

LES FACTEURS D'INFLUENCE SUR LA DÉGRADATION DES OUVRAGES EN BÉTON ARME DANS LA RÉGION DE BISKRA

S. HAOUARA¹, A. GUETTALA²

¹ Magister. Département de génie civil, Université de Biskra

² Maître de conférence. Département de génie civil, Université de Biskra et CRSTRA.

RESUME

L'expertise des ouvrages en béton armé dans la région de Biskra a montré que la mauvaise durabilité des structures en béton est due aux multiples facteurs d'influence qui se diffèrent selon le type d'ouvrage et son milieu environnant. Pour bien cerner la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis à vis d'un certain nombre de mécanisme qui le dégrade, notamment le phénomène de la corrosion.

L'objectif de ce travail est modeste mais précis, c'est d'arriver à rassembler les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé de la région étudiée, et faire apparaître leurs fréquences.

MOTS CLES : Béton armé, Dégradation, Durabilité, Diagnostique, Région de Biskra.

1 INTRODUCTION

La région de Biskra qui se situ au sud-est algérien, a connu ces dernières années des problèmes de dégradation qui ont touché des constructions de différentes natures : équipement, habitation, ouvrages d'art.

Ce travail se base sur des informations concernant les ouvrages dégradés de la région, recueillies au niveau de l'agence locale du contrôle technique de la construction (CTC) est et à partir des visites sur site. Ces dernières ont été nécessaires afin de reconnaître la nature des désordres, de décrire leur localisation et d'analyser leur évolution pour enfin arriver aux facteurs caractérisant les problèmes touchant la région. L'enquête s'est portée sur le maximum d'information concernant des exemples d'ouvrages dégradés de la région de Biskra : age, plan, nature des matériaux (ciment, dosage,...) et la nature de l'environnement.

2 LES FACTEURS INFLUANT SUR LA DEGRADATION DES OUVRAGES DANS LA REGION DE BISKRA

Pour chaque type d'ouvrage, les fréquences des différents facteurs d'influence sur la dégradation sont données sous forme d'histogramme selon les rapports de surveillance visuelle des ouvrages.

2.1 Codification

Pour faciliter la présentation et la lectures des histogrammes, les données seront codifiées par des numéros comme suit :

Code 1 : Les facteurs liés à la nature des matériaux.

Code 2 : Les facteurs liés à la mise en œuvre.

Code 3 : Les facteurs liés à la conception.

Code 4 : Les facteurs liés à l'environnement (l'agressivité du sol et les conditions climatiques).

Code 5 : Les facteurs liés aux conditions d'exploitation.

Code 6 : Les facteurs liés au manque d'entretien.

2.2 Données et résultats obtenus

2.2.1 Les facteurs d'influence sur les ouvrages à usage d'habitation :

La dégradation des ouvrages à usage d'habitation a connu la même croissance que celle de la réalisation. Jusqu'à maintenant plus de 500 logements de différents sites de la région ont réclamé des symptômes de dégradation, après une période de moins de vingt ans depuis l'année de la réalisation. Le tableau 1, représente des exemples des logements dégradés de la région de Biskra.

Tableau 1 : Logements dégradés dans la région de Biskra.

Ouvrage	Année de réalisation	R + n	Année de dégradation	Cause principale de la dégradation	Facteurs d'influence sur la dégradation
90 logements à Biskra (Photo 1 et Photo 2)	1975	R + 2	1994	Corrosion	Mauvaise qualité du béton Sol agressif Défaut de conception (étanchéité) Absence d'entretien
114 logements à Biskra (cité Izdihar)	1978	R + 3	1995		
130 logements à Sidi Okba	1990	R + 2 et R + 1	1997		
100 logements à Zériba (Photo 3)	1989	R + 4	1993	Tassement du sol	Sol agressif Absence d'entretien
20 logements à El Kantara	2000	R + 1	2003		

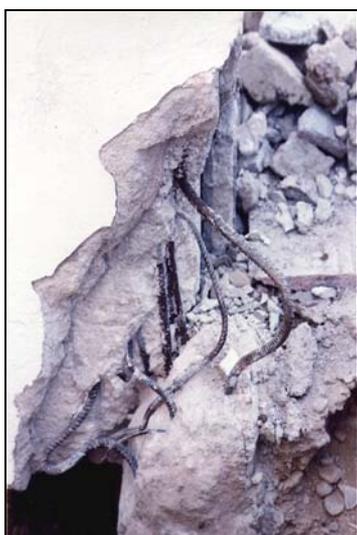


Photo 1 : Ecrasement de l'amorce poteau bloc n°15



Photo 2 : Corrosion accélérée des amorces poteaux

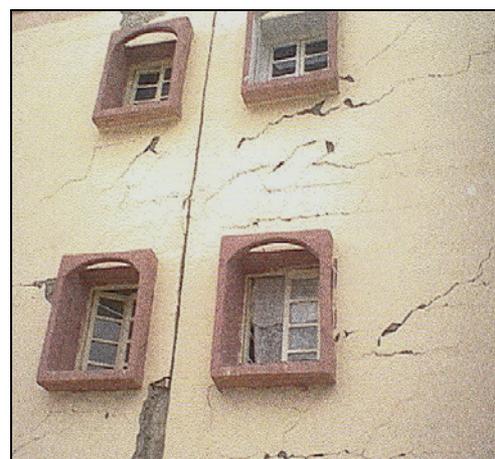


Photo 3 : Fissures à l'extérieur dues au tassement différentiel

L'histogramme ci-dessous met en évidence la prépondérance de trois facteurs, les autres interviennent mais assez peu :

- Dans 30 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à l'absence d'entretien, mais les conséquences sont moins graves ;
- Dans 25 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à la mise en oeuvre, dont la conséquence est la mauvaise qualité du béton ;
- Les facteurs liés à l'environnement (l'agressivité du sol et condition climatiques) (20 %), surtout les conditions climatiques qui engendrent la mauvaise qualité du béton (période d'été) ;
- Dans 15 % des cas, les facteurs d'influence sont liés aux défauts de conception, surtout dans le domaine d'auto-construction ;
- Les facteurs liés à l'exploitation (7 %) ;
- Les facteurs liés à la nature des matériaux (3 %).

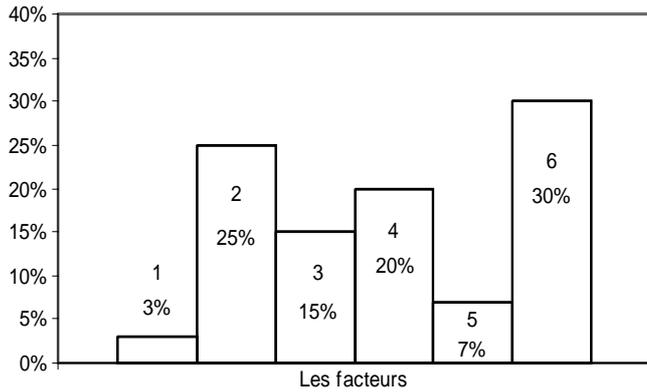


Figure 1 : Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages d'habitation

2.2.2 Ouvrages d'équipement

La dégradation des ouvrages à usage équipement a connu la même croissance que celle du précédent, mais vu que la croissance de réalisation du premier type d'ouvrage est très importante que celle du deuxième, la dégradation des ouvrages du deuxième type paraît moindre. Le tableau 2, représente l'ensemble des ouvrages dégradés à usage équipement de la région.

Tableau 2 : Ouvrages dégradés à usage équipement dans la région de Biskra.

Ouvrage	Année de réalis°	R + n	Année de dégrad°	Cause principale de la dégradation	Facteurs d'influence sur la dégradation
Lycée M. Bédjaoui à El-Alia	1985	R + 1 et RDC	1994	Corrosion	Mauvaise qualité du béton Défaut de conception (étanchéité) Sol agressif Absence d'entretien
C.E.M. Khaoula La ville de Biskra	1978	R + 1	2000	Tassement du sol	Sol agressif Absence d'entretien
Brigade gendarmerie à Zéribet El-Oued	1989	R + 2	1993		
Groupe scolaire à Bab Eddarb	2000	R + 1	2000	Dégradat° générale	Mauvaise qualité du béton Défaut de mise en oeuvre Défaut de conception
La mosquée El-Gaid (Maidha)	Les années 70	RDC	1989	Corrosion	Mauvaise qualité du béton Défaut de conception (étanchéité) Absence d'entretien

Selon l'histogramme figure 2, on remarque que les facteurs liés à la mise en œuvre et à l'environnement (l'agressivité du sol et conditions climatiques) dont la conséquence est la mauvaise qualité du béton, sont les facteurs les plus importants suivis par les facteurs liés aux défaut de

conception, surtout pour l'étanchéité :

- Dans 30 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à la mise en œuvre ;
- Les facteurs liés à l'environnement (l'agressivité du sol et condition climatiques) (25 %) ;
- Dans 20 % des cas, les facteurs d'influence sont liés aux défauts de conception ;
- Dans 15 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à l'absence d'entretien ;
- Les facteurs liés à l'exploitation (8 %) ;
- Les facteurs liés à la nature des matériaux (2 %).

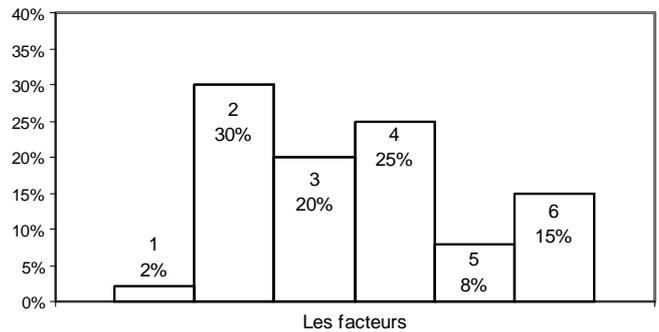


Figure 2 : Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages d'équipement.

2.2.3 Les Ponts

Le nombre des ponts sur les routes nationales de la wilaya de Biskra est très important 79 ponts, y compris les dalots de longueur supérieure à 4m. Le nombre des ponts dégradés selon le rapport des visites d'inspections détaillées faites par CTTP (contrôle technique des travaux publics) en 1993 est 22 ponts. Il est évident qu'actuellement le nombre est supérieur, et que la dégradation plus grave surtout pour ceux qui présentaient des fissures légères et qui n'ont pas été réparés. Le tableau 3 représente une liste des ponts dégradés.

Pour ce type d'ouvrage, on a l'histogramme de la figure.3 où on remarque que les facteurs liés aux défauts de conception et aux méthodes d'entretien sont généralement la principale cause de dégradation :

- Dans 40 % des cas, les facteurs d'influence sont liés aux défauts de conception ;
- Dans 30 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à l'absence d'entretien ;
- Dans 10 % des cas, les facteurs d'influence sont liés à la mise en œuvre ;
- Les facteurs liés à l'exploitation (8 %) ;
- Les facteurs liés à l'environnement (l'agressivité du sol et condition climatiques) (7 %) ;
- Les facteurs liés à la nature des matériaux (5 %).

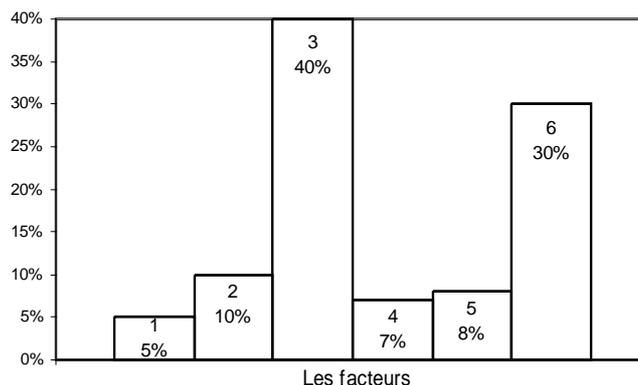


Figure 3 : Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages d'art (les ponts)

Tableau 3 : Listes des ponts dégradés en béton armé sur RN (ou béton armé + métallique en superstructure) de la région de Biskra, selon les rapports des visites d'inspections détaillées faites par CTPP en 1993.

RN	Désignation	Année de construction	Longueur(m)	Largueur(m)	Désordres constatés	Facteur d'influence
31	P. O. Biskra (Zarzour)	1984	281,6	11,72	Taches de calcite	Absence de joints de chaussée et de quelques dalettes du trottoir
03	P. O. Serdoune	1965	40,40	9,60	Taches de calcites sur les chevêtres, les appuis et les culées	Absence de joints de chaussée gargouilles bouchées
03	P. O. Chebaba	1964	40,40	9,60	Taches de calcites sur les appuis	Absence de joints de chaussée
03	P. O. Hay	1964	74,00	4,95	Fissures sur le banc d'appui de la culée et traces de calcites sur la surfaces des appuis	Absence de joints de chaussée
03	P. O. Aghroum	1962	40,40	9,60	Taches de calcites	Mauvaise étanchéité Absence de joints de chaussée mauvais emplacement et longueur insuffisante des gargouilles des dalettes manquantes des trottoirs
03	P. O. Tamtam	1969	33,40	8,50	Taches de calcites et de rouille	Gargouilles mal réalisées
03	P. O. Fellag	1970	36,15	9,74	Traces de calcites sur les culées	Absence de joints de chaussée et longueur de gargouilles insuffisantes
03	Dalot O. Z'mor	1991	18,30	15,00	Microfissures sur le mur en aile	Absence de système d'évacuation des eaux
03	P. O. Djeddi (Photo 5)	1984	340,90	10,00	Corrosion des armatures Détérioration d'enrobage Fissuration du béton	Discontinuité des trottoirs au niveau des joints Les gargouilles bouchées Les joints de chaussée aux niveaux des trottoirs ne sont pas étanches
46	P. O. Sadouri	1961	38,00	9,70	Traces de calcite éclatement d'enrobage	Absence de gargouille Les joints de chaussée non étanches
46	P. O. El Naâm	1961	30,00	10,00	Fissuration du revêtement de joint de chaussée altération de l'enrobage de la poutre intermédiaire	Absence d'appareils d'appuis et de gargouilles
46	P. O. El Fellag (Photo 4)	1961	11,50	9,80	Dégradation de l'enrobage de la bordure au niveau de la chaussée	Mauvaise conception du système d'évacuation des eaux
46	P. O. Koudiet Rfis	1975	32,65	8,50	Traces de calcites	Gargouilles trop courtes
46	P. O. M'lili (Photo 6)	1974	8,00	8,80	Dégradation du revêtement de la chaussée Traces de calcites Eclatement du béton et apparition des armatures corrodées du tablier	Absence de système d'évacuation des eaux Défaut d'étanchéité
46	P. O. Ain Benaoui	1991	30,00	12	Dégradation du revêtement de la chaussée et dalettes de trottoirs Traces de calcites	Absence de système d'évacuation des eaux Ouverture du joint de chaussée
78	P. O. Bouloualid	1991	19,50	9,80	Traces de calcite aux joints des appuis	Absence de joints de chaussée
78	P. O. El bell	1991	26,40	10,90	/	Absence de joints de chaussée et du système d'évacuation des eaux
78	P. O. Hay	1990	104,00	9,50	Léger tassement derrière les culées	Absence de joints de chaussée

3 LES DESORDRES INDUITS PAR LES DIFFERENTS FACTEURS

On remarque que les facteurs liés aux erreurs de conception jouent un rôle primordial dans l'influence sur la dégradation des ouvrages, ce qui entraîne en général des dysfonctionnements majeurs du système d'étanchéité qui se traduisent en particulier par des corrosions d'armatures et par la dégradation de certaines structures en maçonnerie.

Les dommages sur le béton non-étanche dans lequel l'eau douce (les pluies) peut s'infiltrer, elle peut extraire l'hydroxyde de calcium de la pâte de ciment durcie. Lorsque l'hydroxyde de calcium est lessivé, le silicate de calcium hydraté (CSH) détache encore de l'hydroxyde de calcium en raison de la perte de résistance.

L'entretien a pour but d'améliorer ou maintenir la sécurité structurale et éviter ou retarder certain type de dégradation des structures, c'est vraiment un facteur négligeable, malgré qu'il soit nécessaire surtout pour certaines parties des ouvrages qui doivent être maintenues dans le temps, comme l'étanchéité, le revêtement, qui n'ont en général qu'une durée de vie limitée. L'entretien et la maintenance devront être assurés par le personnel d'exploitation, ce qu'on appelle l'entretien courant.

Dans les ouvrages à usage d'habitats, on distingue les mêmes phénomènes qui résultent de l'indifférence des habitants, prenons les phénomènes les plus rencontrés comme :

- La stagnation des eaux potables ou usées dans les caves (Photo 7), où les pompes à eaux perdent de l'eau ;
- Les vides sanitaires sont devenus des endroits d'accumulation des eaux usées, (Photo 8) ce qui engendre des attaques chimiques par les différents produits qu'elles contiennent, comme : les graisses et huiles d'origine végétale et animale réagissent avec l'hydroxyde de calcium pour former des sels d'acides gras. L'effet de dégradation sur le béton dépend principalement de la solubilité dans l'eau des produits de réaction formés.



Photo 4 : Dégradation de l'enrobage de la bordure



Photo 5 : Corrosion des armatures

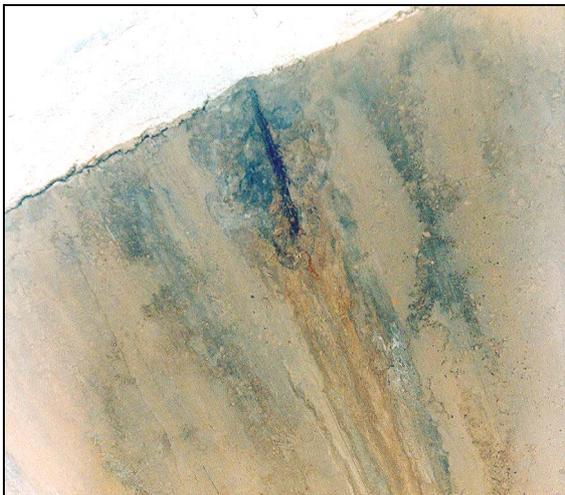


Photo 6 : Apparition des armatures corrodées



Photo 7 : La stagnation des eaux dans les caves



Photo 8 : Etat des vides sanitaires

En plus des spécifications données par le concepteur, il est important de considérer la mise en œuvre, car une mise en place incorrecte peut entraîner différents problèmes : ségrégation, adhérence déficiente entre les différentes couches de béton, défaut de surface, dommages aux coffrages ou à l'armatures, fissuration, etc. Comme les tâches effectuées sur chantier sont nombreuses et constituent tout un enchaînement d'opération, les erreurs rencontrées sont alors classées selon l'opération à exécuter :

*** Défauts de mise en place de ferrailage :**

- Non-respect des plans de ferrailage (erreurs dans la disposition des aciers), surtout pour les balcons ;
- Mauvaise disposition des armatures : soit par manque de recouvrement des armatures, car un recouvrement trop faible peut provoquer la corrosion de l'armature et l'écaillage du béton par-dessus de l'acier ;

*** Défauts de malaxage et coulage :**

- Un malaxage trop court ;
- Un déchargement très lent des malaxeurs à tambour non inclinable qui cause la ségrégation ;
- Généralement l'équipe sur chantier essaye de couler le béton rapidement, laissant tomber librement le béton surtout lorsqu'on bétonne un élément d'une hauteur importante avec une forte densité de ferrailage, ce qui peut nuire à son homogénéité.

*** Défauts de coffrage et décoffrage :**

- L'absence d'écarteurs de coffrage peut engendrer une insuffisance d'enrobage ;
- Un coffrage qui n'est pas étanche permettant à une partie de ciment de s'échapper ;
- Théoriquement, il faut laisser le coffrage le plus longtemps possible, car ils conservent l'humidité nécessaire au mûrissement du béton. Mais en pratique, l'entrepreneur enlève le coffrage le plus rapidement possible pour les employer dans un autre ouvrage. Certains éléments dépendent uniquement des coffrages pour supporter les charges appliquées

et leurs propres masses pendant les premiers jours, surtout le cas des éléments soumis à la flexion (les dalles et poutres). Avec un ciment portland normal une période de mûrissement est de l'ordre de 7 jours, une période plus courte se traduit par une résistance et une durabilité amoindrie.

*** Défauts de vibration :**

- Une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité ;
- Vibration trop forte au-dessus des barres de diamètres importants placées trop près de la surface induit la fissuration précoce ;
- Une vibration excessive produira une certaine ségrégation dans la le mélange particulièrement dans les bétons assez fluides ;

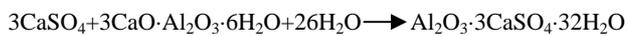
*** Défauts de cure :**

- La vitesse d'hydratation étant plus grande durant les premiers jours, c'est à ce moment qu'on a le plus besoin d'un mûrissement (cure) convenable, car l'évaporation de l'eau est très importante si la cure est inadéquate, surtout les éléments minces où la dimension de la surface exposée favorise l'évaporation.
- Normalement en climat chaud et sec, les problèmes de durabilité sont rares, et les exigences touchant à la qualité du béton y son généralement moins sévères, mais la température élevée en été a une action directe sur les ouvrages ;
- La température élevée en été influence sur la vitesse d'hydratation du ciment. Plus la température est élevée, plus la durée d'ouvrabilité et le délai de mise en oeuvre du béton frais sont courts. Un bétonnage par temps chaud (température extérieure > 35°C), accélère la prise et diminue rapidement la plasticité du béton et accroît la fissuration après la mise en œuvre ;
- L'augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment, crée des écarts de températures entre le cœur des pièces coulées et leur surface ce qui augmente la fissuration lors du refroidissement.
- Fissures dues au : retrait plastique, retrait du au séchage, différences de température et à la combinaison de ces facteurs.
- L'action de la température sur les matériaux au cours de durcissement (séchage naturel du béton) et les variations de teneur en eau entraînent des variations dimensionnelles anisotropes vraiment importantes, créant des contraintes supérieures à celles dues aux charges d'exploitation, ainsi des fissurations importantes dues au retrait de dessiccation.
- La baisse des résistances pendant la période des grandes chaleurs (juin, juillet, août et septembre), par perte d'affaissement. Cependant le coulage en

été est déconseiller car le béton nécessite davantage d'eau de gâchage (E/C élevé) qu'en hiver et l'eau s'évapore rapidement en laissant les pores à l'intérieur du béton entraînant une baisse de résistance ;

- Par temps chaud, la température du béton n'est pas la seule cause de l'évaporation de l'eau de gâchage, car le vent a une influence appréciable : plus la vitesse du vent est élevée, plus l'évaporation de l'eau de gâchage est importante ;
- Il faut aussi tenir compte de l'humidité relative : plus le taux d'humidité de l'air est bas, plus l'évaporation de l'eau de gâchage est grande.

Les sulfates contenus dans le sol se dissolvent dans les eaux (pluviale ou usée) pénétrant dans le sol et pénètrent rapidement en profondeur dans le béton de l'infrastructure. Ils réagissent avec l'aluminate de Calcium hydraté et l'eau pour former le très volumineux sulfate tricalcique d'aluminate, appelé également trisulfate ou étringite :



Les sulfates solubles dans l'eau peuvent également endommager la structure du béton sous forme de cristaux de gypse [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] en engendrant le gonflement par suite d'une augmentation du volume qui peut arriver à 8 fois du volume initial (Figure 4).

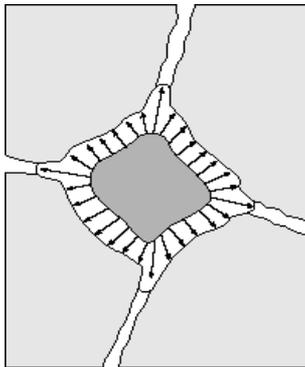


Figure 4: Gonflement de la pâte de ciment durcie

Les conditions d'exploitation n'entraînent que des désordres mineurs dans le domaine routier, car les véhicules sont devenus de plus en plus lourds et le trafic de plus en plus dense, ce qui a engendré :

- L'utilisation d'une bande d'arrêt d'urgence comme voie de circulation ou de stockage, à cause des embouteillages ;
- Effets dynamiques ou abrasifs résultants de la circulation des engins lourdement chargés sur un tablier qui n'est pas encore protégé par sa couche de roulement ;
- Les efforts de freinage.

Dans les ouvrages à usage d'habitation : la présence des citernes sur les terrasses inaccessibles des bâtiments, ainsi

que les balcons, ce qui présente une importante surcharge pas prise dans le calcul du béton, sans parler de l'eau qui déborde en cas de surplus. Ainsi que la dégradation des marches des escaliers dans presque tous les bâtiments.

Apparemment, les facteurs liés à la nature des matériaux n'influent pas sur la dégradation des ouvrages, mais on pense que la fréquence réelle de ces facteurs est en réalité plus forte que ne le laisse paraître l'analyse, car l'observation visuelle ne permet pas d'obtenir des renseignements précis sur le comportement des matériaux in situ.

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

La dégradation des ouvrages dans la région de Biskra est devenue un sujet incontournable, après les problèmes survenus ces dernières années sur des différents sites de la région et pour des ouvrages de toute nature ce qui a révélé des lacunes supposées connues mais en réalité négligées par les praticiens ainsi que la gravité des conséquences de l'indifférence du personnel sous-traitant envers plusieurs paramètres, qui ont été pendant longtemps mal jugés.

Les résultats font ressortir un certain nombre de points jugés déjà connus, cependant ils méritent essentiellement de recadrer toutes les observations et les diagnostics en retenant leur prédominance :

- Les défauts ou erreurs de mise en œuvre entraînent la mauvaise qualité du béton et jouent un rôle primordial dans le vieillissement ou la dégradation des ouvrages.
- Les effets thermiques ont été pendant longtemps insuffisamment pris en compte, même pour les structures plus récentes. L'utilisation des adjuvants, en éliminant les chocs thermiques et assurer une bonne cure, est la bonne solution pour augmenter la durabilité des constructions, surtout dans le cas de coulage des bétons pendant l'été.
- L'agressivité des sols par la présence des sulfates est le facteur qui influence sur la dégradation des ouvrages en infrastructure
- Le défaut de conception est un facteur remarquable dans la dégradation des ouvrages surtout concernant les erreurs d'étanchéité
- Les facteurs liés aux méthodes d'entretien cause des désordres moins graves que ceux causés par les autres facteurs, mais ils sont les plus populaires et les plus rencontrés. Et c'est le facteur qui accélère la dégradation.

Le béton peut constituer un matériau de construction présentant une durabilité exceptionnelle sans qu'il soit nécessaire de recourir à des mesures de protection de surfaces spécifiques, sous réserve que sa composition soit correcte et sa mise en œuvre réalisée avec soin. Au cours des dernières décennies, l'utilisation d'ajouts et/ou d'adjuvants s'est avéré être un choix technologique

judicieux pour parvenir à ces résultats. La meilleure solution pour combattre les effets de la corrosion de toute nature est un béton de hautes performances exemptes de fissures et imperméable à l'eau avec une couverture généreuse. La qualité du béton peut être augmentée considérablement par un rapport E/C très bas, sous réserve d'utiliser un super-fluidifiant permettant de préserver une ouvrabilité et une compactibilité satisfaisantes.

Les ingénieurs ont pris conscience de l'importance de l'entretien en même temps qu'ils étaient amenés à entreprendre des opérations souvent très lourdes de renforcement des ouvrages. Mais la pathologie et la réparation ressortissent autant à l'art qu'à la technique, car elles ne sont pas l'objet d'un enseignement spécifique, ce qui oblige l'ingénieur de terrain de se livrer à lui-même face aux problèmes de dégradation urgents.

L'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une profonde connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui mérite la même valeur que de celui de construire. Et il doit être intégré dans la formation de l'ingénieur pour que ce dernier puisse reconnaître et éviter les défauts touchants les structures.

REFERENCES

- [1] **ACI 201.2R-92**, «Guide to durable concrete», ACI Manual of concrete practice, Part 1: Materials and General properties of concrete, Detroit, Michigan, 1994, 41 pp.
- [2] **BARON J. & OLLIVIER J. P.**, «La durabilité des bétons», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1996, 453 p.
- [3] **BARON J. & OLLIVIER J. P.**, «LES BETON. Base et données pour leur formulation», édition Eyrolles, 1997, 522p.
- [4] «Bulletin d'information technique», Direction de laboratoire des chaussées, Vol. 3, N°11, novembre, 1998.
- [5] **CALGARO J. A. & LACROIX R.**, «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.
- [6] **CALLEJA J.**, «Quelques considérations fondamentales sur le problème de la durabilité du béton, Application aux réactions alcali-granulat», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, pp.1-33.
- [7] CEB Bulletin d'information, «Durable concrete structures», No. 183, 1992.
- [8] **CHANVILLARD G.**, «Le matériau béton: Connaissances générales», Les cours de l'ENTPE, édition ALÉAS, Octobre, 1999, 174 p.
- [9] **CHIKHI M.**, «La réhabilitation des bâtiments; diagnostic, réhabilitation et renforcement», Le Contrôleur Technique De La Construction- n° 23, juillet, 2001.
- [10] **FARGEOT B.**, «Les facteurs d'influence sur le vieillissement des ouvrages d'art», Rapport de synthèse du projet national KRONOS1, Annales du bâtiment et de travaux publics, Septembre, 2000, pp. 43-50.
- [11] Groupe d'experts scientifiques de l'OCDE, «Durabilité des ponts routiers en béton», Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 1989.
- [12] **GUETTALA A.**, «Béton de terre stabilisé: amélioration de sa durabilité à l'eau», thèse de doctorat, Université de Biskra, 2003, 203 p.
- [13] **JAEGERMANN C.**, «Problèmes d'altérations et de durabilité du béton sous les climats chauds», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO, organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 254.
- [14] **KREIGER P. C.**, «Facteurs d'environnement affectant les constructions et leur durabilité», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO, organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 251.
- [15] **NEVILLE Adam M.**, «Propriétés des bétons», édition Eyrolles, 2000, 806 p.
- [16] Organisme de contrôle technique de la construction de l'est C.T.C.-EST, Expertise 90 logements Biskra.
- [17] **PAPADAKIS V.G. & FARDIS M.N. & VAYENAS C.G.**, «Effect of composition., environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation, Materials and structures», 25, N° 149,1992, pp 293-304.
- [18] Recueil de circulaires techniques. Guide du contrôleur, Organisme de contrôle technique de la construction C.T.C., Mars, 1986.
- [19] **REGOURD M.**, «Altération et durabilité des bétons», Centre d'études et de recherches de l'industrie des Liants Hydrauliques (CERILH), Paris, durabilité des bétons et des pierres, Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO. Organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 109.
- [20] **SOUFFI B. & CHRAA L.**, «Etude des principaux facteurs influant sur la qualité du béton dans le sud de l'Algérie», Le Contrôleur Technique De La Construction- n°12, juin, 1998.
- [21] **TACHÉ G. & VIÉ D.**, «Diagnostic des ouvrages en béton armé, facteurs de vieillissement des ouvrages», Centre expérimental du bâtiment et des travaux publics. CEBTP, annales du bâtiment et des travaux public, Février, 1998, pp.27-33.
- [22] Université de Sherbrooke, **GCI 714** – «Durabilité et réparation du béton», 338 p.