

# Solutions béton

Les bétons autoplaçants	P. 2
Principes de formulation des BAP	P. 3
Fabrication, transport et mise en œuvre des BAP	P. 4
Performances et durabilité des BAP	P. 6
Domaines d'utilisation privilégiés des BAP	P. 6
Essais de caractérisation spécifiques au BAP	P. 7
Classification et spécifications des BAP à l'état frais	P. 8
Atouts des BAP	Rabat



## Les bétons autoplaçants

Les **bétons autoplaçants (BAP)** s'inscrivent dans une logique de progrès qui contribue à une meilleure maîtrise de la construction des ouvrages, à la sécurité et à la santé des ouvriers.

Sur les chantiers, comme dans les usines de préfabrication, ils offrent une chaîne d'avantages multiples, liés à leurs caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et leur mise en œuvre sans vibration : réduction des délais d'exécution, qualité des parements, bétonnage aisé de structures complexes, de très grande hauteur ou très armées, remplissage optimal des coffrages et des moules, réduction considérable de la pénibilité pour les ouvriers et des nuisances sonores, gain de sécurité...

Texte : Patrick Guiraud

# Les bétons autoplaçants

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration (compaction sous le seul effet de la gravité sans apport d'énergie extérieure).

Homogènes et stables, ils présentent des résistances, des performances à l'état durci et une durabilité analogues à celles des bétons traditionnels mis en œuvre par vibration. Ils se distinguent des bétons traditionnels principalement par leurs propriétés à l'état frais.

Grâce à leur formulation, ils offrent des caractéristiques exceptionnelles de mobilité et de remplissage des coffrages tout en conservant leur homogénéité lors de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique).

## DES ATOUTS VALIDÉS

Ils se caractérisent par leur fluidité, leur grande capacité d'écoulement, leur faible ressuage, leur pompabilité, ainsi que par un long maintien de leur ouvrabilité.

Les BAP sont utilisés aussi bien coulés en place sur chantier, livrés à partir de centrales de Béton Prêt à l'Emploi et mis en œuvre généralement par pompage (application verticale

ou horizontale), qu'en usine de préfabrication de produits en béton.

Les prescriptions et les règles de conception et de dimensionnement des structures en béton sont applicables au BAP. Ce qui permet de les utiliser en lieu et place de bétons de mêmes caractéristiques mécaniques. Toute la gamme de résistances des bétons spécifiée dans la norme NF EN 206/CN peut être obtenue en bétons autoplaçants.

En France, les premières applications des bétons autoplaçants datent de 1995. Après une phase de recherche, la réalisation d'un Projet National (PN BAP), la mise au point de recommandations par l'Association Française de Génie Civil (AFGC) et des années de développement, les BAP ont été progressivement testés et adoptés par les entreprises pour la réalisation de bâtiments ou de structures de Génie Civil.

Les nombreux chantiers réalisés en BAP ont permis de confirmer les performances de ces bétons et de valider les techniques de mise en œuvre. Les multiples chantiers réussis, tant au sein des grands groupes que des petites et moyennes entreprises, montrent combien ce matériau bouleverse le champ de la construction en béton.

Les BAP affirment leurs performances au fil des réalisations sur chantiers et en usines de préfabrication et s'imposent régulièrement.

**Nota :** L'offre de BAP proposés par le réseau des centrales de BPE couvre toute la gamme des performances mécaniques (des résistances courantes à très élevées), permettant d'obtenir une très grande variété de textures, de teintes et d'aspects de surface.

**Nota :** Les usines de préfabrication ont développé de nouveaux processus de fabrication pour bénéficier des avantages de ce matériau. La majorité des produits préfabriqués en béton sont actuellement couramment réalisés en BAP.

## LES BAP SONT LA RÉPONSE À L'ÉVOLUTION

- Des exigences techniques et esthétiques des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des architectes ;
- des contraintes économiques des entreprises : amélioration de la productivité des chantiers, augmentation des cadences de production, suppression des opérations coûteuses en main-d'œuvre (vibration, ragréage...);
- des exigences environnementales liées à la réduction des impacts sonores des chantiers tout en contribuant pleinement à l'amélioration des conditions de travail et à la sécurité sur les chantiers. ■

### Le Projet National BAP

Les travaux de recherche du Projet National « Bétons Autoplaçants », géré par l'IREX, ont porté sur la rhéologie et la caractérisation des BAP à l'état frais lors de leur mise en œuvre et à l'état durci par des essais en laboratoire et des expérimentations en vraie grandeur.

Le PN BAP qui regroupait tous les partenaires de l'acte de construire (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, préfabricants, laboratoires, fournisseurs de matériaux, organismes de contrôle) a conduit à des avancées significatives, en particulier sur les plans technologiques et de connaissance du matériau dans son environnement de chantier.

Des essais spécifiques ont permis d'améliorer la compréhension des phénomènes de rhéologie et de caractériser les performances du béton frais et du béton durci.

Les travaux de recherche du PN BAP ont permis :

- de valider les tests et essais pertinents de caractérisation des propriétés des BAP à l'état frais (reproductibilité, répétabilité et représentativité des essais) et d'analyser la « sensibilité » des formulations ;
- de définir les recommandations pratiques de fabrication, de mise en œuvre et d'emploi des BAP ;
- d'identifier l'incidence des propriétés des BAP sur les dimensionnements des ouvrages et sur les évolutions des méthodes de construction afin de valoriser les progrès technologiques et architecturaux offerts par ces nouveaux bétons ;
- de mesurer la contribution des BAP à l'amélioration des conditions de travail et à la protection de l'environnement ;
- de faire évoluer la normalisation.

Ils ont confirmé pour les BAP à l'état durci que :

- leurs propriétés mécaniques s'inscrivent dans les modèles et de calcul de dimensionnement des bétons vibrés ;
- leurs performances mécaniques sont similaires voire améliorées par rapport aux bétons vibrés.



### BAP et norme NF EN 206/CN

Le béton autoplaçant est couvert par la norme NF EN 206/CN (Béton : spécification, performance, production et conformité – Complément National de la norme NF EN 206) – 19 décembre 2014.

La norme définit, en particulier dans l'article 4.2, les classes de propriétés des BAP à l'état frais (4.2.1. Classes de consistance, 4.2.2. Classes de propriétés supplémentaires du

BAP) et précise, dans l'annexe G, les lignes directrices pour les exigences relatives au béton autoplaçant à l'état frais.

Le béton autoplaçant est défini article 3.1.14 : « Béton qui s'écoule et se compacte par seul effet gravitaire, capable de remplir le coffrage avec son ferrailage, ses gaines, ses réservations, etc., tout en conservant son homogénéité. »

# Principes de formulation des BAP

**Le défi** à relever lors de la formulation d'un BAP consiste à obtenir un béton fluide qui ne ségrège pas, qui offre une bonne rhéologie et une viscosité adaptée et qui permet la réalisation de parements de qualité.

Les BAP doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sous leur propre poids avec un débit suffisant sans apport d'énergie externe (sans vibration) à travers des zones confinées (armatures, coffrages de formes complexes) en présence d'obstacles et se mettre en place dans des coffrages de grande hauteur.

Ils doivent être stables sous l'effet de la gravité au cours de l'écoulement et dans les phases précédant la prise et le durcissement et aussi pouvoir être mis en œuvre par pompage.

Le principe de formulation vise à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage.

Formuler un BAP consiste donc à concilier des propriétés *a priori* contradictoires : fluidité, stabilité, résistance à la ségrégation « dynamique » (cheminement dans des zones ferraillées) et à la ségrégation

« statique » (pas de ressuage, pas de tassement) une fois le béton en place (la suspension des divers grains qui le constituent doit rester homogène jusqu'à la prise du matériau).

Les études d'optimisation de la formulation des BAP ont pour objectif d'obtenir une formule fiable et robuste facilement contrôlable sur chantier.

Pour ce faire, la formulation des BAP fait appel à quatre principes fondamentaux :

- fluidification de la pâte : cette fluidification est obtenue sans ajout d'eau par utilisation de superplastifiants à fort pouvoir déffloculant ;

- limitation des frottements entre les granulats pour favoriser l'écoulement et la fluidité : augmentation du volume de pâte et diminution du  $D_{max}$  des granulats ( $D_{max}$  compris entre 10 et 16 mm) ;

- stabilisation du mélange pour éviter le ressuage et les risques de ségrégation ;

- maintien de la rhéologie pendant la Durée Pratique d'Utilisation souhaitée.

La formulation des BAP fait appel à :

- des superplastifiants pour obtenir la fluidité nécessaire et des agents de viscosité (ou de cohésion). Les superplastifiants permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment et assurent le maintien de la fluidité. Les agents de viscosité ont pour but de diminuer la sensibilité du béton frais vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation ;

- une quantité de fines (ciments, fillers calcaires...) élevée (400 à 600 kg/m<sup>3</sup>) pour assurer une bonne maniabilité ;

- un volume de pâte élevé pour favoriser en écartant les granulats l'écoulement et la mobilité du béton ;

- un faible volume de gravillons qui peuvent être roulés ou concassés (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1) afin d'améliorer l'écoulement

et éviter le « blocage des granulats » au droit des armatures et dans les zones confinées lors de l'écoulement du béton dans le coffrage ;

- du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées et satisfaire les exigences liées aux classes d'exposition) ;

- un rapport E/C faible et un dosage en eau limité ;

- éventuellement un agent entraîneur d'air pour assurer la protection du béton contre les effets du gel-dégel ;

- éventuellement des fibres pour la confection de béton fibrés.

Les propriétés à l'état frais des BAP sont plus sensibles que celles des bétons traditionnels aux écarts de composition (en particulier aux variations de la teneur en eau).

Il est donc indispensable d'appréhender au stade de l'étude de formulation la sensibilité du BAP aux écarts de composition et principalement aux variations de teneur en eau, et lors des études de conve-

nance de réaliser diverses gâchées en faisant varier la teneur en eau.

La formulation du béton est validée par un ensemble d'essais qui permettent de justifier sa conformité aux propriétés requises dans toute la Fourchette d'Étalement à la Réception (FER) et pendant toute la Durée Pratique d'Utilisation.

Les caractéristiques rhéologiques de la formule retenue et le maintien de la rhéologie dans le temps doivent être adaptés aux conditions (transport, température, formes des coffrages...) et aux méthodes de mise en œuvre sur le chantier (pompage, hauteur des coffrages...).

Le formulateur doit déterminer une Durée Pratique d'Utilisation (DPU) du béton ( $T_m$ ) pendant laquelle le béton doit respecter les caractéristiques propres à sa catégorie. Cette durée peut varier en fonction de différents paramètres dont en particulier l'évolution de la température du béton frais. ■

## Contraintes de formulation

La formulation du BAP doit tenir compte :

- du type d'application : horizontale, verticale ;
- des dimensions de la partie d'ouvrage à bétonner : épaisseur de la dalle, hauteur des voiles ;
- des techniques de mise en œuvre (benne, pompe...)
- du type de pompage : par le haut ou injection en pied de coffrage ;
- de la densité d'armatures ;
- des conditions climatiques ;
- des rythmes et délais de livraison.

## Objectifs de l'étude de formulation

L'étude de formulation du BAP vise à :

- déterminer les caractéristiques et propriétés du BAP à l'état frais : fluidité, mobilité, stabilité statique et dynamique ;
- valider la robustesse de la formule, en particulier vis-à-vis des variations de teneur en eau ;
- vérifier la conformité des performances du béton durci : résistances mécaniques ;
- confirmer le maintien de la rhéologie du béton pendant la Durée Pratique d'Utilisation.

## Épreuve d'étude en laboratoire

L'épreuve d'étude en laboratoire consiste à fabriquer une gâchée nominale et un ensemble de gâchées correspondant à des formules dérivées, destinées à évaluer la sensibilité de la formule aux variations de composition.

Chaque gâchée fait l'objet des essais suivants :

- essai de suivi d'étalement dans le temps (jusqu'à  $T_m$ ) ;
- essai de suivi de stabilité au tamis (à  $t_0$  et  $t_{30}$ ) ;
- essai de suivi de l'écoulement à la boîte en L (à  $t_0$  et  $T_m$ ) ;
- essai de détermination de la résistance à la compression à 28 jours.

# Fabrication, transport et mise en œuvre des BAP

## FABRICATION ET TRANSPORT DES BAP

La formulation des BAP étant plus pointue que celle des bétons traditionnels, leur fabrication nécessite la mise en place de procédures et de contrôles adaptés.

Le temps de malaxage est légèrement plus long que pour un béton classique, afin que le mélange, riche en éléments fins et en adjuvants, soit le plus homogène possible. Certaines formules peuvent nécessiter des séquences de malaxage spécifiques (optimisation de l'ordre d'introduction des constituants dans le malaxeur, temporisation, temps de malaxage adaptés...).

L'un des points les plus importants de la fabrication est le contrôle strict de la teneur en eau du mélange. Il est donc impératif de mettre en œuvre des dispositions visant à maîtriser la teneur en eau du béton, en contrôlant en particulier de manière précise celle des granulats (centrale à béton équipée de sondes d'humidité pour les sables et de mesure de la teneur en eau des gravillons...).

Il est de plus nécessaire d'effectuer un contrôle renforcé des constituants tout au long de la fabrication afin d'assurer la régularité de l'ensemble des performances.

Le producteur de béton définit :

- une Fourchette d'Étalement à la Fabrication (FEF) qui tient compte du délai entre la fabrication et la mise en œuvre (incluant le temps de transport entre le site de production et le chantier) ;
- une Durée Pratique d'Utilisation (DUP) : durée autorisée entre l'heure de fabrication et la fin de la mise en œuvre.

Les BAP sont transportés de la centrale à béton jusqu'au chantier dans des camions toupies classiques.

L'hyperfluidité du béton conduit à prendre des dispositions spécifiques pour éviter des déversements lors du transport.

À l'arrivée sur le site, un brassage à grande vitesse pendant au minimum une minute doit être effectué avant le déchargement.

**Nota :** La commande, la fabrication et le transport des BAP doivent être conformes aux spécifications de la norme NFEN 206/CN.

## MISE EN ŒUVRE DES BAP SUR CHANTIER

D'une manière générale, les contraintes de mise en œuvre des BAP sont nettement plus faibles que celles des bétons traditionnels, grâce à leur facilité de coulage sur de longues distances et de grandes hauteurs et leur mise en place sans vibration.

Les propriétés d'écoulement des BAP permettent l'utilisation de nouvelles procédures de remplissage des coffrages, de pompage et de nouvelles possibilités de mise en œuvre sur les chantiers.

Les BAP peuvent être mis en œuvre soit de façon traditionnelle à la benne à manchette, soit par pompage (en tête ou en pied de coffrage).

Le bétonnage doit être réalisé de préférence en une coulée continue, ce qui impose un planning précis et anticipé des livraisons du BAP afin d'éviter toute interruption.

Il convient de vérifier que la pression générée par les BAP sur le coffrage (fonction de la thixotropie du matériau, de la vitesse de montée du béton dans le coffrage et de sa hauteur) pendant le coulage et juste après le coulage ne dépasse pas les limites de résistance des coffrages et des étalements. Des capteurs d'efforts de traction dans les tiges de

coffrage permettent de contrôler les pressions sur les coffrages au cours de leur remplissage et de vérifier que les vitesses et hauteurs de coulage sont compatibles avec la tenue du coffrage à la poussée du béton.

En usage courant (voile de 2,8 m de hauteur), la poussée lors du coulage ne dépasse pas les limites de résistance des coffrages classiques.

Les BAP exercent, compte tenu de leur fluidité et de leur long maintien de rhéologie, des pressions plus importantes sur les coffrages lorsque les vitesses de bétonnage sont élevées (par exemple en cas de mise en œuvre par pompage, avec des vitesses supérieures à 12 m/h). Dans ce cas, la pression exercée sur le coffrage peut être proche de la pression hydrostatique.

Dans certains cas (voile de très grande hauteur avec de très nombreuses ouvertures), le coffrage doit être spécifiquement étudié.

Comme pour tous les bétons, il convient lors des phases de bétonnage de prendre en compte les conditions climatiques et de mettre en œuvre des dispositions particulières en dehors de la plage de température (+ 5 °C à 30 °C).

Les BAP comme tous les bétons doivent faire l'objet d'une cure effi-

cace, aussitôt après la fin du bétonnage, pour éviter les risques de dessiccation, car ils sont très vulnérables vis-à-vis du retrait plastique.

**Nota :** Pour les BAP de résistance supérieure à 50 MPa, une cure humide est préférable afin de minimiser les effets d'un retrait endogène plus important avec ce type de béton.

## APPLICATION VERTICALE : TROIS TECHNIQUES DE MISE EN ŒUVRE

Pour les applications verticales, 3 techniques de mise en œuvre peuvent être utilisées.

- Mise en œuvre à la benne à manchette traditionnelle ou avec tube plongeur en haut de coffrage.

Le béton est mis en œuvre par déversement en haut du coffrage.

La manche est glissée dans le coffrage pour réduire la hauteur de chute.

Il est nécessaire d'adapter les diamètres de la manche sous la benne par rapport au béton traditionnel pour qu'elle puisse être introduite facilement entre les armatures.

Dans le cas de bétonnage avec un tube plongeur, celui-ci, introduit dans le fond du coffrage, est en immersion dans le béton et il est remonté au fur et à mesure du rem-

### Procédure de réception du BAP sur chantier

La réception du BAP sur chantier doit permettre de vérifier l'aptitude du béton à être mis en œuvre sans aucune vibration et sa conformité à la commande.

Elle consiste en des inspections visuelles et des mesures d'étalement :

- prélèvement d'un échantillon représentatif de BAP ;
- contrôle visuel de l'aspect du BAP ;
- réalisation de l'essai d'étalement au cône d'Abrams ;
- vérification que le résultat est compris dans la fourchette d'acceptation (FER) spécifiée à la commande.

plissage. Son diamètre doit être adapté à la géométrie des coffrages et à la densité d'armatures. Un entonnoir disposé à l'entrée du tube plongeur permet de faciliter l'introduction du béton dans le tube.

#### ■ Mise en œuvre par pompage et injection en pied de coffrage.

Cette méthode est adaptée en particulier pour les éléments verticaux de grande hauteur. Le béton est injecté en pied de coffrage, qui est équipé d'une pipe d'injection en partie basse et d'une trappe coulissante pour obturer l'orifice d'injection en fin de bétonnage.

Il convient de limiter le rebond du béton sur la face opposée à l'injection (inclinaison de la pipe d'injection vers le haut).

Cette technique évite la chute du béton dans le coffrage.

Elle limite les interventions humaines sur les passerelles en haut des coffrages et donc améliore les conditions de sécurité.

Elle impose une organisation rigoureuse des livraisons du béton pour assurer le bétonnage en continu.

#### ■ Mise en œuvre par pompage en tête de coffrage avec tube plongeur.

Le tube plongeur doit être suffisamment introduit dans le coffrage pour limiter au maximum la hauteur de chute. Son diamètre doit être adapté à la place disponible au sein des cages d'armatures. Il est remonté au fur et à mesure de l'élévation du niveau du béton dans le coffrage. Cette procédure est adaptée aux bétonnages d'éléments verticaux.

### BÉTONNAGE HORIZONTAL

Pour les applications horizontales, les BAP peuvent être mis en œuvre par déversement direct depuis la goulotte de la toupie, à la benne à

manchette ou par pompage. Ils se nivellent naturellement sur des diamètres de 5 à 10 m à partir du point de coulage.

Le traitement de surface est effectué au moyen d'une barre dite de « débullage » en 2 passes croisées.

Les BAP ne nécessitent pas d'opération de surfaçage.

La cure doit être appliquée immédiatement après la mise en œuvre du béton afin d'éviter une évaporation d'eau, source de fissuration précoce et de diminution des propriétés du béton d'enrobage.

### PRÉCAUTIONS POUR L'EMPLOI DES BAP

La fluidité des BAP et leurs caractéristiques aux jeunes âges nécessitent le respect de quelques précautions particulières lors de leur mise en œuvre :

- préparation et organisation spécifiques du chantier et évolution des méthodes traditionnelles de construction : matériels, personnels, utilisation de la grue, phasage de réalisation, calages rigoureux des armatures et des réservations ;
- emploi de coffrages propres (absence de graisse, de laitance et de rouille) ;
- parfaite étanchéité des coffrages (talonnets, joints spéciaux) ;
- renforcement des coffrages et des étalements pour résister à la pression en pied de coffrage pendant le coulage ;
- utilisation d'agents de démoulage de qualité, afin d'éviter les phénomènes de micro-bullage, sous forme d'un voile uniforme déposé par pulvérisation ;
- fixation convenable de tous les éléments noyés dans le béton (fourreaux, boîtes inserts, armatures, mannequins...);

■ limitation de la hauteur de chute libre du béton à 5 m, afin d'éviter toute ségrégation ;

■ limitation de la longueur de cheminement horizontal (5 à 10 m maximum à partir du point de distribution) pour éviter les risques de ségrégation ;

■ respect des délais de recouvrement entre couches ;

■ contrôle de la vitesse de béton-

nage afin de limiter la pression sur les coffrages en les équipant de capteurs pour vérifier la tension des tiges de serrage des banches ;

■ vérification que la hauteur et la vitesse de coulage sont compatibles avec la résistance et la stabilité du coffrage ;

■ cure soignée (ces bétons étant plus sensibles aux phénomènes de retrait par dessiccation). ■

#### BAP et fascicule 65

Le fascicule 65 « Cahier des Clauses Techniques Générales : Exécution des ouvrages de Génie Civil en béton » spécifie les bétons et opérations de bétonnage dans son chapitre 8.

Il définit les BAP article 8.1.19 : les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons destinés à être mis en œuvre sans vibration et conformes à la norme *NFEN 206/CN*.

#### ■ Article 8.1.15 – Données de base et exigences complémentaires

Le prescripteur impose au producteur de béton, dans le cas de béton autoplaçant, le respect des spécifications à l'état frais données dans le guide AFGC (2008), « Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants », en fonction de la catégorie retenue.

#### ■ Article 8.2.12.1 – Gâchée nominale

Les résultats sont probants si les conditions suivantes sont remplies : la consistance mesurée (ainsi que les valeurs de stabilité au tamis et d'écoulement à la boîte en L) se trouve dans la fourchette requise.

#### ■ Article 8.2.12.2 – Gâchées dérivées

La robustesse doit être vérifiée par une étude portant sur la sensibilité de la formule au dosage des constituants du béton, à l'aide de formules dérivées de la formule nominale.

#### ■ Article 8.2.3 – Épreuve de convenance

Pour les BAP, l'épreuve de convenance consiste en la fabrication de trois gâchées pour lesquelles on fait varier la teneur en eau dans les limites admissibles prévues à l'étude (gâchée nominale et deux dérivées) afin de parcourir l'étendue de la fourchette d'étalement admissible à la réception.

#### ■ Article 8.4.11 – Vibration du béton

La vibration des bétons autoplaçants est interdite.

#### ■ Article 8.4.2.2 – Béton autoplaçant

Lors de la livraison, un brassage du béton à grande vitesse est effectué pendant une minute au moins avant le début du déchargement. Il est réalisé une inspection visuelle à chaque charge livrée et une mesure d'étalement au minimum sur la première charge de la journée de bétonnage et systématiquement en cas de doute.

Il convient de limiter à une longueur maximale de 10 m le cheminement horizontal dans les coffrages. De même, la hauteur de chute libre est limitée à 5 m.

# Atouts des BAP

**L'aptitude** des BAP de ne pas nécessiter de vibration pour leur mise en place engendre tout une chaîne d'avantages en termes de délai d'exécution, de réduction du matériel de chantier, de facilité de mise en œuvre, d'amélioration des conditions de travail et de sécurité des ouvriers et de qualité des parements.

Les propriétés rhéologiques des BAP à l'état frais et les temps d'ouvrabilité importants et maîtrisés permettent de réaliser des ouvrages difficiles ou impossibles d'accès pour des systèmes classiques de vibration.

La fluidité, la capacité d'écoulement et l'homogénéité des BAP garantissent un enrobage parfait des armatures et un remplissage optimal de tous les recoins des coffrages et des moules quelles que soient la complexité de leurs formes et la densité d'armatures.

## ATOUS DE LA MISE EN ŒUVRE SANS VIBRATION

La mise en œuvre sans vibration permet :

- la réduction des nuisances sonores et vibratoires sur les chantiers et donc de la gêne du voisinage ;
- la suppression des tâches de vibration et donc une réduction de la pénibilité du travail pour les ouvriers sur les chantiers ;
- l'amélioration de la sécurité des ouvriers, en supprimant des postes de travail à risque ;
- la réalisation d'ouvrages ou de parties d'ouvrages pour lesquels les méthodes conventionnelles de vibration sont difficiles, délicates voire impossibles à mettre en œuvre :
  - coulage de voiles à grandes ouvertures et de grandes hauteurs ;
  - bétonnage d'éléments à très forte densité d'armatures (poutres précontraintes de grandes portées, voiles minces de grandes hauteurs

avec de nombreuses réservations) et de formes complexes et d'accessibilité difficile ;

– structures originales et innovantes.

## AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DES PAREMENTS

La fluidité, la cohésion élevée, la facilité et la fiabilité de la mise en œuvre des BAP garantissent la réalisation de parements de qualité.

L'absence de vibration permet d'assurer de manière naturelle l'homogénéité du BAP dans la masse, une finition soignée, l'absence de bullage et de ségrégation.

Les BAP sont au service de l'esthétisme et de la création architecturale, ils offrent aux architectes de nouvelles libertés de construction et possibilités d'expression :

- les formes et géométries complexes deviennent possibles à réaliser ;
- les textures de surface peuvent être plus fines, plus précises et plus fidèles à la peau coffrante, les arêtes plus nettes ;
- les exigences de reproductibilité, d'uniformité des parements et d'homogénéité des teintes et de textures peuvent être satisfaites.

**Nota :** *L'homogénéité naturelle du BAP, permet de réaliser des parements « bruts de décoffrage », sans défauts d'aspect et qui expriment ainsi toute leur minéralité.*

## AMÉLIORATION DES CONDITIONS DE TRAVAIL ET DE LA SÉCURITÉ SUR LES CHANTIERS ET DANS LES USINES

La suppression de la vibration des bétons améliore le confort de travail des ouvriers sur les chantiers (les sollicitations physiques et les postures pénibles engendrées par la vibration à l'aide d'aiguilles vibrantes sur chantier sont à l'origine de lésions du dos et des membres supérieurs).

Les propriétés du BAP permettent de diminuer sensiblement la pénibilité des phases de mise en place du béton : suppression des opérations d'étalement, de lissage, de réglage, de talochage et de surfaçage des bétons.

La suppression des postes de travail à risque sur les chantiers (en particulier les déplacements en partie haute des coffrages lors des bétonnages ou lors des manutentions de bennes) apporte un incontestable accroissement de la sécurité des ouvriers et constitue un progrès indéniable en matière de prévention des risques professionnels et de réduction des accidents de travail.

La suppression du bruit lié à la vibration offre une meilleure perception des autres bruits et le rétablissement des communications entre les acteurs du chantier et donc une plus grande attention en cas de danger potentiel.

En supprimant la vibration, une part non négligeable des nuisances sonores et vibratoires générées par les chantiers disparaît.

Cette propriété est particulièrement intéressante pour la réalisation d'ouvrages en environnement urbain et en zones sensibles soumises à des exigences acoustiques.

## GAIN DE PRODUCTIVITÉ ET ATOUS ÉCONOMIQUES

Les BAP représentent une avancée importante en matière de technologie de construction qui révolutionne l'organisation des chantiers, améliore leur productivité et réduit le coût global des ouvrages.

Ces gains découlent :

- de la réduction des temps de bétonnage : augmentation des cadences de coulage, en particulier grâce à la mise en œuvre possible du béton par pompage ;
- de la diminution des temps unitaires liés à la phase de bétonnage : vidange plus rapide de la benne, meilleur écoulement dans le coffrage, suppression de la phase de vibration, simplification des opérations de finition du béton ;
- de la simplification des phases de coffrage et donc du temps de manutention, préparation, réglage des coffrages ;
- de la suppression de certaines des tâches de chantier : installation, utilisation et repli des outils de vibration... ;
- de la facilité et de la rapidité de mise en œuvre ;
- de la suppression du matériel de vibration : aiguilles vibrantes, vibreurs... ;

### Nécessité d'une approche globale

La valorisation des performances des BAP sur les chantiers nécessite :

- que l'ouvrage soit conçu avec une approche globale lors de la conception et la préparation en amont du chantier (moyens, matériels, techniques constructives...) et lors de sa réalisation (cadences, délais...);
- que le BAP soit spécifié au niveau de l'appel d'offres, ou intégré dans les choix structuraux dès la conception du projet afin d'optimiser le coût global de l'ouvrage ;
- que l'entrepreneur, le fournisseur de coffrages et le fournisseur de béton organisent ensemble en parfaite synergie, avant le démarrage du chantier, les procédures et phasages du bétonnage.

- de l'optimisation de la charge d'utilisation de la grue de chantier ;
- de la réduction des coûts d'entretien des coffrages et des moules (ils ne sont pas sollicités par les effets de la vibration) ;
- de l'économie d'armatures : réduction des longueurs de recouvrement lors de la réalisation de voiles de grande hauteur en une seule passe ;
- de la possibilité de couler de grandes hauteurs sans reprise de bétonnage ;
- de la réduction du nombre d'arrêts de bétonnage et du nombre de levées (pour les structures verticales) ;
- de la réduction des délais de réalisation des chantiers ;
- de l'optimisation de l'organisation des chantiers.

**Nota :** Pour évaluer globalement l'intérêt économique des BAP, il faut aussi tenir compte des nombreux avantages indirects et difficilement monétisables tels que la qualité des ouvrages finis et l'amélioration des conditions de travail (diminution des nuisances sonores et de la pénibilité du travail).

### DE NOUVELLES POSSIBILITÉS SUR LES CHANTIERS

Les BAP offrent aux architectes et aux ingénieurs des possibilités de création et de conception d'ouvrages qui ne sont pas envisageables avec les bétons traditionnels.

- Simplification des dispositions structurelles contraignantes imposées par la mise en place d'un béton vibré ;

- suppression (totale ou partielle) des arrêts de bétonnage ;
- réduction du nombre de phases de construction ;
- réalisation de formes géométriques complexes, de parties inclinées à double coffrage... ;

- bétonnage de structures en « aveugle » ;
- meilleure maîtrise du positionnement des armatures et du calage des réservations. ■

#### Les raisons du choix du BAP

De nombreuses raisons motivent le choix du BAP par les entreprises de BTP et les préfabricants :

- la recherche d'une meilleure qualité esthétique des parements ;
- la possibilité de résoudre des contraintes techniques, liées à la complexité des formes des structures et à la densité du ferrillage ;
- l'optimisation de l'organisation des chantiers (réduction des délais de réalisation, augmentation des vitesses de coulage...);
- la possibilité de réduire les nuisances sonores ;
- les gains de productivité ;
- la recherche d'une économie globale de l'ouvrage.

Et surtout, le souci d'améliorer le confort du travail et la sécurité des ouvriers et de réduire la pénibilité des tâches.

### Recommandations relatives à la classification des BAP

CLASSES	APPLICATIONS PRIVILÉGIÉES
	<b>Étalement</b>
SF1	– Structures en béton non armées ou faiblement armées, bétonnées par le haut avec un libre déplacement du point de remplissage (dalles de maison) – Bétonnage à la pompe par injection – Sections suffisamment petites pour éviter de grandes longueurs de cheminement horizontal (pieux...)
SF2	Nombreuses applications courantes (voiles, poteaux...)
SF3	Applications verticales, structures de formes complexes, ferrillage dense
	<b>Stabilité au tamis</b>
SR1	– Dalle de faible épaisseur – Application verticale avec distance de cheminement inférieure à 5 m, et intervalle d'écoulement supérieur à 80 mm
SR2	– Application verticale avec distance de cheminement supérieure à 5 m, et intervalle d'écoulement inférieur à 80 mm
	<b>Aptitude à l'écoulement</b>
PL1	Structures avec intervalle d'écoulement compris entre 80 et 100 mm (structures verticales d'habitation)
PL2	Structures avec intervalle d'écoulement compris entre 60 et 80 mm (ouvrages Génie Civil)
Aucune spécification	– Dalles de faible épaisseur dont l'intervalle d'écoulement est supérieur à 80 mm – Structures dont l'intervalle d'écoulement est supérieur à 100 mm

# Performances et durabilité des BAP

**Les performances** mécaniques (compression et traction), la durabilité, la porosité, l'adhérence armatures/béton... des BAP sont considérées au moins équivalentes à celles des bétons traditionnels mis en œuvre par vibration.

Toute la gamme de résistances des bétons traditionnels peut être obtenue en autoplaçant en particulier de C 25/30 à C 80/95.

## Performances mécaniques à l'état durci

D'une manière générale, les comportements mécaniques et physico-

chimiques et les principes de dimensionnement des ouvrages en BAP sont similaires à ceux des bétons vibrés.

Les BAP présentent, compte tenu de leur volume de pâte plus important, un module d'élasticité légèrement plus faible et des déformations instantanées et différées (retrait et fluage) légèrement plus élevées que les bétons traditionnels vibrés.

Pour les structures complexes et sensibles aux déformations, pour lesquelles la prise en compte des déformations différées est néces-

saire, il convient d'ajuster les lois de déformation proposées par les normes de dimensionnement des ouvrages en béton (série des normes *NF EN 1992*) à partir d'essais de fluage.

## Durabilité

Les propriétés et performances des BAP permettent d'améliorer le remplissage des coffrages même dans des conditions et des géométries délicates ou pour des éléments fortement ferraiillés et de supprimer tous les risques inhérents à des défauts de vibration.

Il en résulte une meilleure compacité et homogénéité des bétons durcis, gage d'une plus grande durabilité des ouvrages.

Les BAP, formulés avec les mêmes composants que les bétons traditionnels, sont soumis aux mêmes propriétés de transfert et mécanismes d'altération vis-à-vis des agressions externes (attaques sulfatiques, gel...) et internes (carbonatation, pénétration des chlorures). Ils présentent donc une durabilité au moins équivalente à celle des bétons vibrés. ■

# Domaines d'utilisation privilégiés des BAP

**Les BAP** sont utilisables aussi bien pour des applications horizontales que verticales, sur tous les types de chantiers, de bâtiments ou de Génie Civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton.

La majorité des parties d'ouvrage peut être réalisée en BAP (voiles,

poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, mobiliers urbains...). Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton conventionnel est délicate, c'est-à-dire présentant :

■ des densités de ferrailage importantes ;

- des formes et des géométries complexes : voiles courbes... ;
- des voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts... ;
- des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ;
- des voiles de grande hauteur sans reprise de bétonnage ;

- des reprises en sous-œuvre ;
- des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration ;
- des exigences architecturales et de qualité des parements élevées. ■

## BAP et préfabrication

La plupart des industriels du béton ont désormais intégré le béton autoplaçant dans leur processus de fabrication des produits préfabriqués en usine, destinés à la réalisation de bâtiment et de structures de Génie Civil :

- voiles, panneaux de façade, encadrements de portes et fenêtres, encadrements de baies ;
- éléments de structure : poteaux, poutres, poutrelles, cadres, dalles, linteaux, caissons, longrines ;
- escaliers, prédalles ;
- cunettes, regards, cuves, bordures, gradins, caniveaux.

L'absence de vibration et la réduction des nuisances sonores améliorent très sensiblement le confort de travail dans les usines de préfabrication.

L'utilisation du BAP réduit aussi la pénibilité du travail en éliminant les opérations de lissage du béton frais et de ragréage.

Il permet aussi une amélioration de la productivité et une meilleure qualité des parements (homogénéité des teintes et des textures).

## Recommandations AFGC

### Documents scientifiques et techniques de l'AFGC

Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants.  
*Janvier 2008.*

Ces recommandations d'emploi des BAP, mises au point par un groupe d'experts de l'Association Française de Génie Civil (AFGC), constituent un état de l'art global de la connaissance sur les BAP.

Elles couvrent le béton coulé en place et les produits préfabriqués et concernent la gamme des BAP utilisés en Génie Civil et en bâtiment pour des classes de résistance comprises entre C25/30 et C90/105.



AFGC - Association Française de Génie Civil	
RECOMMANDATIONS POUR L'EMPLOI DES BÉTONS AUTO-PLAÇANTS	
1. INTRODUCTION	1
2. DÉFINITIONS	2
3. CLASSIFICATION	3
4. PRÉSENTATION DES BÉTONS AUTO-PLAÇANTS	4
5. CLASSIFICATION DES BÉTONS AUTO-PLAÇANTS	5
6. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES	6
7. PROPRIÉTÉS DE DURABILITÉ	7
8. QUALIFICATION DE LA FORCE DE COMPRESION	8
9. QUALIFICATION DE LA FORCE DE TRACTION	9
10. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	10
11. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	11
12. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	12
13. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	13
14. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	14
15. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	15
16. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	16
17. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	17
18. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	18
19. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	19
20. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	20
21. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	21
22. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	22
23. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	23
24. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	24
25. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	25
26. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	26
27. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	27
28. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	28
29. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	29
30. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	30
31. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	31
32. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	32
33. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	33
34. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	34
35. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	35
36. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	36
37. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	37
38. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	38
39. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	39
40. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	40
41. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	41
42. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	42
43. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	43
44. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	44
45. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	45
46. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	46
47. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	47
48. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	48
49. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	49
50. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	50
51. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	51
52. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	52
53. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	53
54. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	54
55. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	55
56. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	56
57. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	57
58. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	58
59. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	59
60. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	60
61. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	61
62. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	62
63. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	63
64. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	64
65. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	65
66. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	66
67. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	67
68. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	68
69. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	69
70. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	70
71. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	71
72. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	72
73. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	73
74. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	74
75. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	75
76. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	76
77. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	77
78. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	78
79. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	79
80. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	80
81. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	81
82. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	82
83. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	83
84. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	84
85. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	85
86. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	86
87. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	87
88. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	88
89. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	89
90. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	90
91. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	91
92. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	92
93. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	93
94. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	94
95. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	95
96. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	96
97. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	97
98. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	98
99. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	99
100. QUALIFICATION DE LA DURABILITÉ	100



# Essais de caractérisation spécifiques au BAP

Les BAP doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sans apport d'énergie externe (vibration) à travers des zones confinées (armatures et coffrages).

Ils doivent donc offrir une bonne résistance à la ségrégation « dynamique » (en phase de coulage), mais aussi à la ségrégation « statique » (une fois en place), afin de garantir l'homogénéité de leurs caractéristiques, de ne pas présenter de ressuage ou de tassement et de garantir un remplissage optimal des coffrages.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP et leurs propriétés à l'état frais.

## LA MESURE D'ÉTALEMENT AU CÔNE D'ABRAMS

**Fluidité et mobilité en milieu non confiné.**

La fluidité et la mobilité du BAP en milieu non confiné sont caractérisées par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou *slump flow*). Le matériel utilisé pour réaliser cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque métallique. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis de le soulever et de mesurer le diamètre moyen de la galette d'étalement obtenue (2 mesures correspondant à 2 diamètres perpendiculaires). Plus le diamètre est grand, plus le matériau est fluide.

Des valeurs de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. L'étalement doit être défini en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre.

Cet essai est utilisé pour la mise au point de la formulation du BAP. Il permet aussi de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

■ *Norme d'essai : NFEN 12350-8.*

## L'ESSAI DE LA BOÎTE EN L

**Mobilité en milieu confiné.**

La mobilité du BAP en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée, sont mesurées avec l'essai de la boîte en forme de L. Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte en forme de L, puis en levant une trappe (séparant les parties verticale et horizontale de la boîte) de laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers des armatures de diamètre 12 mm (ferraillage complexe : 3 barres distantes de 41 mm, ou simple : 2 barres distantes de 59 mm). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticale (H1 côté trappe) et horizontale (H2).

Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage  $H2/H1$  qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.

Cet essai est utilisé pour la formulation des BAP.

■ *Norme d'essai : NFEN 12350-10.*

## L'ESSAI DE STABILITÉ AU TAMIS

**Résistance à la ségrégation et stabilité du mélange.**

Cet essai permet d'évaluer le risque de ségrégation « statique » et d'étudier le ressuage du BAP, qui doit être stable et conserver une composition homogène sous l'effet de la gravité.

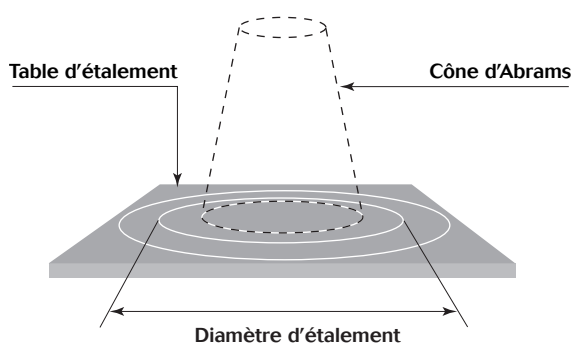
Il consiste à déverser une quantité de béton sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Au bout de 15 min, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.

Le pourcentage en masse de laitance passée à travers le tamis, par rapport à la masse de l'échantillon initial, exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 %. Plus il est faible, plus le béton est stable. Au-delà de 20 %, le béton présente un risque de ségrégation.

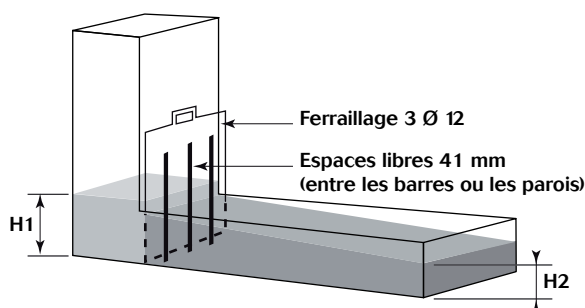
Cet essai permet l'optimisation d'une formulation de BAP.

■ *Norme d'essai : NFEN 12350-11.*

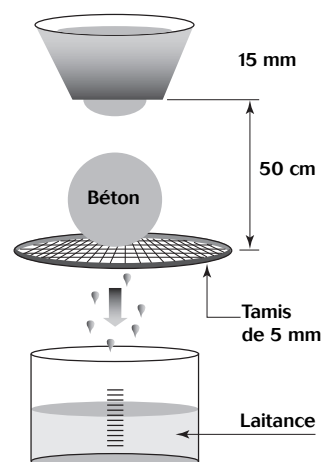
### Mesure d'étalement au cône d'Abrams



### Essai de la boîte en L



### Essai de stabilité au tamis



# Classification et spécifications des BAP à l'état frais

## CATÉGORIES DE BAP

Les bétons autoplaçants sont classés en 3 catégories (1, 2, 3) en fonction de 4 critères :

- type d'application : horizontale ou verticale ;
- valeur de l'intervalle d'écoulement ;
- épaisseur de la dalle (dans le cas d'une application horizontale) ;
- longueur de cheminement.

Les catégories 2 et 3 se décomposent en sous-catégories (2a et 2b, 3a et 3b) en fonction de la longueur maximale de cheminement.

(Voir tableau 1)

## SPÉCIFICATIONS DES BAP À L'ÉTAT FRAIS

Les exigences spécifiques relatives au BAP à l'état frais dépendent en particulier du type d'application, des conditions de confinement liées à la géométrie du coffrage, du matériel et de la technique de mise en œuvre. Les propriétés requises à l'état frais des BAP sont fonction de leur catégorie (1, 2a, 2b, 3a, 3b) et déterminées à partir des valeurs :

- maximale au tamis ;
- minimale à la boîte en L.

(Voir tableau 2)

**Nota :** Les seuils spécifiés dans le tableau 2 doivent être respectés au stade de la qualification de la formulation et pendant toute la Durée Pratique d'Utilisation (DPLU).

## CLASSIFICATION DES BAP

Les BAP font l'objet de 3 classes spécifiques pour caractériser leurs propriétés à l'état frais.

### Classes de consistance

La consistance des BAP peut être spécifiée par plusieurs types de classes :

- classes d'étalement au cône d'Abrams ;
- classes de viscosité apparente : t500 ;
- classe de viscosité apparente : entonnoir en V.

En France, c'est la classe d'étalement au cône d'Abrams qui est essentiellement utilisée et l'on distingue 3 classes de consistance (SF1, SF2, SF3).

Classes de consistance	Étalement en mm
SF1	550 à 650
SF2	660 à 750
SF3	760 à 850

Le choix de la consistance doit tenir compte en particulier de la technique de mise en œuvre.

La valeur de l'étalement d'un BAP (dénommée Fourchette d'Étalement à la Réception : FER) peut être définie :

- sur la base d'une valeur cible comprise entre 600 et 750 mm (avec une variation admissible en général de + ou - 50 mm) ;
- par la désignation d'une classe (SF1, SF2, SF3).

**Nota :** Le BAP ne doit présenter aucun signe de ségrégation ou de ressuage lors de l'essai d'étalement.

**Nota :** On distingue :

- la Fourchette d'Étalement à la Fabrication (FEF) : gamme de valeurs d'étalement admissibles à la fabrication au départ de l'unité de production ;
- la Fourchette d'Étalement à la Réception (FER) : gamme de valeurs d'étalement admissibles à la réception du BAP sur le chantier.

La FER est déterminée lors des essais de qualification du BAP.

## Classes d'aptitude à l'écoulement

L'écoulement du BAP est spécifié par 2 types de classes :

- boîte en L ;
- étalement à l'anneau.

En France, c'est l'essai de la boîte en L qui est le plus utilisé.

Classes d'aptitude à l'écoulement	Taux de remplissage
PL1	Supérieur à 0,8 avec 2 barres
PL2	Supérieur à 0,8 avec 3 barres

## Classes de résistance à la ségrégation

Elle est spécifiée à l'aide de l'essai de stabilité au tamis.

Classes de ségrégation	% de laitance
SR1	Inférieur à 20
SR2	Inférieur à 15

### Intervalle d'écoulement : I

L'intervalle d'écoulement (mm) correspond à la dimension de l'espace le plus petit (plus petite maille d'armatures) au travers duquel le béton doit s'écouler pour se mettre en place correctement dans le coffrage. Il permet, en prenant en compte la géométrie du coffrage, les dimensions et les dispositions des armatures et de leurs espacements, de quantifier la sévérité du confinement lié à la présence d'armatures. Il caractérise le risque de blocage vis-à-vis des armatures et des inserts.

Tableau 2 – Propriétés requises pour le BAP en fonction de sa catégorie

Catégorie de BAP	1	2a	2b	3a	3b
Valeur maximale au tamis : SR	20 %	20 %	15 %	15 %	10 %
Valeur minimale à la boîte en L : H2/H1	Pas de prescription particulière	0,8 avec 2 barres	0,8 avec 2 barres	0,8 avec 3 barres	0,8 avec 3 barres

Tableau 1 – Catégories de BAP

		Application horizontale				Application verticale	
		Épaisseur ≤ 300 mm		Épaisseur > 300 mm			
Longueur maximale de cheminement : L		< 5 m	5 m < L < 10 m	< 5 m	5 m < L < 10 m	< 5 m	5 m < L < 10 m
Intervalle d'écoulement : I	I ≥ 100	1	1	2a	2b	2a	2b
	80 ≤ I < 100	2a	2b	2a	2b	2a	2b
	I < 80	3a	3b	3a	3b	3a	3b