

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**SCIENCE DES MATERIAUX
DE CONSTRUCTION**

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

Qu'est-ce que le Béton Prêt à l'Emploi (BPE) ?

Définition :

La désignation « Béton prêt à l'emploi » (BPE) s'applique aux bétons préparés dans des installations industrielles appelées « centrales à béton ». Ces bétons sont fabriqués sur demande et transportés si besoin sur les chantiers par camions malaxeurs. La norme NF 18 305 datant d'avril en 1966 et entrée en application en 1994, le définit comme suit :

Le béton est un mélange à un dosage précis de ciment, de granulats (sable et graviers), d'eau et d'adjuvants, dont tous les composants sont dosés dans une installation fixe appelée centrale, puis malaxés pour être livrés aux clients utilisateurs avant début de prise, prêt à être mis en place sans autre traitement préalable.

Cette définition montre que le BPE est différent du béton fabriqué sur les chantiers. Les différences portent essentiellement sur la quantité, la variété et le fait qu'il est transporté sur une distance plus ou moins longue.



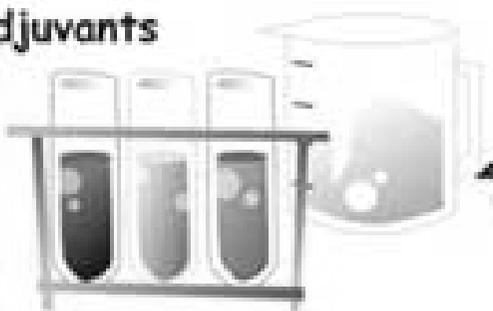
Granulats



Liants



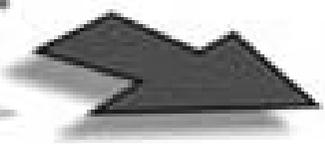
Adjuvants



Eau



Malaxage



Livraison clients



La norme distingue :

- i. la centrale de malaxage, qui fabrique le béton frais,*
- ii. La centrale de dosage qui mélange les éléments secs, l'eau étant ajoutée à la centrale dans la bétonnière du camion malaxeur.*

Cette distinction est importante pour l'utilisateur et, actuellement, 85% des centrales sont des centrales de malaxage et 15% des centrales de dosage.

Les centrales peuvent être fixes (c'est le cas général) ou mobiles (ou semi-mobiles), c.à.d. démontables moyennant parfois certains travaux de génie civil. Ce sont généralement de petites centrales de capacité de production avoisinant 12 m³/h de béton frais, transportable et d'un poids réduit de 7 tonnes. Le coût moyen d'une centrale fixe varie entre environ 1 et 2 millions de francs.



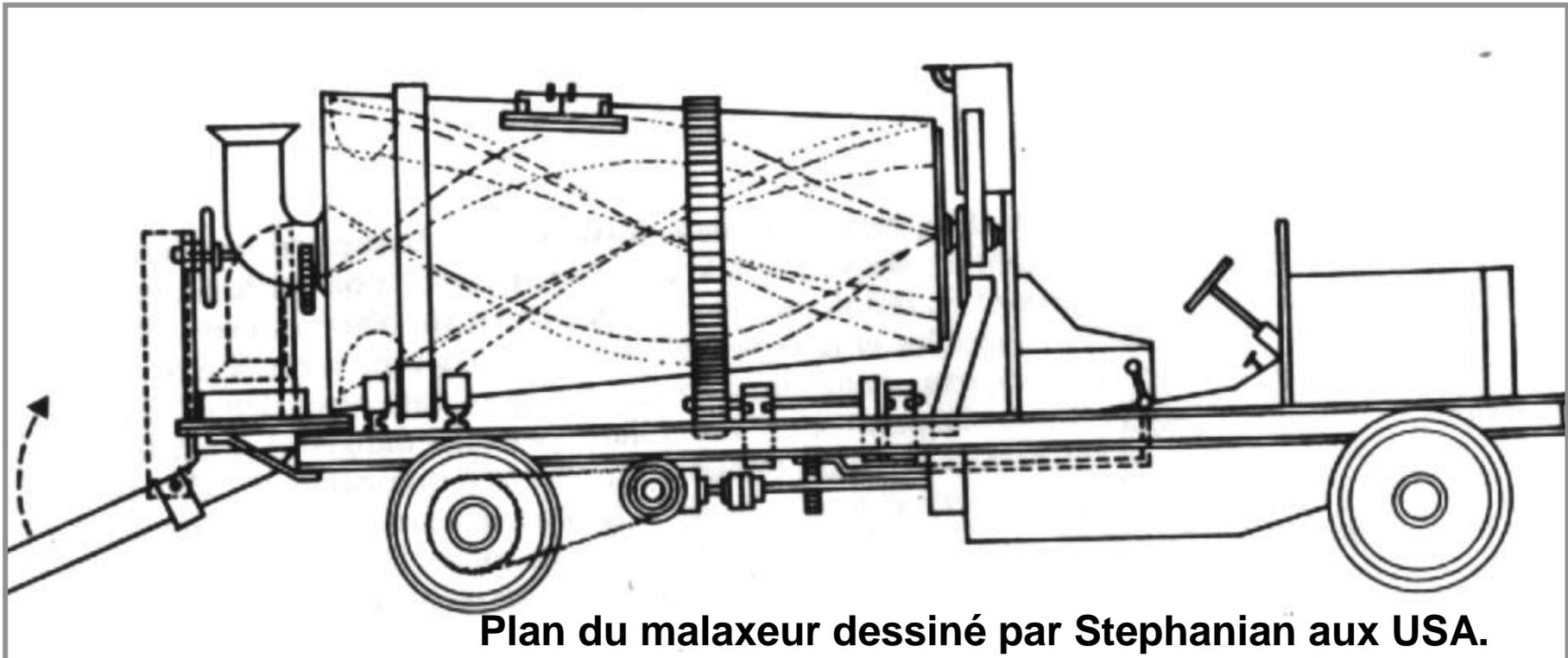
Un zest d'histoire .

L'idée de transporter du béton frais serait due à l'ingénieur anglais Deacon qui montra en 1872 les avantages présentés par une telle opération. Une première tentative eut lieu en 1903 en Allemagne où un fabricant monta une centrale. Dix ans plus tard à Baltimore au USA, une centrale de béton prêt à l'emploi commença à fonctionner suivant les principes que nous connaissons aujourd'hui : pesage et mélange du ciment, des granulats, de l'eau puis transport jusqu'au chantier à l'aide de camions à bascule.

Les malaxeurs à l'époque fonctionnaient à la vapeur et le béton parfois transporté dans des chariots tirés par des chevaux.

Stephanian (Ohio) dessina en 1916 le plan d'un malaxeur porté sur un châssis de camion et qui était tout à fait comparable, quant à son principe aux malaxeurs actuels.

Transport du BPE en
Allemagne en 1916.



Plan du malaxeur dessiné par Stephanian aux USA.

C'est aux Etats-Unis où le BPE commença à se développer puisque déjà en 1930, une 100^e de centrales étaient en fonctionnement. C'est après la 2^{ème} guerre mondiale (dès 1950) que se développent les centrales de BPE dans presque tous les pays, gros producteurs et consommateurs de ciment.

Le développement de cette industrie a amené les fabricants à se regrouper. A l'échelon Européen, il existe un *bureau européen du béton prêt à l'emploi*.

En France, la production du BPE avoisine 37.5 millions de m³, c'est près de 2.77 milliards d'euros en chiffre d'affaires, 1670 Centrales à béton, 6000 camions malaxeurs et plus de 7450 salariés. Les camions ont une contenance allant de 3 à 9 m³. Plus de 75% sont des camions de 6 m³ (poids de charge d'env. 26 T).

Comment fonctionne une centrale ?

Les centrales sont classé selon la disposition des installations en :



i. centrale verticale où les manutentions s'effectuent par gravité à partir de trémies ou de silos situés au dessus des bascules et du malaxeur,

ii. centrale horizontale où les matériaux sont stockés au sol et repris pour être transportés après pesage dans le malaxeur.

1- réception et stockage des matières.

La centrale stocke le plus possible de matière première. Le stockage est réalisé en général à 2 niveaux :

i. un stockage dit primaire ou d'attente (dans les trémies ou au sol) assurant pendant plusieurs semaines la marche de la centrale,

ii. un stockage dit secondaire (dans les trémies) afin d'alimenter rapidement les installations de pesage.

Le ciment est le constituant le plus coûteux des matériaux utilisés pour le BPE qui représente pour l'industrie du ciment un débouché essentiel (env. 45% du ciment serait utilisé ainsi dans le BTP à travers le béton). Les granulats représentent, en valeur, le second constituant du BPE, ce qui explique que les producteurs de granulats sont également présents dans l'industrie du béton.

Une centrale utilise en général 2 sables et 2 gravillons de granulométrie différente (ou 1 sable et 2 gravillons).

Suivant les centrales, les quantités stockées varient de 100 à 1000 T par catégorie de granulats (certaines arrivent à en stocker jusqu'à 3000 T de granulats). Elles possèdent souvent 2 à 3 catégories de ciments dans des silos de 50 à 100 T (et parfois jusqu'à 300 T).

Enfin, elle dispose de cuves à eau (25 à 50 m³) et de plusieurs cuves (revêtues de protection interne et d'agitateurs) pour les différents adjuvants utilisés.



Silos de stockage
des ciments et
autres liants



Stockage des
granulats (sable)



Stockage des
granulats (gravier)



Stockage des
adjuvants

L'approvisionnement en ciment de la centrale à béton se fait généralement par l'intermédiaire de camions munis de pompes. Celles-ci permettent ainsi de réalimenter les silos régulièrement par les conduits.

Les granulats sont acheminés par camion benne.



2- poste de pesage.

Du fait des divers règlements en vigueur, le dosage en centrale est dans la quasi-totalité des cas *pondéral*.

Les tolérances sont :

- i. $\pm 2\%$ pour le ciment,
- ii. $\pm 3\%$ pour le chaque granulat,
- iii. $\pm 2\%$ pour l'ensemble des granulats,
- iv. $\pm 2\%$ pour l'eau.

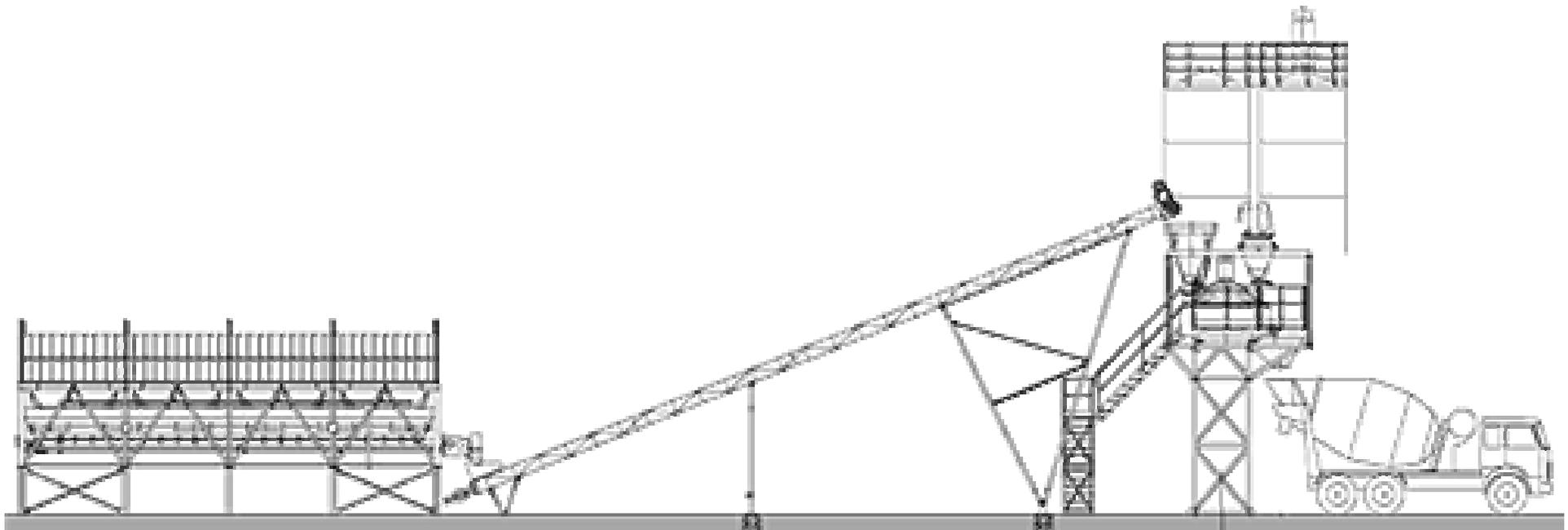
Comme le dosage des matériaux secs est pondéral, on doit tenir compte de l'humidité des granulats : les silos sont alors équipés de sondes électriques ou neutroniques. En effet, la w des sables atteint souvent 10 à 12% et celle des granulats 1 à 2 %. Pour contrôler la w des sables, on utilise des sondes mesurant la conductivité électrique. Elles ne sont pas sans défauts et sont parfois remplacés par des sondes à neutrons plus précises mais plus onéreuses.



Alimentation de la chaîne de dosage-pesage



Poste de pesage



Le dosage en eau doit être précis car il influe sur la consistance du mélange, sur sa stabilité ainsi que sa qualité mécanique. On devra tenir compte de l'eau apportée par les granulats et celle provenant de l'ajout des adjuvants.

3- poste de malaxage et de commande.

Dans le cas d'une centrale de malaxage, les malaxeurs utilisés permettent de délivrer dans un temps très court un volume de béton homogène de 0.5 à 3 m³ par gâchée (il existe exceptionnellement des malaxeurs permettant d'aller jusqu'à 6 m³). Les débits des centrales sont approximativement les suivants :

- i. 30 à 40 m³/h avec un malaxeur de 0.5 à 1 m³;
- ii. 60 m³/h avec un malaxeur de 1 à 1,5 m³;
- iii. 80 m³/h avec un malaxeur de 1,5 à 2,5 m³ (80 000 m³/an);
- iv. 100 à 120 m³/h avec un malaxeur de 2.5 à 3.5 m³;



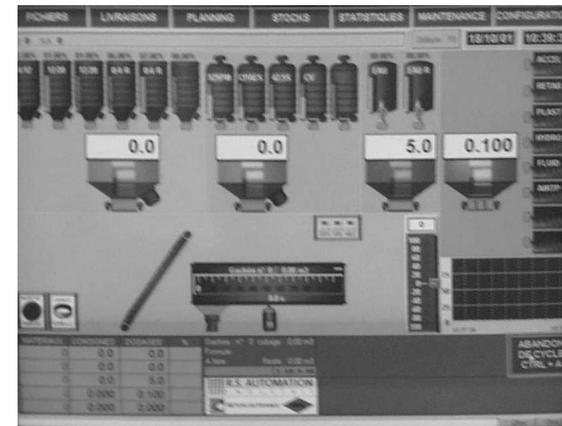
Alimentation du
poste de malaxage



Le malaxeur



Poste de commande de la centrale



Données relatives à la
composition prescrite

Les centrales fonctionnent :

- i. en automatique (env. 65% des centrales). Les différentes compositions des bétons sont programmées par ordinateur. Le cycle de fabrication est déclenché par un technicien qui affiche le type de ciment, la teneur en eau (compte tenu de l'humidité des agrégats), l'adjuvant utilisé, le type et le volume du béton à délivrer;
- ii. en semi automatique (env. 25% des centrales). L'opérateur affiche manuellement sur des potentiomètres d'un pupitre de commande la composition complète du béton. Il enclenche ensuite le cycle de fabrication. En cas de défaillance, les centrales automatiques ou semi automatiques peuvent fonctionner en manuel,
- iii. En manuel (env. 10% des centrales).

4- poste d'expédition.

Le transport du béton frais s'effectue le plus souvent à l'aide de bétonnières portées (camions malaxeurs) constitués d'un châssis supportant une cuve tournante lentement et permettant de maintenir l'homogénéité du béton. La vidange se fait en inversant le sens de rotation de la cuve.

Cette dernière peut tourner lentement dans le cas de béton préparé en centrale de malaxage, ou plus vite dans le cas de béton préparé en centrale de dosage ou avant la vidange sur le chantier.

A la différence de ses constituants (ciment, granulats), le BPE est un produit qui ne se stocke pas, ce qui implique que les livraisons soient effectuées dans un délai très court (1H à 1H½ au maximum). Par ailleurs, le coût du transport du béton a une incidence importante sur le coût du produit final. Les entreprises de production de béton possèdent parfois leur propre flotte de camions toupies.

Elles on le plus souvent recours à des entreprises de transport spécialisées couramment appelées "locatiers". Le prix du transport du béton est généralement fixé par les locatiers en fonction des zones concentriques dessinées autour des centrales de production.

Lors d'un surplus de béton, un recyclage des matériaux est effectué et ce dans l'esprit de la préservation de l'environnement mais surtout pour des raisons économiques.

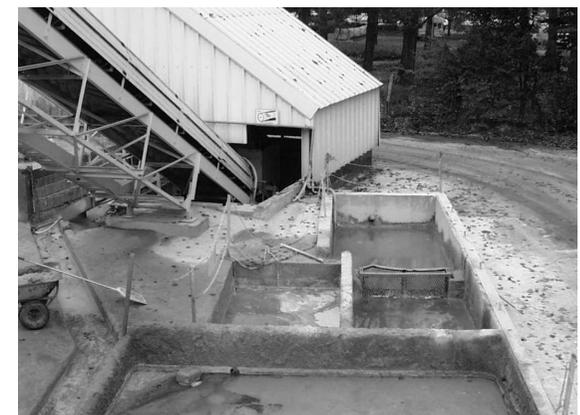
Les granulats sont séparés puis réutilisés pour d'autres bétons.



Les autres constituants (adjuvants, ciments, eau) sont pour leur part placés dans des bassins de décantation qui font régulièrement l'objet de curage.



Chargement de la toupie



5- Contrôle et essais.

Le contrôle est indispensable afin de garantir aux clients, non seulement les performances exigées, mais aussi la constance de qualité. Chaque centrale est alors équipée d'un laboratoire où les contrôles sont effectués sur les matières premières reçues et sur les bétons confectionnés.

La norme fixe les essais de contrôle exigés à la livraison : masse volumique, granularité, consistance et résistances mécaniques.



Essai de résistance
à la compression

6- Mise en œuvre sur le chantier.

En principe, le service assuré par le producteur du BPE s'arrête après la décharge du béton sur le chantier. En fait, des services complémentaires comme la mise en œuvre du béton est parfois assurée.

Très souvent, le béton est pompé surtout dans le cas de chantier à accès difficile et de bétonnage en continu.



Caractéristiques principales des BPE.

La norme classe les bétons en 2 catégories :

- i. BCN ou béton à caractéristiques normalisées,
- ii. BCS ou béton à caractéristiques spécifiées (possédant des caractéristiques spécifiques)

Les BCN sont classées d'après :

- i. La granularité,
- ii. La nature et le dosage minimal en ciment,
- iii. La consistance,
- iv. La résistance en compression.

- i. Granularité.

La granularité est exprimée par la classe granulaire 0/D pour distinguer la nature du béton désiré (béton fin, moyen ou gros). L'entrepreneur choisira la granularité du béton en fonction des pièces à bétonner (géométrie de l'ouvrage et densité des armatures, etc.).

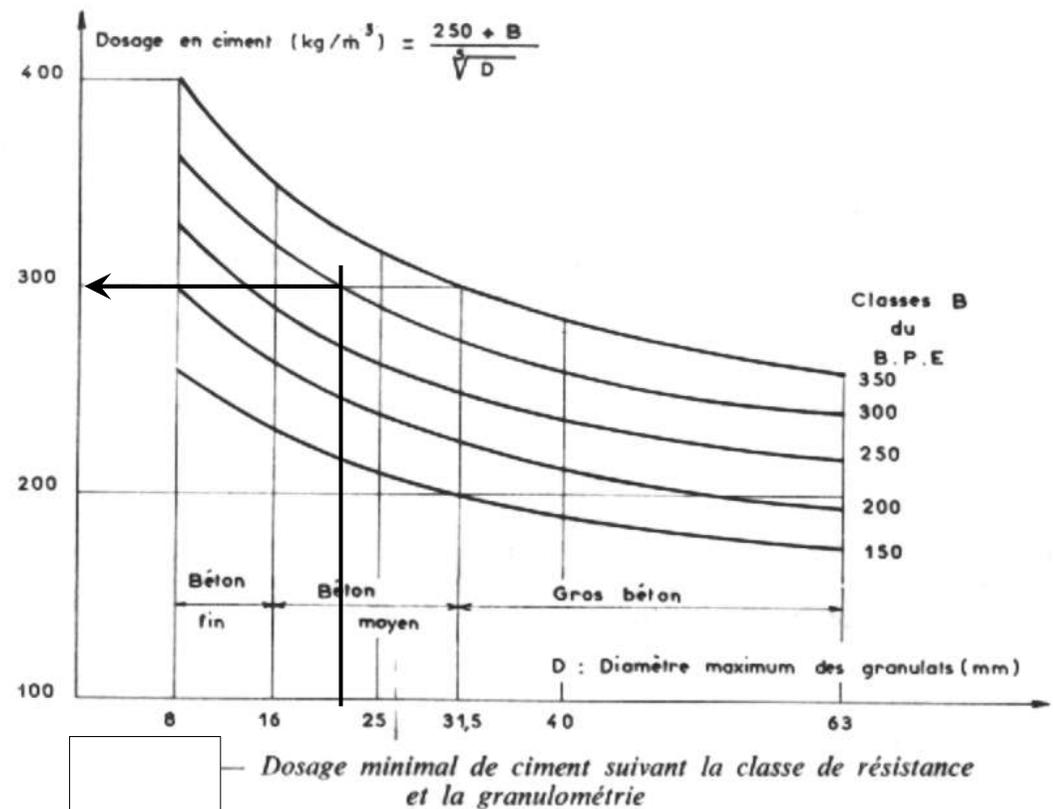
ii. Nature et dosage minimal en ciment.

Caquot a montré que compte tenu de l'effet de paroi exercé par les grains les uns sur les autres, le vide compris entre les granulats est fonction de la racine cinquième de D. En partant de ce constat et afin d'avoir un béton suffisamment compact et durable, qu'une clause de dosage minimal a été imposée.

Le dosage minimal en ciment s'exprime alors pour les BCN à classes de résistances B 250 et au dessus par l'expression :

$$(250 + B) / \sqrt[5]{D}$$

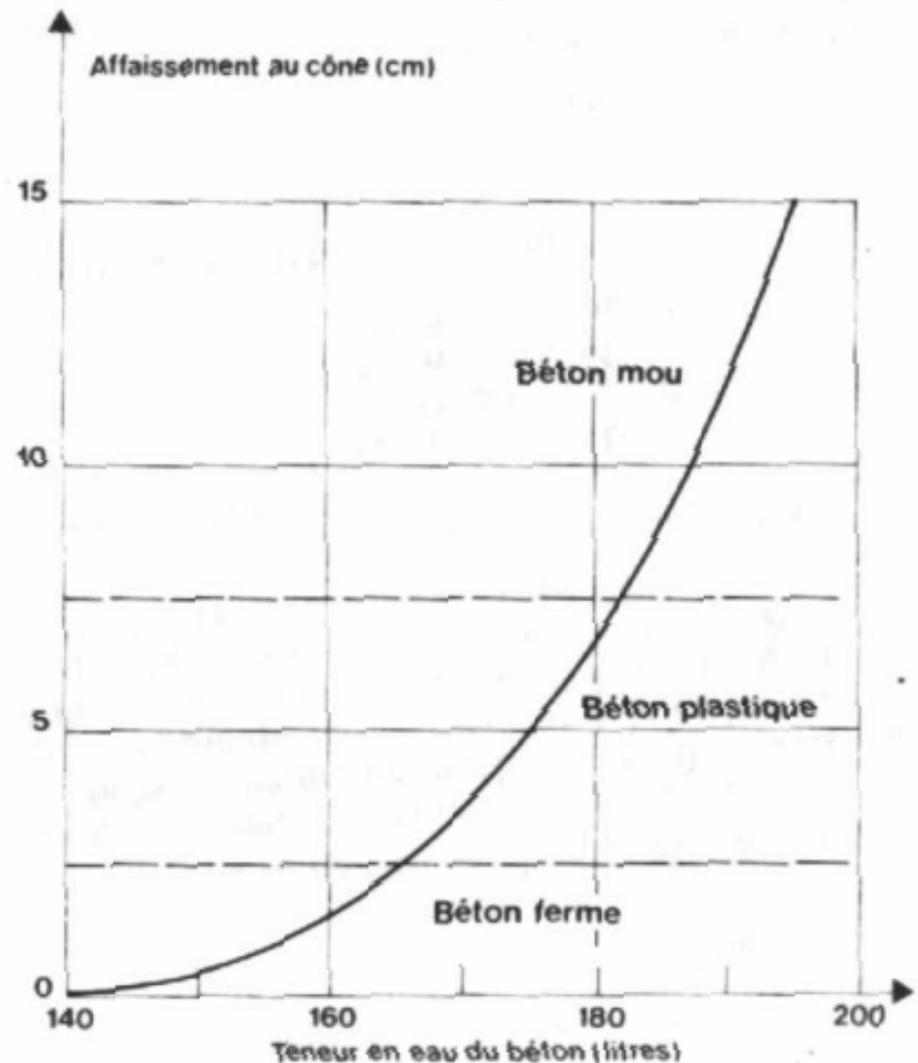
Ex. pour un béton 0/20 et de classe B300 le dosage minimum en ciment sera d'env. 300 kg/m³



iii. Consistance.

La consistance du béton est mesurée à l'aide du cône d'Abrams. L'essai est adapté pour les granulats dont $D \leq 40$ mm et mal adapté pour les bétons trop secs ou trop fluides.

Il donne cependant d'utiles indications sur la régularité de la consistance et de la teneur en eau. La consistance demandée dépend des conditions de mise en œuvre sur le chantier (des moyens de serrage en particulier).



Consistance du Béton

Classe	Affaissement au cône d'Abrams	Désignation	Usages fréquents
Ferme	0-4	F	Bétons extrudés Bétons de VRD
Plastique	5-9	P	Génie civil Ouvrages d'art Bétons de masse
Très plastique	10-15	TP	Ouvrages courants
Fluide	>16	FL	Dalles et voiles minces

iv. Résistance.

La résistance en compression est mesurée sur des éprouvettes cylindriques généralement de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Quant à la résistance à la traction par flexion, elle est mesurée sur des éprouvettes prismatiques de 7, 10, 14 ou 20 cm de côté et d'élancement égal à 4.

La classe de résistance du béton est définie par la valeur minimale de la résistance obtenue à 28 j (exprimée en MPa).

Classe de résistance normalisée	B 150	B 200	B 250	B 300	B 350
Résistance à la compression (MPa)	15	20	25	30	35
Résistance à la traction par flexion (MPa)			2	2,2	2,4

Avantages présentés par le BPE.

- i. Le béton est commandé à la carte compte tenu des parties de l'ouvrage à bétonner et des moyens de serrage dont dispose le chantier. L'entrepreneur peut choisir la granulométrie, la résistance, la nature du ciment (en fonction de l'agressivité du milieu). De telles variétés de bétons seraient difficiles à fabriquer au chantier, à moins de disposer d'ouvriers et de cadres très qualifiés (le prix serait en conséquence).
- ii. La sécurité d'avoir un béton régulier et répondant aux exigences notamment mécaniques puisque le client prescrit au producteur sa composition.
- iii. Des cadences de bétonnage élevées,
- iv. L'achat et le stockage des matériaux évités et la réduction des nuisances sur le chantier (bruit, poussière, encombrement),
- v. Livraison en temps voulu,
- vi. Le prix est connu avec précision.
- vii. Disposition de conseils sur le choix du béton et de sa mise en place.

Evolution normative.

La norme NF EN 206-1, mise en application en France à partir du 1/1/2005, comporte des évolutions par rapport à la norme XP P18-305.

Ces évolutions concernent :

- i. la clarification des responsabilités techniques du prescripteur, du producteur et de l'utilisateur du béton;
- ii. un vocabulaire nouveau (type de béton, classes de résistances, classes d'exposition, classes de consistances...),
- iii. l'imposition de fréquences élevées de prélèvements dans la norme du contrôle de production,
- iv. des critères de conformité plus exigeants pour les bétons de résistance caractéristique inférieure ou égale à 30 MPa,
- v. l'imposition d'une mesure et d'une mention de la teneur en chlorures de chaque béton.