéraux feldspathiques et micacés altérés.</p> <p>Quartz associés à un ciment quartzeux et opalin. Présence de micro quartz de seconde génération. Présence de phyllosilicates.</p> <p>Présence de quartz à extinction ondulante ou de quartz microfissurés</p>
Sédimentaires	<ul style="list-style-type: none"> . Grès . Quartzites . Grauwackes . Siltites . Schistes quartzeux . Chailles . Silexites . Calcaires . Calcaires dolomitiques . Dolomies 	<p>Ciment siliceux mal cristallisé, joints de grains élargis.</p> <p>Minéraux phylliteux associés. Présence d'opale, de quartz microcristallins.</p> <p>Présence de calcédoine, d'opale.</p> <p>Présence de silice de type opale en micronodules ou diffuse en réseau, associée ou non à des sulfures sédimentaires et des phyllites.</p>

Conclusion

Cette étude bibliographique nous a permis de connaître les différents types de bétons hydrauliques, leurs constituants (qui définissent les caractéristiques du béton) et leur classification.

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques ; mais si les caractéristiques attendues sont pour la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate. Pour cela il faut d'abord une caractérisation des différents composants à utiliser.