

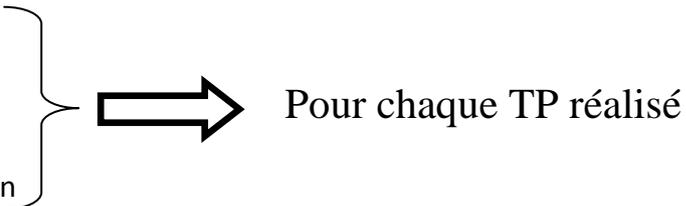
TP Méthodes expérimentales

Plan de travail

Partie 1 : Les essais sur les bétons autoplaçants à l'état frais

❖ Introduction

TP1 : Etalement au côns d'Abrams

- ✓ But de l'essai
 - ✓ Matériel utilisé
 - ✓ Démarche de l'essai
 - ✓ Résultat et interprétation
- 
- Pour chaque TP réalisé

TP2 : Boite en L

TP3 : Stabilité au tamis

❖ Conclusion

Partie 2 : Les essais mécaniques sur mortiers et bétons

❖ Introduction

TP1 : Mortiers avec ciment portland et avec matériaux de substitution au ciment

TP2 : bétons avec ciment portland et avec matériaux de substitution au ciment

❖ Conclusion

Partie 3 : Les essais sur la durabilité du béton

❖ Introduction

TP1 : Attaques chimiques

TP2 : corrosion induite par carbonation

❖ Conclusion

Partie 1 : Les essais sur les bétons autoplçants à l'état frais

Un béton autoplçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration. Les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques.

Les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions des BAP :

1. Les fillers calcaires
2. Les pouzzolanes naturelles
3. Le laitier de haut fourneau
4. La fumée de silice
5. Les cendres volantes,...

❖ Afin d'obtenir une très grande fluidité requise d'un béton autoplçanton utilise généralement un adjuvant fluidifiant de la dernière génération, base de polycarboxylates.

❖ **Les superplastifiants** ce sont des réducteurs d'eau à haute efficacité, et se présentent généralement sous forme de liquide. Le rôle principal de superpastifiant et la dispersion des grains de ciment libèrent de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.

❖ Les critères caractérisant un béton autoplçant sont :

- 1- L'étalement au cône d'Abrams sont généralement fixés dans la fourchette 60 cm à 75 cm.
- 2- Le taux de passage à la boîte en L doit être supérieur à 0,8.
- 3- Le béton doit être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée.

Tableau - Valeurs préconisées pour les essais A.F.G.C

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Etallement | de 60cm à 75cm |
| H₂/H₁ | ≥ 0.8 |
| Laitance | ≤ 15% |

❖ Formulation du béton autoplaçant

Contrairement à la formulation du béton ordinaire, pour la formulation du béton autoplaçant nous n'avons pas suivi une formulation classique.

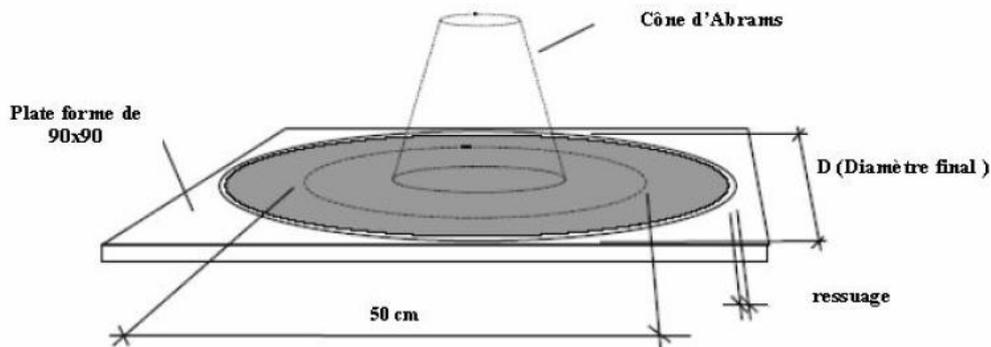
Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m³ du béton, en respectant les paramètres suivants :

- ❖ Un rapport gravier/sable (G/S) proche de 1,
- ❖ Un rapport eau/ciment (E/C) égale à 0,5,
- ❖ Un dosage en ciment plutôt élevé (le dosage minimal du ciment est 300kg/m³).
- ❖ Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant et filler calcaire),
- ❖ $330(l/m^3) \leq \text{volume de pâte} \leq 400(l/m^3)$,
- ❖ $120(kg/m^3) \leq \text{masse d'addition} \leq 200(kg/m^3)$.

| Compositions finales des bétons confectionnés (kg/m ³) | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| G/S | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 |
| Gravier 3/8 | 259,92 | 273,61 | 288,82 | 302,55 |
| Gravier 8/16 | 389,88 | 410,41 | 433,22 | 453,82 |
| Sable 0/3 | 794,2 | 759,98 | 722 | 687,63 |
| Ciment | 350 | 350 | 350 | 350 |
| Filler calcaire | 144,16 | 144,16 | 144,16 | 144,16 |
| Eau | 237,58 | 237,58 | 237,58 | 237,58 |
| SP | 2,8 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |

TP1 : Étalement au côns d'Abrams

Pour la détermination de l'étalement (SLUMP FLOW) on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (≥ 800 par 800 mm), puis il est rempli de BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue qui devrait être comprise entre 600 et 800 mm. Pour l'AFGC les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 60 à 75 cm.



Phot. - Détermination de l'étalement.

TP2 : Boite en L

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

Le mode opératoire est exprimé d'après l' [AFGC] comme suit :

La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39 mm. Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

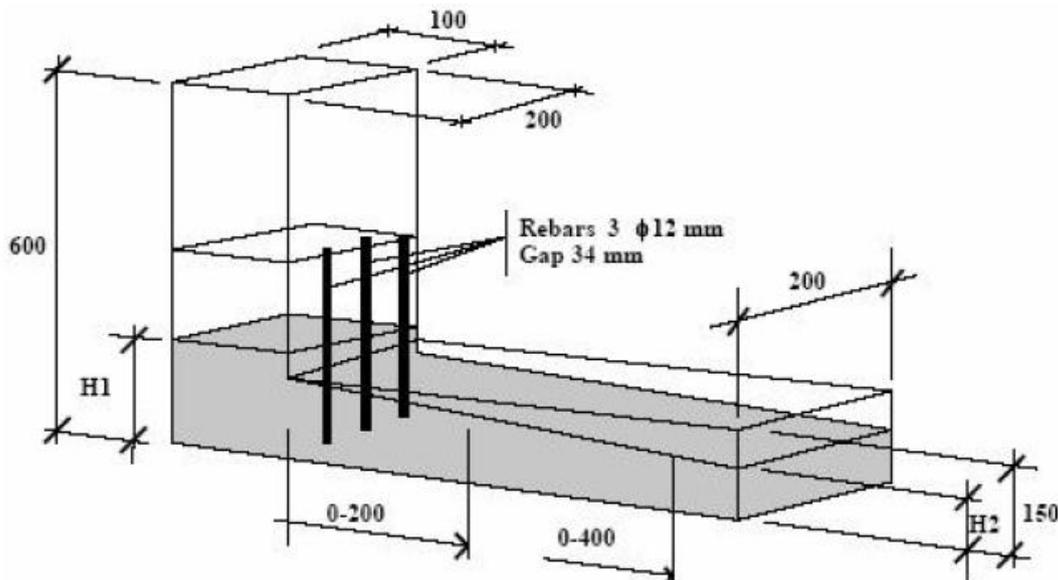


Figure : Représentation schématique de l'essai à la boîte en L

Photo. - Représentation de l'essai à la boîte en L

TP3 : Stabilité au tamis

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10 L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg et de précision de 20 g.

Le mode opératoire d'après les recommandations de l' [AFGC] est le suivant : A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation, la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante:

- $0 \leq \pi \leq 15 \%$ stabilité satisfaisante.
- $15 \% < \pi \leq 30 \%$ stabilité critique, l'essai à refaire in situ.
- $\pi > 30 \%$ stabilité très mauvaise, béton inutilisable.



Photo- Représentation de l'essai de stabilité au tamis

Partie 2 : Les essais mécaniques sur mortiers et bétons

Les éprouvettes destinées aux essais mécaniques des différents bétons sont conservées immédiatement après leurs coulages dans leurs moules couverts par un chiffon humide. Après le premier jour, les éprouvettes sont démoulées et mise dans un bac d'eau contrôlée en température ($T=20^{\circ}\text{C}$) (figure 3). Une heure avant chaque essai mécanique, les éprouvettes sont ressorties du bac et mises à l'air libre sous des conditions ambiantes.



Figure 3: Bac d'eau pour la conservation des éprouvettes.

TP1 : Résistance mécanique des mortiers

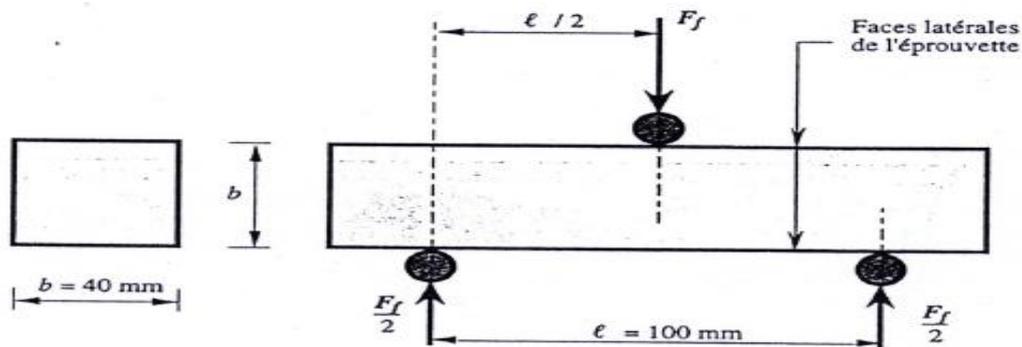
1-1-Détermination de la résistance à la flexion

La valeur de la résistance à la traction par flexion d'une éprouvette prismatique de dimensions données (4 x 4 x 16 cm) en mortier sera déduite par les formules de la résistance des matériaux.

Objectif de l'essai Déterminer la résistance à la traction par flexion d'un mortier.

Conduite de l'essai

- 1- Prendre les éprouvettes 4x4x16 préparées à l'avance et placer entre les appuis de l'appareil de flexion. La face latérale (lisse) de l'éprouvette doit être en contact avec les appuis.
- 2- Amener l'appui supérieur en contact avec la face supérieure de l'éprouvette et appliquer la charge.
- 3- Relever la valeur de la charge de rupture; soit " **F** ".
- 4- Refaire la même opération pour les autres éprouvettes.
- 5- Appliquer la formule suivante, pour calculer la résistance à la traction du mortier



$$R_{tf} = \frac{1.5FL}{a^3}$$

- Avec, - **R_{tf}** : Résistance à la traction en **Mpa**.
 - **F** : Charge de rupture en **N**.
 - **L** : Distance entre appuis inférieurs en **mm**.
 - **a** : Coté de l'éprouvette en m (**a = 40mm**).

1-2-Détermination de la résistance à la compression

- Objectif de l'essai

Déterminer la résistance à la compression d'un mortier.

- Conduite de l'essai

Placer le demi-prisme (obtenu à partir de l'essai de traction par flexion) de l'éprouvette 4x4x16 entre les deux plateaux de la presse. Les faces de l'éprouvette qui sont au contact de la presse doivent être planes et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette.

- 1- Amener les plateaux en contact avec les faces de l'éprouvette, et appliquer la charge.

2- Relever la valeur de la charge de rupture; soit " **F** ".

3- Refaire les mêmes opérations pour les autres demi-prismes.

La résistance à la compression du mortier se calcule par la formule suivante :

$$R_c = F / S$$

Avec, - **R_c** : Résistance à la compression en **MPa**.

- **F** : Charge de rupture en **N**.

- **S** : Section de l'éprouvette en **mm²** (**S = 16. 10² mm²**).

TP2 : Résistance mécanique des bétons

Les essais sur bétons durcis sont réalisés en laboratoire sur des éprouvettes cubiques (**10x10x10 cm**) et des prismes **70 x 70 x 280 mm**.

2-1-Essai de compression

L'essai de compression consiste à soumettre le corps d'épreuve entre les plateaux d'une presse à forces axiales opposées. La presse utilisée a une capacité maximale de **3000 kN** (Figure 1). L'essai s'effectue avec une vitesse de chargement de **0,5 MPa/s** soit **5 kN/s**. Les éprouvettes conçues pour mesurer la résistance à la compression sont des cubes de **100 mm**. Après un bon centrage de l'éprouvette, l'essai s'effectue avec une vitesse de montée de charge constante. Au moment de la rupture, la machine s'arrête et on mesure la charge de rupture.



Figure 1 : Essai de compression

L'expression des résultats sera donnée par la relation $f_{cj} = F/S$ (en MPa) où **F** est la charge maximale et **S** la surface de compression de l'éprouvette.

2-2-Essai de traction par flexion

La résistance à la traction par flexion est déterminée à l'aide d'une machine de flexion par trois points d'une capacité de **200 kN** (Figure 2). Les éprouvettes conçues pour mesurer la traction sont des prismes **70 x 70 x 280 mm**. Après un bon centrage, la mise en charge est effectuée avec une vitesse de montée de charge constante. On prend la mesure de la charge à la rupture de l'éprouvette.

L'expression des résultats pour exprimer la contrainte de rupture en traction par flexion, sera donnée par la relation $R_{tf} = 1.5FL/a^3$ (en MPa), où **F** est la charge de rupture, **L** est la distance entre les deux appuis en mm, et **a** le côté de la base en **mm**.

On peut avoir la résistance à la traction pure par la formule suivante :

$$R_t = R_{tf} \times 0,6$$

Où R_t : résistance à la traction pure.

R_{tf} : résistance à la traction par flexion.



Figure 2 : *Essai de traction par flexion.*

Résultat et interprétation

- ❖ Les résultats de la résistance mécanique obtenus à **7, 14 ,21** et **28** jours représentent la moyenne de trois échantillons.
- ❖ Présenter les résultats sous forme de tableaux.
- ❖ Représenter la variation de la résistance mécanique (en compression au en traction) en fonction du temps. La courbe ne peut différer de cette allure que peu figure 4.



Figure 4 : *Exemple de courbe influence de l'âge du béton sur la résistance en compression.*

Partie 3 : Les essais sur la durabilité du béton

Un ouvrage en béton doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...) c'est-à-dire aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions diverses telles que le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant tout en conservant son esthétisme. Il doit satisfaire, avec un niveau constant, les besoins des utilisateurs au cours de sa durée de service.

TP1 : Attaques chimiques

1-1 : Attaque du béton par les sulfates

La durabilité des échantillons de béton dans l'environnement chimique a été déterminée selon la norme ASTM (The American Society for Testing and Materials) C-1012 . Deux solutions sulfatiques différentes ont été préparés ; 5% de $MgSO_4$ (Fig. 1) et 5% de Na_2SO_4 (Fig. 2). Trois échantillons de chaque mélange de béton pour chaque solution, 6 échantillons au total ont été préparés et immergés dans l'eau saturée de chaux à une température de $20 \pm 2^\circ C$ pendant 60 jours avant leur immersion dans les solutions sulfatiques. Des éprouvettes prismatiques $70 \times 70 \times 280 \text{ mm}^3$ ont été utilisées. Les solutions ont été renouvelées chaque mois. Lorsque des éprouvettes des bétons sont exposées à des sulfates, une expansion est apparue due à une variation de volume causée par la combinaison des sulfates avec les produits d'hydratation.



Figure 2: Immersion des éprouvettes dans la solution de sulfate de sodium (5% Na_2SO_4).



Figure1: Immersion des éprouvettes dans la solution de sulfate de magnésium (5% $MgSO_4$).

Mesure de l'expansion

L'expansion des éprouvettes (70x70x280 mm) munies de plots métalliques, immergées dans différentes solutions agressives a été évaluée en fonction du temps conformément à la norme ASTM C-1012. L'expansion est mesurée sur des éprouvettes à l'aide d'un extensomètre représenté sur la figure 3. L'évolution de la concentration des solutions a été suivie à l'aide d'un PH-mètre



Figure 3: Appareil pour mesurer d'expansion des mortiers

1.2 : Attaque du béton par les acides

La durabilité des échantillons de béton dans l'environnement chimique a été déterminée selon la norme ASTM C-1012 . Deux solutions acides différentes sont préparées 3% H₂SO₄ et 1% HCL. Trois échantillons de chaque mélange de béton pour chaque solution, 6 échantillons au total ont été préparés et immergés dans l'eau saturée de chaux à une température de 20 ± 2°C pendant 28 jours avant leur immersion dans les solutions sulfatiques. Des éprouvettes prismatiques 70 x 70 x 280 mm³ ont été utilisées. Les solutions ont été renouvelées chaque mois.

Mesure de perte de masse

L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon du béton en fonction de temps d'immersion dans des différentes solutions sulfatiques (1% de l'acide chloridrique HCL et 3% de l'acide sulfurique H₂SO₄). La perte de masse a été déterminée par pesée selon la formule suivante:

$$\text{Perte de masse en \%} = \frac{M_0 - M_i}{M_0} \cdot 100$$

Où :

M₀ : masse de l'éprouvette avant l'immersion en (g),

M_i : masse de l'éprouvette à l'instant (i) d'immersion en (g).

TP2 : Corrosion induite par carbonation

On appelle carbonatation la réaction chimique entre le gaz carbonique CO₂ contenu dans l'air et l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂ contenu dans la pâte de ciment. La carbonatation commence à la surface du béton et se propage lentement en profondeur. Son influence sur le béton lui-même est favorable car elle le rend plus compact et augmente donc sa durabilité. Elle agit à la manière d'une protection naturelle contre la pénétration des gaz et des liquides. Le béton non armé profite pleinement de l'influence favorable de la carbonatation.

En revanche, cette même carbonatation peut être à l'origine d'importants dommages sur les structures en béton armé. En effet, la carbonatation diminue l'alcalinité élevée de la solution interstitielle des pores de la pâte de ciment, faisant passer le pH de ± 13 (ce qui protège l'armature) à un pH < à 9. Dès que le "front de carbonatation" atteint la zone de l'armature, ce qui correspond à la fin de la phase 1 (dépassivation), celle-ci peut commencer à s'oxyder (fig 1). La

vitesse à laquelle le front de carbonation pénètre à l'intérieur du béton est d'autant plus grande que le béton est poreux. Elle ralentit cependant progressivement au cours du temps, car la couche déjà carbonatée freine les échanges avec l'extérieur (fig 2).

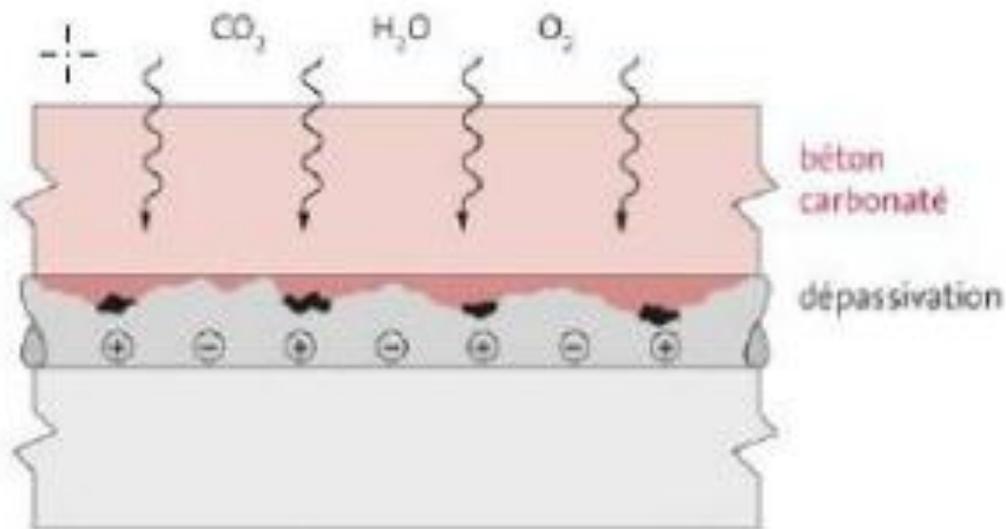


Figure :1

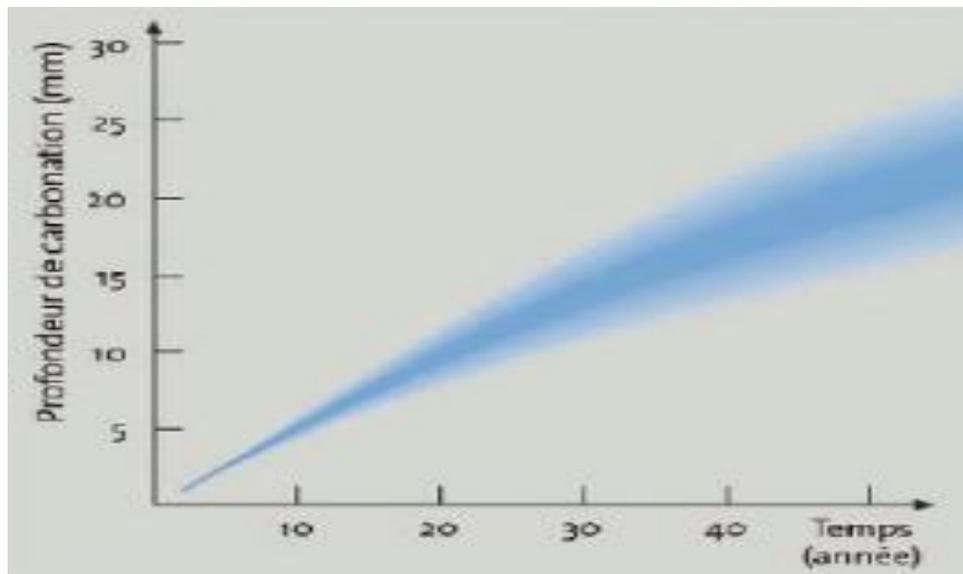


Figure :2

La norme sur les bétons (NF EN 206/CN) introduit la notion de classes d'exposition qui traduit les diverses agressions et attaques que chaque partie

d'ouvrage peut rencontrer au cours de sa durée d'utilisation. Vis-à-vis de la carbonatation, la norme définit 4 classes d'exposition (corrosion induite par carbonatation XC1 à XC4) d'intensité croissante, qui prennent en compte l'exposition du béton à l'air et à l'humidité en distinguant le degré d'humidité de l'environnement et l'alternance d'humidité et de séchage.

| CLASSES D'EXPOSITION | DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| XC1 | Sec ou Humide en permanence |
| XC2 | Humide, rarement sec |
| XC3 | Humidité modérée |
| XC4 | Alternance d'humidité et de séchage |