

II.1.Introduction

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland vers 1850, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise. Le sucre, déjà connu comme retardateur de prise, est souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Depuis 1960, avec le développement du béton préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante, fruit d'une expérimentation progressive.

Le développement important des adjuvants nécessite la création en 1964, de la COPLA (Commission Permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton). Elle a pour mission l'agrément et le contrôle des adjuvants et la mise à jour d'une liste officielle.

En 1968, est créé le SYNAD (Syndicat National des Adjuvants) avec pour vocation de développer et faire connaître les adjuvants. [14]

Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a abouti en 1984 à la mise en place d'une certification avec la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité.

Aujourd'hui, après des années de progrès, on a mis au point des normes de performance excellentes pour les adjuvants du béton. Au début, le choix était fondé sur un nombre limité d'études de comportement en chantier, et on spécifiait la marque de commerce désirée. A la suite d'abus, on a tenté de spécifier les exigences quant à la composition chimique des matériaux. Les exigences de comportement actuelles sont celles qui sont prescrites et mentionnées dans la norme A23.1-1967 de l'Association Canadienne de Normalisation: "Constituants du béton et méthodes de construction en béton". Cette norme, en plus de prescrire les exigences relatives à l'effet spécifique de l'adjuvant, spécifie

que l'adjuvant ne doit pas nuire aux autres propriétés du béton. Grâce à une série d'essais normalisés, il est possible d'évaluer le comportement d'un adjuvant.

Ils constituent un atout précieux pour la formulation de bétons adaptés à leurs multiples usages et pour garantir l'esthétique des parements et la durabilité des ouvrages. Ils évoluent en permanence et n'ont pas fini de nous surprendre.

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 liquide. Certains adjuvants existent en poudre, 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

L'utilisation d'adjuvants remonterait aux Romains qui utilisaient du sang de bœuf et du jaune d'œuf dans leur mélange de chaux et de pouzzolane. Le pouvoir coagulant du sang était utilisé pour accélérer la prise des mortiers. Au début, les adjuvants étaient à base de matière organique et utilisés de manière empirique.

Au cours du XX^e siècle, des progrès scientifiques ont permis de développer des adjuvants avec des propriétés spécifiques. Leur utilisation s'est généralisée ces dernières décennies. Ils sont aujourd'hui incorporés dans tous les types de bétons, qu'ils soient livrés prêts à l'emploi, utilisés en usine de préfabrication ou fabriqués sur chantier.[14]

II.2.Fonction principale et secondaire

Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, caractérisée par la ou les modifications majeures qu'il apporte aux propriétés des bétons, des mortiers ou des coulis, à l'état frais ou durci. L'efficacité de la fonction principale de chaque adjuvant peut varier en fonction de son dosage et des composants du béton (ciment, sable et fines en particulier).

Les performances des adjuvants et les plages de dosages permettant de satisfaire aux exigences normales sont précisées dans les fiches techniques des fournisseurs.

La performance d'un adjuvant est jugée vis-à-vis de son aptitude à être efficace dans son utilisation prévue (fonction principale) sans produire d'effets secondaires dommageables.

Un adjuvant présente en effet généralement une ou plusieurs fonctions secondaires qui sont le plus souvent indépendantes de la fonction principale. Certains plastifiants ont par exemple une fonction secondaire d'accélérateur de durcissement.

Des effets recherchés cumulés peuvent être obtenus en associant plusieurs adjuvants.

Les effets de chaque adjuvant varient en fonction de son dosage. Il est donc indispensable, lors de l'utilisation d'un adjuvant, de s'assurer, par des essais préalables représentatifs des conditions de réalisation du chantier, de son efficacité.

L'utilisation d'adjuvants pour la production de béton de structures doit respecter les exigences de la norme NF EN 206/CN. L'emploi d'un adjuvant ne doit pas altérer les caractéristiques mécaniques, physiques ou chimiques du béton, du mortier ou du coulis. Il ne doit pas nuire aux caractéristiques des armatures et en particulier leur adhérence au béton.

Les adjuvants jouent un rôle de plus en plus important dans la technologie du béton. Leurs mécanismes d'action sont très complexes, en particulier pour les adjuvants de nouvelles générations. En effet, l'action d'un adjuvant est fonction de son dosage, du type de ciment, de sa séquence d'introduction dans le malaxeur et des conditions climatiques lors de la mise en œuvre du béton.

II.3.Compatibilité ciment-adjuvant

Chaque ciment a son propre comportement vis-à-vis des adjuvants. Lors de la formulation d'un béton pour une application donnée, il convient de valider l'adéquation

entre le ciment, les adjuvants et leurs dosages respectifs (étude compatibilité ciment-adjuvant) et d'optimiser le couple ciment-adjuvant.

Une méthode basée sur le concept de Mortier de Béton Équivalent (MBE) permet de valider efficacement et simplement les compatibilités du couple.

Tableaux (II-1) : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment. [14]

Adjuvants	Dosage en %
Plastifiants	0.15 à 1.2
Super plastifiants	0.6 à 2.5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0.8 à 2
Retardateurs de prise	0.2 à 0.8
Hydrofuges	0.5 à 2
Entraîneurs d'air	0.05 à 3
Réducteurs d'eau	0.1 à 2

II.4. Classification et utilisation :

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 « effets secondaires ».

La norme européenne a retenu la classification suivante :

- ❖ Plastifiants réducteurs d'eau,
- ❖ Superplastifiants hautement réducteurs d'eau,
- ❖ Entraîneurs d'air,

- ❖ Accélérateurs de prise,
- ❖ Accélérateurs de durcissement,
- ❖ Retardateurs de prise,
- ❖ Hydrofuges,

Certains adjuvants peuvent avoir plusieurs de ces fonctions, on parle alors, en France, de fonction principale et de fonction secondaire. Exemple : plastifiant réducteur d'eau (ou superplastifiant hautement réducteur d'eau) et retardateur.

Il existe également d'autres adjuvants qui ne figurent pas dans la norme européenne :

Raidisseurs pour béton projeté, adjuvants pour coulis d'injection, adjuvants pour mortier stabilisé

II.5. Les trois grandes catégories d'adjuvants

II.5.1. Les adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton

- ❖ plastifiants réducteurs d'eau ;
- ❖ superplastifiants hauts réducteurs d'eau.

II.5.2. Les adjuvants qui modifient la prise et le durcissement

- ❖ accélérateurs de prise ;
- ❖ accélérateurs de durcissement ;
- ❖ retardateurs de prise.

II.5.3. Les adjuvants qui modifient certaines propriétés du béton

- ❖ entraîneurs d'air ;
- ❖ hydrofuges de masse ;
- ❖ rétenteurs d'eau.

II.6. Les qualités de l'adjuvant :

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton en faibles quantités afin d'en améliorer certaines propriétés. Les adjuvants les plus courants peuvent être organiques ou inorganiques et sont habituellement classés selon leur fonction :

- ❖ Les réducteurs d'eau qui ont pour fonction de diminuer le rapport E/C du béton tout en conservant la maniabilité désirée.
- ❖ Les retardateurs qui permettent de ralentir le durcissement de la pâte.
- ❖ Les accélérateurs qui permettent d'accélérer le développement de la résistance au jeune âge du béton et d'accélérer sa prise.
- ❖ Les superplastifiants qui sont des polymères organiques solubles dans l'eau et dont la synthèse conduit à de longues chaînes de molécules de masses moléculaires élevées. Leur principale action est

de s'enrouler autour des grains de ciment de sorte qu'ils se repoussent

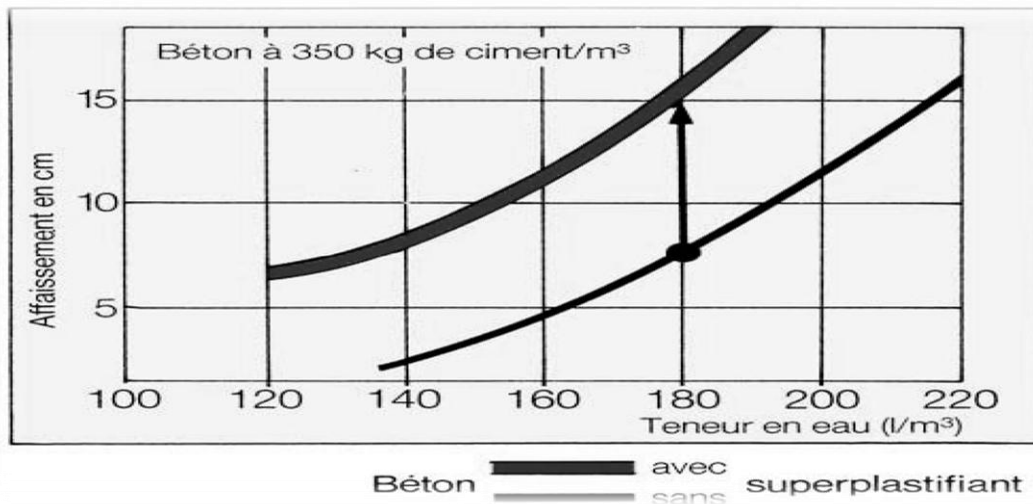
les uns les autres, entraînant une dispersion des grains.

Les ajouts entraîneurs d'air qui confèrent au béton durci la capacité de résister aux effets de gels et de dégel successifs en favorisant la formation de micro-bulles d'air réparties de façon homogène

II.7. Les superplastifiants :

Les superplastifiants sont des réducteurs d'eau.[16]

A un rapport eau/ciment et une teneur en eau donnés dans le béton, l'action dispersante des superplastifiants augmente la maniabilité du béton, en augmentant de façon habituelle l'affaissement de 75 mm à 200 mm, le béton conservant sa cohésion (voir figure II.1)



Figure(II-1) : Relation entre affaissement et le dosage en eau d’un béton avec et sans superplastifiant.[16]

Les superplastifiants ne modifient pas fondamentalement la structure de la pate de ciment hydraté, leur principal effet étant une meilleure distribution des grains de ciment et conséquemment, leur meilleure hydratation. Cela pourrait expliquer pourquoi, dans certains cas, les superplastifiant augmentent la résistance du béton à rapport eau/ciment constant. Des augmentations de 10% de la résistance à 24 heures et de 20% à 28 jours ont été observées, mais un tel comportement n’a pas été universellement confirmé

II.7.1.Rôle de superplastifiants :

Les superplastifiants – réducteurs d’eau ont été les premiers adjuvants à utiliser. A dose normale ceux-ci permettent une diminution de l’ordre de 10 à 15% du dosage en eau à même consistance.

Un surdosage diminue la quantité d’eau d’une façon appréciable, mais présente des effets secondaires négatifs tels que l’air entrainer, la ségrégation, le ressuage et retarde le début de prise du béton

II.8.Plastifiants normaux

Les adjuvants sont des composants importants du béton, ainsi que le ciment, l’eau, les agrégats et, dans le cas de béton armé, l’acier les plastifiants normaux constituent

environ 40% de tous les adjuvants vendus en Europe les plastifiants normaux, aussi appelés des Adjuvants Réducteurs d'Eau, sont, en règle générale, à base de lignosulfonate de calcium. C'est un polymère organique naturel soluble dans l'eau que l'on trouve dans le bois. Il est récupéré comme déchet dans le processus de fabrication de la pulpe à papier. Une fois raffiné, le lignosulfonate est ajouté au béton ; il disperse les particules de ciment, réduisant ainsi la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une consistance donnée dans le béton frais.

Cet effet peut être mis à profit de trois façons :

Pour réduire la quantité d'eau, pour augmenter des résistances mécaniques et pour réduire la perméabilité et améliorer la durabilité

Comme dispersant de ciment à volume d'eau égal pour augmenter la consistance et la maniabilité

Pour réduire la quantité de ciment nécessaire pour obtenir un béton d'une résistance mécanique et d'une durabilité spécifique.

Avec un dosage légèrement plus fort de cet adjuvant, deux ou plus de ces effets peuvent être obtenus en même temps. Cet Eco-profile est valable pour les plastifiants normaux à base de lignosulfonate de calcium.

Le lignosulfonate de calcium peut être mélangé en usine avec d'autres produits chimiques pour lui donner des propriétés bien ciblées. Les plastifiants normaux sont normalement dissous dans de l'eau et contiennent en règle générale de 30 à 45% de matière active.

L'Eco-Profile couvre la production en Europe des plastifiants normaux depuis leur extraction à leur mise en application.

Le transport des plastifiants normaux de chez le fabricant vers le consommateur sur client n'est pas pris en compte.

Les membres de l'EFCA (European Fédération of Concrète Associations) ont recueilli les données de fabrication pour la synthèse et le mélange des plastifiants normaux

en 2005. Cette déclaration environnementale se base sur les chiffres des quatre plus gros fabricants de plastifiants normaux d'Europe et est une moyenne des types de plastifiants normaux décrits.

La variation entre ces types de plastifiants normaux et entre ces fabricants fait ressortir des différences relativement petites dans (l'évaluation du cycle de vie) du béton. Cependant, les chiffres ne doivent pas être pris comme valeurs absolues pour quelconque fabricant ou quelconque type de plastifiant normal.

II.9. Les modes d'action des adjuvants

II.9.1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité des bétons

Ces adjuvants modifient le comportement rhéologique des bétons, mortiers et coulis à l'état frais, avant le début de prise. Ils abaissent le seuil de cisaillement de la pâte et en modifient la viscosité. Ils augmentent la maniabilité tout en réduisant la quantité d'eau de gâchage, ce qui facilite la mise en place des bétons.

Ils permettent d'augmenter la compacité du mélange, ce qui se traduit par une amélioration des résistances.

II.9.1.1. plastifiants – réducteurs d'eau

Ces adjuvants ont pour fonction principale de conduire, à même ouvrabilité, à une augmentation des résistances mécaniques par une réduction de la teneur en eau d'un béton. Ils permettent aussi d'augmenter la plasticité du béton à teneur en eau constante et donc de faciliter sa mise en œuvre.

Ils provoquent une défloculation des grains de ciment. En effet, il existe à la surface des grains de ciment des forces d'attraction qui ont tendance à les faire s'agglomérer entre eux sous forme de flocons ou flocs et piéger une partie de l'eau du mélange. Ils dispersent les grains de ciment et libèrent l'eau piégée, ce qui génère un gain de fluidité. Ils augmentent la compacité du béton par réduction de l'eau de gâchage. Ils permettent aussi de réduire le risque de ségrégation des bétons.

Ces adjuvants peuvent être à base de lignosulfates, de sels d'acides organiques, de naphthalène (poly naphthalène sulfonât)...

Ils permettent :

- ❖ d'augmenter la compacité du béton entraînant une amélioration des résistances,
- ❖ de faciliter la mise en place du béton,
- ❖ d'augmenter la maniabilité tout en réduisant l'eau de gâchage,
- ❖ de réduire la ségrégation,

Les domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Béton prêt à l'emploi **BPE**,
- ❖ Bétons architectoniques,
- ❖ Bétons d'ouvrages d'art courants jusqu'à B40,
- ❖ Bétons de bâtiment,
- ❖ Bétons manufacturés,
- ❖ Bétons routiers,
- ❖ Bétons projetés.

Leur dosage moyen est de 0,3 à 0,5 % du poids du ciment.

Ces informations sont données à titre indicatif et ne dispensent, en aucun cas, de consulter le fabricant avant toute utilisation.

II.9.1.2. Superplastifiants – hauts réducteurs d'eau

Ils ont pour fonction principale de provoquer un fort accroissement de l'ouvrabilité du mélange tout en conservant les performances mécaniques. Ils permettent aussi, sans modifier la consistance (ou maniabilité) du béton, de réduire fortement la teneur en eau de gâchage et donc le rapport E/C. Ils confèrent aux bétons des résistances mécaniques à court terme et à très long terme élevées.

Ils peuvent offrir un long maintien de rhéologie et limitent les risques de dessiccation et de ségrégation. Ils facilitent la réalisation des reprises de bétonnage. Ils conduisent à des bétons à compacité élevée grâce à la forte réduction d'eau, gage de durabilité. La montée en résistance rapide des bétons permet des décoffrages rapides.

De réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage tout en maintenant la maniabilité,

- ❖ d'augmenter la maniabilité tout en conservant les performances,
- ❖ de réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en terme de : résistances mécaniques initiales et finales élevées - diminution de la porosité et - accroissement de la durabilité.

Les Domaines d'application sont les suivants

- ❖ Béton Prêt à l'Emploi **BPE**
- ❖ Bétons Haute Performance **BHP** et Bétons Très Haute Performance **BTHP**,
- ❖ Bétons auto nivelant **BAN**
- ❖ Bétons Auto Plaçant **BAP**
- ❖ Bétons d'ouvrages d'art,
- ❖ Bétons de dallages industriels,
- ❖ Bétons de bâtiment,
- ❖ Bétons précontraints,
- ❖ Bétons pompés,
- ❖ Bétons pour fondations profondes,
- ❖ Bétons pour ouvrages fortement ferrailés,
- ❖ Bétons soumis à des milieux agressifs,
- ❖ Bétons architectoniques.

Ils offrent 2 propriétés :

- ❖ soit d'améliorer considérablement la consistance du béton à teneur en eau constante et donc de faciliter sa mise en place ;

- ❖ soit de réduire fortement la teneur en eau, à consistance identique, et ainsi d'améliorer les résistances mécaniques du béton durci.

Ils ont considérablement amélioré les performances des bétons et ont permis notamment le développement des Bétons à Hautes Performances (BHP), des Bétons Fibrés à Ultra hautes Performances (BFUP) et des bétons auto plaçant (BAP).

Ce sont en général des produits de synthèse organique : polycarboxylates, polyacrylates, dérivés de naphthalène et mélamines sulfonés.

I.9.2.Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants modifient les solubilités des différents constituants des ciments et surtout leur vitesse de dissolution.

II.9.2.1.Accélérateur de durcissement

Les accélérateurs de durcissement augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.

Les accélérateurs de durcissement sont normés selon la NF EN 934-2 d'Avril 1998.

Rappel : La vie du béton passe par trois phases essentielles :

- ✓ plastique : fabrication, transport et mise en œuvre,
- ✓ prise : perte de maniabilité, faibles résistances mécaniques,
- ✓ durcissement : augmentation des résistances mécaniques.

Les accélérateurs de durcissement permettent :

- ❖ d'accroître la vitesse de montée en résistance du béton.

Les Domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Béton prêt à l'emploi BPE,
- ❖ Bétons nécessitant une résistance à court terme,

- ❖ Bétons pour décoffrages rapides,
- ❖ Bétons précontraints.

Leur dosage moyen est de 0,8 à 2 % du poids du ciment.

Ces informations sont données à titre indicatif et ne dispensent, en aucun cas, de consulter le fabricant avant toute utilisation.

Ancienne appellation : Accélérateurs non chlorés - Ancienne Norme NF P 18-332 de Décembre 1986

II.9.2.2. Accélérateurs de prise

Les accélérateurs de prise permettent de diminuer le temps de début de prise du béton.

Les accélérateurs de prise sont normés par la NF EN 934-2 d'avril 1998.

Ils permettent :

- ❖ de réduire les temps de prise,
- ❖ de mettre le béton hors gel,
- ❖ d'augmenter la rotation des coffrages.

Leurs domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Béton prêt à l'emploi **BPE**,
- ❖ Bétons hors gel,
- ❖ Bétons à hautes performances initiales **BHP**,
- ❖ Bétons manufacturés,
- ❖ Bétons pour travaux en zones de marnage,
- ❖ Bétons par temps froids,

Leur dosage moyen est de 1 à 3 % du poids du ciment.

Ces informations sont données à titre indicatif et ne dispensent, en aucun cas, de consulter le fabricant avant toute utilisation

Les accélérateurs chlorés peuvent être utilisés dans le béton armé, dans les limites mentionnées dans la norme P 18-203 (anciennement DTU 21-4 d'Octobre 1977). [15]

Les accélérateurs de prise chlorés doivent être en conformité avec la Norme P 18-203 (anciennement DTU 21-4 d'Octobre 1977) [15]

II.9.2.3.Retardateurs de prise

Les retardateurs de prise permettent de retarder le début de prise du béton.

Les retardateurs de prise sont normés par la **NF 934-2** d'avril 1998.

Ils permettent :

- ❖ d'augmenter le temps de début de prise,
- ❖ de réguler le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

Les domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Béton prêt à l'emploi **BPE**,
- ❖ Bétons pompés,
- ❖ Bétons pour ouvrages de masse,
- ❖ Coulage du béton en continu,
- ❖ Coulage de béton par temps chauds.
- ❖ Transports sur longues distances

Leur dosage moyen est de 0,2 à 0,5 % du poids du ciment.

Pour des coulages par temps chauds et par vents, il est indispensable d'utiliser un Produit de Cure NF.

II.9.2.4. Entraîneurs d'air

Les entraîneurs d'air permettent : d'entraîner, à l'intérieur du béton, des micro-bulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci, d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel...

Les entraîneurs d'air sont normés par la NF EN 934-2 d'avril 1998.

Ils permettent :

- ❖ d'entraîner, à l'intérieur du béton, des micro-bulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci,
- ❖ d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel et des sels de déverglaçage,
- ❖ de faciliter la mise en œuvre du béton.

Les domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Bétons prêt à l'emploi **BPE**,
- ❖ Bétons d'ouvrages d'art exposés aux cycles gel/dégel (association avec un superplastifiant recommandée).
- ❖ Bétons devant résister aux cycles de gel et de dégel,
- ❖ Bétons extrudés,
- ❖ Bétons routiers.

Leur dosage moyen est de 0,05 à 0,2 % du poids du ciment.

Ces informations sont données à titre indicatif et ne dispensent, en aucun cas, de consulter le fabricant avant toute utilisation

Leur utilisation doit être contrôlée régulièrement à l'aide d'un aéromètre.

II.9.3.Adjuvants modifiant certaines propriétés des bétons**II.9.3.1.Entraîneurs d'air**

Les entraîneurs d'air ont pour fonction d'entraîner la formation dans le béton, pendant le malaxage, de microbulles d'air (de diamètre inférieur à 100 microns) uniformément réparties dans la masse ces microbulles subsistent après durcissement.

Le béton durci contient naturellement une certaine quantité d'air provenant, soit d'un entraînement lors du malaxage, soit de l'évaporation de l'eau de gâchage non fixée. Cet air est réparti de manière aléatoire. En revanche, l'entraîneur d'air permet d'en entraîner un volume supérieur et de le répartir uniformément. La résistance au gel du béton durci ainsi que sa résistance aux sels de déverglaçage sont considérablement améliorées. Les microbulles qui coupent les réseaux capillaires limitent le développement des contraintes dues au gel de l'eau interstitielle (en créant de petits vases d'expansion pour l'eau interstitielle). Les entraîneurs d'air sont des corps tensio-actifs : lignosulfonates, abiétates de résines, sels d'éthanolamine.

II.9.3.2.hydrofuge de masse

Les hydrofuges de masse permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques.

Les hydrofuges de masse sont normés selon la NF EN 934-2 d'avril 1998.[2]

Rappel: Ils se combinent à la chaux d'origine pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du mortier ou du béton.

Les hydrofuges de masse permettent :

- ❖ de réduire la perméabilité et l'absorption capillaire du béton,
- ❖ de réduire l'apparition des efflorescences.

Les domaines d'application sont les suivants :

- ❖ Béton prêt à l'emploi **BPE**

- ❖ Bétons étanches dans la masse, fondations, radiers, réservoirs,
- ❖ Bétons manufacturés : bordures, pavés, ...

Leur dosage moyen est de 0,5 à 2 % du poids du ciment.

Ces informations sont données à titre indicatif et ne dispensent, en aucun cas, de consulter le fabricant avant toute utilisation.

(Ancienne Norme NF P 18-334 de Décembre 1986)

II.10. Les multiples atouts des adjuvants

Les adjuvants, produits stratégiques pour la formulation des bétons, leur apportent une forte valeur ajoutée pour toutes leurs applications. Ils sont au service de la rhéologie des bétons frais et sont gage de qualité des bétons durcis et de durabilité des ouvrages.

Fabriquer du béton est une activité de proximité, dépendante de la géologie locale pour le choix des granulats, limitée pour le choix du ciment par le coût financier et environnemental du transport. C'est finalement l'adjuvant qui permettra de concilier tous ces critères physico-chimiques : dans la formulation, il permet de réguler les qualités diverses des constituants pour obtenir un matériau normalisé. Il n'y a pas de solution unique mais des milliers de solutions spécifiques.

Ainsi, tout en améliorant les résistances, l'adjuvant apporte aussi une régularité dans le béton : il le rend plus économique, plus répétable et plus écologique.

II.11. Des catalyseurs d'innovations

Les adjuvants actuels sont le fruit de nombreuses évolutions et innovations pour satisfaire de multiples nouvelles contraintes et exigences ils répondent aux propriétés et performances recherchées par les utilisateurs qui souhaitent des bétons de plus en plus techniques : fluidité, maintien de l'ouvrabilité, faible viscosité, fortes cadences de bétonnage, montées en résistance rapides, résistances élevées à long terme, esthétique des parement ils ont permis de catalyser des innovations majeures du monde de la construction

telles que les bétons à hautes performances (BHP), les bétons autobloquants (BAP), les bétons fibrés à ultra hautes performances (BFUP) qui offrent des performances et des propriétés exceptionnelles.

Au cœur de la formulation des bétons, ils permettent d'optimiser les propriétés et les performances des bétons frais et durcis et offrent aux bétons de multiples atouts répondant aux évolutions sociales, économiques et environnementales sans oublier une multitude d'atouts techniques.

II.12. Atouts sociaux

Les adjuvants participent à l'amélioration des conditions de travail sur les chantiers et dans les usines de préfabrication en facilitant la mise en œuvre des bétons.

La volonté d'améliorer le confort des utilisateurs sur les chantiers s'est traduite ces dernières années par une utilisation de bétons de plus en plus fluides (remplacement progressif des bétons de classe de consistance S3 par des bétons de classe de consistance S4 voire S5 et par des BAP). Les nouveaux superplastifiants par exemple permettent d'atteindre des fluidités élevées avec un parfait maintien de rhéologie sans ajout d'eau.

Le développement des BAP, grâce aux adjuvants, a réduit la pénibilité des opérations de bétonnage en supprimant les pathologies liées aux nuisances sonores et à la vibration.

II.13. Atouts économiques

Les adjuvants accroissent la rentabilité des chantiers et la productivité des usines de préfabrication.

II.13.1. Pour les bétons prêts à l'emploi

Les superplastifiants confèrent une fluidité et un long maintien d'ouvrabilité. Le développement de résistances élevées à court terme améliorant les cadences de bétonnage et autorisant des décoffrages rapides, permet de réaliser des chantiers dans des délais plus courts.

II.13.2.En usine de préfabrication

En offrant des résistances mécaniques élevées au jeune âge, les adjuvants assurent en usine de préfabrication des gains de productivité, une optimisation des cycles de production (meilleure rotation des moules grâce à la réduction des temps de prise et de durcissement) et une réduction des cycles d'étuvage et des températures d'étuvage. Il en résulte une réduction des dépenses énergétiques liées à l'étuvage et une baisse des coûts de production.

II.14.Atouts environnementaux

Les adjuvants contribuent à la gestion responsable des ressources naturelles et à l'intégration architecturale des ouvrages dans leur environnement.

II.14.1.Utilisation optimale des ressources naturelles

Les adjuvants offrent une forte augmentation de la durabilité des ouvrages et une utilisation optimale et rationnelle des ressources naturelles. Ils ont permis d'optimiser les dosages en ciment utilisés. Ils permettent aussi d'économiser l'eau. En effet, les plastifiants et les superplastifiants réduisent la quantité d'eau nécessaire à la formulation des bétons de 10 à 20 %.

Dans les usines de préfabrication et les centrales à béton, la logique « zéro déchet » impose, pour éviter les rejets dans les réseaux d'assainissement, d'utiliser en circuit fermé les eaux issues des processus de fabrication pour la formulation des bétons. Les adjuvants permettent cette valorisation en maîtrisant en particulier l'effet des fines présentes dans ces eaux.

II.15.Contribution responsable à la gestion des ressources en granulats

Les adjuvants contribuent pleinement à la gestion de la ressource en granulats en facilitant l'adaptation de la formulation des bétons à la problématique de l'offre en granulats naturels (difficulté d'accès aux gisements, nécessité de composer avec la nature géologique du minéral) :

- ❖ utilisation de granulats concassés en substitution des granulats roulés dont la forme est moins favorable pour l'écoulement des bétons ;
- ❖ utilisation des granulats de roche massive ou des granulats et des sables locaux offrant parfois des propriétés plus délicates à maîtriser. Pour ces matériaux difficiles, les adjuvants doivent absorber notamment les variations de teneur en fines et rééquilibrer les incidences sur les propriétés à l'état frais et durci ;
- ❖ adaptation de la formulation des bétons aux qualités éventuellement fluctuantes des constituants des bétons (ciments, fines, additions éventuelles) ;
- ❖ utilisation de granulats issus de la démolition de béton (granulats recyclés). Ils doivent, dans ce cas en particulier, réguler la demande en eau spécifique de ce type d'agrégats.

II.16. Qualité esthétique des parements

Les bétons adjuvants apportent des réponses aux exigences qualitatives et esthétiques croissantes des architectes. Ils permettent d'élargir l'offre des possibles en termes de formes, de textures et de teintes des parements.

Les propriétés d'écoulement du béton frais sont déterminantes pour l'aspect esthétique des parements. Toute l'expertise de la formulation consiste à maîtriser, grâce aux adjuvants, les propriétés rhéologiques des bétons pour obtenir un mélange homogène et cohésif qui s'écoule parfaitement dans les coffrages et à travers les armatures, en permettant aux bulles d'air de s'échapper et en évitant tout phénomène de ségrégation.

II.17. Atouts techniques

La montée en gamme et la polyvalence d'emploi des adjuvants permettent de formuler tous types de bétons s'adaptant aux exigences de la norme NF EN 206-1/CN, aux cahiers des charges de plus en plus précis et complexes des prescripteurs et aux attentes de plus en plus exigeantes des utilisateurs.

II.18. Les adjuvants permettent :**Pour la formulation des bétons**

- ❖ de respecter les exigences normatives tout en formulant des bétons très fluides qui se mettent en place facilement ;
- ❖ d'autoriser une baisse du rapport E/C et une réduction de la teneur en eau pour obtenir des bétons à très faible perméabilité ;
- ❖ de faciliter l'utilisation de tous types de ciments en particulier les ciments de type CEM II ou CEM III ;

- ❖ d'améliorer la robustesse des formules de béton lorsqu'elles sont soumises à des fluctuations des caractéristiques des constituants ;
- ❖ de formuler des bétons couvrant de larges gammes de résistances et de consistances et offrant une grande compatibilité avec de nombreux ciments ;
- ❖ de réduire la sensibilité des bétons aux aléas de chantier.

Pour la mise en œuvre des bétons

- ❖ d'assurer une livraison de qualité sur les chantiers en évitant les pertes de rhéologie pendant le transport du béton et permettant au béton d'arriver sur le chantier avec la classe de consistance commandée ;
- ❖ de couler des bétons très fluides sans ségrégation et facilitant la mise en place dans les coffrages ;
- ❖ d'assurer une souplesse de livraison et d'utilisation sur les chantiers en garantissant un long maintien de rhéologie et de consistance, en maîtrisant les cinétiques de prise par temps chaud et par temps froid ;
- ❖ d'assurer la pompabilité des bétons sur de grandes longueurs et de grandes hauteurs ;
- ❖ de conserver la rhéologie des bétons pendant de longues périodes et par températures extrêmes, sans pénaliser les résistances mécaniques initiales ;
- ❖ d'offrir une stabilité optimale au béton, évitant des phénomènes de ressuage, tassement et ségrégation.

Pour la durabilité des ouvrages

- ❖ de maîtriser la régularité des propriétés et des performances des bétons pendant toute leur durée de vie ;
- ❖ d'augmenter en particulier la compacité des bétons, offrant ainsi des ouvrages plus pérennes et plus résistants aux attaques et agressions au cours du temps.

II.19. Conclusion

Les adjuvants peuvent être mis à profit dans les techniques modernes de fabrication du béton. Ils peuvent être utilisés à des fins "curatives" ou "préventives", par exemple, l'entraînement de l'air; ils accélèrent aussi le durcissement n les utilise enfin dans le simple but d'économie c'est-à-dire comme réducteurs d'eau. La liste complète des avantages est impressionnante, tant pour le producteur que pour l'utilisateur de béton. Comme on l'a fait aussi remarquer, toutefois, ces avantages sont subordonnés à la bonne utilisation, à la connaissance des effets secondaires et d'autres risques un adjuvant ne peut pas compenser pour un matériau de qualité inférieure, ou un travail mal exécuté dans la plupart des cas, il existe d'autres moyens de satisfaire à une exigence particulière. Cela vaut donc la peine de les considérer, tant sur le plan économique que sur celui de la qualité.

Les adjuvants, dans la pratique courante de fabrication du béton, continueront à occuper une place importante dans la technologie du béton, leur efficacité dépend de leur emploi à bon escient et d'un bon contrôle de leur utilisation. Ceci, par ailleurs, demande non seulement une connaissance fondamentale de la technologie du béton, mais aussi l'acceptation du fait que les adjuvants nécessitent une modification des procédés de fabrication il faut également comprendre la nature essentiellement chimique des adjuvants et les réactions qu'ils suscitent l'architecte et le constructeur n'ont pas besoin de devenir des experts dans le domaine des adjuvants, mais il est évident aujourd'hui qu'ils tireront profit de la connaissance de leur type, leur nature et leurs effets en général.

Le choix d'un adjuvant approprié à un travail donné peut être difficile. Il faut avant tout se demander s'il est, en fait, nécessaire. On doit toujours considérer d'autres possibilités. Quel que soit le type d'adjuvant, il y a généralement plusieurs marques de

commerce sur le marché, chacun comptant plus d'un ingrédient de base. Comme c'était vrai pour les retardateurs de prise, ceci signifie divers effets secondaires. Les produits chimiques sont généralement complexes et parfois variables quant à leur composition, et les formules changent souvent sans que l'utilisateur en soit averti. Le concepteur doit au moins, être conscient de ces considérations d'ordre général. Il doit se rendre compte qu'il faudra prendre des mesures additionnelles nécessaires