

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE et POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID, TLEMCEN**



**Faculté De Technologie**

**Département De Génie Civil**

Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de master en génie civil

**Spécialité : Art et technique de réhabilitation des bâtiments**

**Thème**

**La réhabilitation de lycée Dr BENZERDJEB à TLEMCEN**

**«Bloc de classes spécialisées »**

**Présenté en avril 2013 par :**

**BENABDALLAH MOHAMMED**

et

**BELARBI ISMAIL**

**Devant le Jury composé de :**

Mr. F.B HOUTI

Président

Mr. A MISSOUM

Examineur

Mr. S.M.A BOURDIM

Examineur

Mr. N. BOUMECHRA

Encadreur

Mr. K. HAMDAOUI

Encadreur

## **Remerciements**

*Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU qui nous a donné la volonté, la force, la patience, le courage et la santé pour réaliser ce travail.*

*Nous tenons aussi à exprimer un remerciement tout spécial à nos parents, pour leurs encouragements tout le long de nos études.*

*Nous signifions nos profonde reconnaissance à nos encadreurs, Prof. BOUMECHERA Nadir et Dr. HAMDAOUI Karim, pour l'excellent suivi et les conseils pertinents apportés durant la réalisation de ce mémoire ainsi que pour la grande confiance qu'ils nous ont accordés.*

*Nos remerciements sont également offerts à M. HOUTI F.B. le président du jury, ainsi que Dr. MISSOUM A. et Dr. BOURDIM S.M.A. qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*Nous exprimons nos profonde gratitude à M. MAACHOU O. et Dr. BOURDIM S.M.A. qui nous ont aidés pour avoir les informations sur notre projet.*

*Un grand merci à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont aidé et soutenu.*

*Finalement à toute nos frères et sœurs.*

## List des tableaux

<b>Tableau 2.1</b> : Résultats des essais au laboratoire sur le sol (la buanderie) .....	36
<b>Tableau 2.2</b> : Résultats des essais au laboratoire sur le sol (Bloc du dortoir).....	38
<b>Tableau 2.3</b> : Caractéristiques mécaniques du sol.....	40
<b>Tableau 3.1</b> : Les caractéristique de l'acier rond lisse.....	49
<b>Tableau 3.2</b> : Coupe de sondage au sein de bloc.....	51
<b>Tableau 3.3</b> : Les résultats d'essai œdométrique effectué sur la marne jaune verdâtre ..	52
<b>Tableau 3.4</b> : Les résultats d'essai œdométrique.....	52
<b>Tableau 3.5</b> : Les résultats d'essai pressiométrique numéro(1).....	53
<b>Tableau 3.6</b> : Les résultats d'essai pressiométrique numéro(2). .....	54
<b>Tableau 3.7</b> : Exemple : suivi d'une fissure.....	56
<b>Tableau 3.8</b> : Essai scléromètre sur le béton.....	57
<b>Tableau 4.1</b> : Relevé des fissures dans la façade du sud.....	60
<b>Tableau 4.2</b> : Les desordres observés au sous sol. ....	64
<b>Tableau 4.3</b> : Les desordres observés au niveau des poteaux . ....	66
<b>Tableau 4.4</b> : Relevé des fissures dans les murs cloison. ....	67
<b>Tableau 4.5</b> : Relevé des fissures dans les murs extérieurs et les murs de couloir....	68
<b>Tableau 4.6</b> : Relevé des fissures dans le cage d'escalier. ....	70
<b>Tableau 4.7</b> : Les desordres observés au niveau des Joints de dilatations. ....	71
<b>Tableau 4.8</b> : Les desordre observé au niveau des dalles. ....	72
<b>Tableau 5.1</b> : Les caractéristiques du béton utilisé. ....	79
<b>Tableau 5.2</b> : Plancher terrasse inaccessible. ....	80
<b>Tableau 5.3</b> : Plancher étage courant. ....	81
<b>Tableau 5.4</b> : Descente des charges des différents types de maçonnerie.....	81
<b>Tableau 5.5</b> : Plancher sous sol. ....	82
<b>Tableau 5.6</b> : Dalle pleine étage courant. ....	82
<b>Tableau 5.7</b> : Dalle pleine terrasse inaccessible. ....	83
<b>Tableau 5.8</b> : Pénalité en fonction de critère de qualité. ....	84
<b>Tableau 5.9</b> : Les modes propres de vibration de la partie 2. ....	87
<b>Tableau 5.10</b> : Les valeurs maximales des moments pour la dalle pleine. ....	89
<b>Tableau 5.11</b> : Vérification des contraintes de la structure de la partie 2. ....	89
<b>Tableau 5.12</b> : Les modes propres de vibration de la partie 3. ....	91
<b>Tableau 5.13</b> : Vérification des contraintes de la structure de la partie 3. ....	91
<b>Tableau 5.14</b> : Les modes propres de vibration de la partie 4. ....	93
<b>Tableau 5.15</b> : Vérification des contraintes de la structure de la partie 4. ....	94
<b>Tableau 6.1</b> : Processus de traitement de béton éclat ( armature corrodée) .....	100

## Table des figures

<b>Figure 1.1</b> : Mesure au scléromètre.....	19
<b>Figure 1.2</b> : Mesure par ultrasons. ....	20
<b>Figure 1.3</b> : Facteurs de corrosion.....	21
<b>Figure 1.4</b> : Type de fissures provoquées la corrosion de l'armature. ....	22
<b>Figure 2.1</b> : Situation de lycée Dr BENZEDJEB.....	26
<b>Figure 2.2</b> : Ancienne photo de lycée Dr BENZEDJEB. ....	27
<b>Figure 2.3</b> : Carte géotechnique de Tlemcen.....	29
<b>Figure 2.4</b> : La carte géologique du groupement Tlemcen Mansourah et Chetouane....	30
<b>Figure 2.5</b> : Schématisation hydrogéologique. ....	31
<b>Figure 2.6</b> : Plan de masse (état des lieux ancienne).....	33
<b>Figure 2.7</b> : Plan de masse (état des lieux actuel).....	34
<b>Figure 2.8</b> : Bâtiment de la buanderie , réfectoire et administration.....	35
<b>Figure 2.9</b> : Bloc du dortoir et blocs des lavabos. ....	38
<b>Figure 2.10</b> : Bâtiments de l'externat.....	40
<b>Figure 2.11</b> : Bloc des classes spécialisées.....	41
<b>Figure 3.1</b> : Photo ancienne de bloc des classes spécialisés avant 1973.....	43
<b>Figure 3.2</b> : Représentation de la fissuration des blocs des classes spécialisées. ....	44
<b>Figure 3.3</b> : Vue de l'architecture du bâtiment.....	46
<b>Figure 3.4</b> : Coupe A-A du bloc des classes spécialisées.....	46
<b>Figure 3.5</b> : Plancher étage courant en corps creux.....	47
<b>Figure 3.6</b> : Plancher terrasse en corps creux.....	47
<b>Figure 3.7</b> : Plaque témoin sur une fissure en diagonal.....	57
<b>Figure 3.8</b> : Plaque témoin sur une fissure de forme escalier.....	57
<b>Figure 3.9</b> : Emplacement et taille des ouvertures.....	58
<b>Figure 4.1</b> : Plan représentant les parties du bâtiment.....	59
<b>Figure 4.2</b> : Dégradation des bandeaux et menuiserie en mauvaise état.....	61
<b>Figure 4.3</b> : Humidité au pied de mur extérieur due aux remontés capillaires.....	61
<b>Figure 4.4</b> : Menuiseries en mauvais état.....	61
<b>Figure 4.5</b> : Humidité au niveaux des tuyaux d'évacuation des eaux pluviales.....	61
<b>Figure 4.6</b> : Les pathologies de façade du sud. ....	62
<b>Figure 4.7</b> : La présence de végétation plus proche de bâtiment.....	63
<b>Figure 4.8</b> : La partie démolie.....	65
<b>Figure 4.9</b> : Fissure inclinée non passant.....	66
<b>Figure 4.10</b> : Fissure capillaire au début horizontal après incliné ....	66
<b>Figure 4.11</b> : Les sources d'humidité dans le bâtiment.....	76
<b>Figure 5.1</b> : Plancher étage courant.....	80
<b>Figure 5.2</b> : Modélisation de la structure de la partie 2.....	87
<b>Figure 5.3</b> : Le moment maximum sollicitant dans le plancher terrasse.....	88
<b>Figure 5.4</b> : Modélisation de la structure de la partie 3.....	90
<b>Figure 5.5</b> : Modélisation de la structure de la partie 4.....	93
<b>Figure 6.1</b> : Exemple d'un mur cloison qu'il faut démolir.....	96
<b>Figure 6.2</b> : Exemple de carrelage endommagé . ....	96
<b>Figure 6.3</b> : Drainage par cuvelage externe.....	97
<b>Figure 6.4</b> : Drainage de surface extérieure (façade sud et nord).....	98
<b>Figure 6.5</b> : Rejointement d'une fissure d'un mur en maçonnerie de pierre.....	99
<b>Figure 6.6</b> : Les étapes de réparation des ouvertures.....	100
<b>Figure 6.7</b> : Fissures capillaires (seulement dans l'enduit de finition).....	101

<b>Figure 6.8</b> : Traitement des fissures capillaires avec peinture.....	102
<b>Figure 6.9</b> : Fissures dans la couche d'enduit.....	102
<b>Figure 6.10</b> : Traitement des fissures dans la couche d'enduit.....	103
<b>Figure 6.11</b> : Fissures importantes (Allant jusqu'aux joints de mortier).....	103
<b>Figure 6.12</b> : Etape de réparation des fissures par injection.....	104
<b>Figure 6.13</b> : Traitement des fissures par mastic de rebouchage.....	104
<b>Figure 6.14</b> : Fissures traversant toute épaisseur du murs.....	104
<b>Figure 6.15</b> : Traitement des fissures très importantes.....	105
<b>Figure 6.16</b> : Les étapes de réparation des enduits.....	106
<b>Figure 6.17</b> : Evacuations des eaux pluviales.....	107
<b>Figure 6.18</b> : Les éléments de protection d'une toiture terrasse.....	107
<b>Figure 6.19</b> : Protection du joint de dilatation par une armature en feutre bitumé.....	108
<b>Figure 6.20</b> : Etape de réparation des fenêtres.....	109
<b>Figure 6.21</b> : Technique de Revêtement de sol.....	109

## Liste des notations

<b>A</b>	: Coefficient d'accélération de zone.
<b>B</b>	: Largeur de semelle.
<b>B<sub>v</sub></b>	: Retrait volumique.
<b>C<sub>c</sub></b>	: Coefficient de consolidation.
<b>C<sub>g</sub></b>	: Coefficient de gonflement.
<b>C<sub>u</sub></b>	: Coefficient de consolidation.
<b>CT</b>	: Coefficient de période.
<b>D</b>	: Facteur d'amplification dynamique moyen.
<b>E</b>	: Module de déformation.
<b>E'</b>	: Module œdométrique.
<b>E<sub>h</sub></b>	: Indice des vides initiaux (avant retrait).
<b>E<sub>p</sub></b>	: Epaisseur.
<b>E<sub>r</sub></b>	: Indice des vides après retrait.
<b>e<sub>f</sub></b>	: Indice des vides finals.
<b>e<sub>i</sub></b>	: Indice des vides initiaux.
<b>f<sub>y</sub></b>	: Limite d'élasticité.
<b>f<sub>r</sub></b>	: Résistance à la rupture.
<b>G</b>	: Charges permanentes.
<b>g</b>	: Accélération de la pesanteur.
<b>H</b>	: Hauteur.
<b>i</b>	: Gradient hydraulique.
<b>I<sub>C</sub></b>	: Indice de consistance.
<b>I<sub>p</sub></b>	: Indice de plasticité.
<b>L</b>	: Longueur.
<b>P<sub>0</sub></b>	: Pression limite lors d'un essai pressiométrique.
<b>P<sub>L</sub></b>	: Pression limite nette équivalente lors d'un essai pressiométrique.
<b>P<sub>q</sub></b>	: Pénalité à retenir dans la détermination du coefficient de qualité Q.
<b>Q</b>	: Charges d'exploitation.
<b>q adm</b>	: Charge admissible.
<b>q lim</b>	: Charge limite.
<b>R</b>	: Coefficient de comportement.
<b>R<sub>c</sub></b>	: Résistance à la compression.
<b>S</b>	: Surface.
<b>S<sub>a</sub> /g</b>	: Accélération spectrale.
<b>T</b>	: Période fondamentale de la structure.
<b>Tem</b>	: Période empirique.
<b>V</b>	: l'action sismique.
<b>V<sub>L</sub></b>	: La vitesse du son.
<b>W</b>	: Poids de la structure.
<b>W1</b>	: Tassement instantané.
<b>W2</b>	: Tassement primaire.

$W_3$	: Tassement par retrait.
$W_L$	: Limit de liquidité.
$W_N$	: Teneur en eau natural.
$W_P$	: Limit de plasticité.
$W_R$	: Limite de retrait.
$W_t$	: Tassement total.
$\gamma$	: Poids volumique.
$\gamma_d$	: Densité sèche naturelle.
$\gamma_{dh}$	: Densité sèche initiale.
$\gamma_{dr}$	: Densité sèche après retrait.
$\sigma$	: La contrainte amenée par les fondations.
$\sigma_{adm}$	: Capacité portante.
$\sigma_c$	: Contrainte de compression.
$\sigma'_c$	: Contrainte de consolidation.
$\Delta\sigma$	: Variation de contrainte au niveau des fondations.
$\rho$	: La masse volumique.
$\beta$	: Coefficient de pondération.
$\eta$	: Coefficient de fissuration.
$\eta$	: Facteur de correction d'amortissement (chapitre 5).
$\Psi_s$	: Coefficient de scellement.
$\nu$	: Coefficient de poisson.

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	2
<b>Résumés</b> .....	3
<b>Table des matières</b> .....	4
<b>Liste des figures</b> .....	9
<b>Liste des tableaux</b> .....	11
<b>Liste des notations</b> .....	12
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	13
<b>CHAPITRE1 : PATHOLOGIES ET DIAGNOSTICS DES OUVRAGES EN BETON ARME</b> .....	15
<b>1.1. Introduction</b> .....	15
<b>1.2. Les pathologies des ouvrages</b> .....	15
<b>1.2.1. Les actions mécaniques</b> .....	15
<b>1.2.2. Les actions hygrothermiques</b> .....	15
<b>1.2.3. Les actions chimiques et biologiques</b> .....	16
<b>1.2.4. Les interactions</b> .....	16
<b>1.3. La fissuration des ouvrages</b> .....	16
<b>1.3.1. La fissuration accidentelle</b> .....	16
<b>1.3.2. La fissuration fonctionnelle mécanique</b> .....	17
<b>1.3.3. La fissuration fonctionnelle thermique</b> .....	18
<b>1.4. La déformation des éléments en béton armé</b> .....	18
<b>1.5. La rupture des éléments en béton armé</b> .....	18
<b>1.6. Les investigations dans le béton armé</b> .....	18
<b>1.6.1. Examen visuel ou morphologique</b> .....	18
<b>1.6.2. Mesures in –situ</b> .....	19
<b>1.6.3. L’analyse technique des données</b> .....	24
<b>1.6.4. La formulation des recommandations</b> .....	24
<b>1.7. Conclusion</b> .....	24
<b>CHAPITRE 2 : DESCRIPTION DU LYCEE Dr BENZERDJEB</b> .....	26
<b>2.1. Introduction</b> .....	26
<b>2.2. Situation de lycée Dr BENZERDJEB</b> .....	26
<b>2.3. Aperçu Historique</b> .....	27
<b>2.3.1. Études effectuées</b> .....	27
<b>2.4. Climat de la région de Tlemcen</b> .....	28
<b>2.5. Reconnaissance géotechnique du site</b> .....	29
<b>2.5.1. Géologie du site</b> .....	29
<b>2.5.2. Hydrogéologie du site</b> .....	31
<b>2.6. Description des blocs de lycée Dr BENZERDJEB</b> .....	33
<b>2.6.1. Bâtiment de la buanderie et des services généraux</b> .....	35
<b>2.6.2. Dortoir et blocs des lavabos</b> .....	37
<b>2.6.3. Bâtiments de l’externat</b> .....	39
<b>2.6.4. Les bâtiments de logements</b> .....	40
<b>2.6.5. le bloc des classes spécialisées</b> .....	41



2.7. Conclusion.....	42
<b>CHAPITRE 3 : DESCRIPTION ET ETUDE DE L'OUVRAGE.....</b>	<b>43</b>
3.1. Introduction.....	43
3.2. Historique de bloc des classes spécialisées.....	43
3.3. Les travaux effectués sur le site.....	44
3.4. Description de l'ouvrage.....	44
3.4.1. Destination.....	44
3.4.2. Typologie de la structure de bloc de l'ouvrage.....	44
3.4.3. Stabilité du bâtiment.....	45
3.4.4. L'architecture de bâtiment.....	45
3.4.5. La structure du bâtiment.....	46
3.4.6. Les matériaux de construction.....	48
3.5. Aspects géologiques.....	50
3.6. Caractéristiques mécaniques.....	52
3.6.1. Essais au laboratoire.....	52
3.6.2. Essais pressiométriques.....	53
3.6.3. Evaluation théorique des tassements.....	54
3.6.4. Estimation de tassement différentiel réel.....	55
3.7. Diagnostic de l'ouvrage.....	55
3.7.1. La réhabilitation.....	55
3.7.2. Méthodologie de réhabilitation.....	55
3.7.3. Relevé de l'état existant.....	56
3.8. Conclusion.....	58
<b>CHAPITRE 04 : PATHOLOGIES ET CAUSES DES DESORDRES.....</b>	<b>59</b>
4.1. introduction.....	59
4.2. Localisation des fissures.....	59
4.3. Relevé pathologique.....	59
4.3.1. A l'extérieur de l'ouvrage.....	59
4.3.2. A l'intérieure de l'ouvrage.....	63
4.3.3. Illustration des désordres par élément de la partie 2 et 3.....	66
4.4. Les causes des désordres.....	72
4.4.1. Le tassement différentiel.....	73
4.4.2. Phénomène de retrait.....	73
4.4.3. Phénomènes d'érosion interne.....	74
4.4.4. L'humidité.....	75
4.4.5. La carbonatation.....	76
4.4.6. Les travaux de démolition de la partie 1.....	77
4.5. Conclusion.....	77
<b>CHAPITRE 05 : ETUDE STATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE.....</b>	<b>78</b>
5.1. Introduction.....	78
5.2. Objectif de l'étude dynamique.....	78
5.3. Outil de calcul Sap 2000.....	78
5.4. Choix de la méthode de calcul.....	78

5.4.1. Méthode d'analyse modale spectrale .....	78
5.5. Les démarches de la modélisation .....	79
5.6. Propriétés des matereaux .....	79
5.7. Détermination des paramètres des combinaisons d'action .....	79
5.8. Descentes des charges.....	80
5.8.1. Plancher terrasse inaccessible.....	80
5.8.2. Plancher étage courant.....	80
5.8.3. Maçonnerie .....	81
5.8.4. Dalle plein (sous sol) .....	82
5.8.5. Dalle pleine (étage courant) .....	82
5.8.6. Dalle pleine (terrasse inaccessible) .....	82
5.9. Détermination des paramètres du spectre de réponse .....	83
5.10. Modélisation des structures.....	85
5.10.1. Cas de la partie 2.....	85
5.10.2. Cas de la partie 3.....	89
5.10.3. Cas de la partie 4 .....	92
5.11. Conclusion.....	94

## **CHAPITRE 6 : TRAVAUX ET TECHNIQUES DE REHABILITATION .....**

6.1. Introduction.....	95
6.2. L'objectif de la réparation.....	95
6.3. Le plan d'action des opérations de réhabilitation.....	95
6.4. Avant travaux de réhabilitation.....	95
6.4.1. La démolition de certains murs .....	96
6.4.2. Arrachement du carrelage.....	96
6.4.3. L'opération de nettoyage.....	96
6.5. Reconstruction des murs.....	97
6.6. La protection des infrastructures et les drainages.....	97
6.6.1. Le cuvelage externe.....	97
6.6.2 Drainage de surface.....	98
6.7. Les travaux de réparation dans le sous-sol du bâtiment.....	98
6.7.1. Réparation des ouvertures dans la plat forme.....	98
6.7.2. Réparation des dégradations des jointements de pierre.....	98
6.8. Réparation des bétons.....	99
6.8.1. Réparation des ouvertures de plancher.....	99
6.8.2. Traitement de corrosion.....	100
6.9. Traitement des fissures et des enduits.....	101
6.9.1. Les fissures capillaires.....	101
6.9.2. Les fissures dans la couche d'enduit.....	102
6.9.3. Les fissures au-dessus de joint de maçonnerie.....	103
6.9.4. Les fissure très important (passant) .....	104
6.9.6. Traitement des enduits.....	105
6.10. Traitement de la terrasse.....	106
6.10.1. Dépose de l'étanchéité existante.....	106
6.10.2. Traitement des fissures.....	106
6.10.3. Le réglage de pente.....	106
6.10.4. Création de réservation pour de nouvelles descentes d'eaux.....	106
6.10.5. Réalisation de l'étanchéité de la terrasse.....	107
6.11. Réparation ou remplacement de la menuiserie.....	108

<b>6.11.1.</b> Remplacement de la menuiserie .....	108
<b>6.11.2.</b> Réparation de la menuiserie .....	108
<b>6.12.</b> Revêtement de sol.....	109
<b>6.13.</b> Le traitement des façades.....	110
<b>6.14.</b> Réparation des équipements.....	110
<b>6.14.1.</b> Eau et assainissement.....	110
<b>6.14.2.</b> Electricité.....	110
<b>6.15.</b> Conclusion.....	110
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	111

## INTRODUCTION GENERALE

Depuis une quinzaine d'années, la ville de Tlemcen a connu de nombreux cas pathologiques de construction. Certaines de ces cas sont dus à des causes naturelles, d'autres à des interventions humaines. Parfois, c'est une combinaison de ces deux facteurs qui est le déclencheur du sinistre. Les blocs de lycée Dr BENZERDJEB font partie des ouvrages touchés par des désordres géotechniques. Nombreuses fissures ont été relevées, certaines laissent penser que la cause du sinistre est un tassement différentiel, mais d'autres fissures ont des orientations qui ne relèvent de ce phénomène.

Pour cerner avec une bonne précision les causes qui ont pu déclencher les désordres géotechniques, ce travail a été proposé.

Ainsi, après un recensement de l'ensemble des fissures, désordres et les malfaçons constatés sur les structures des différents blocs de lycée Dr BENZERDJEB, une étude de sol a été effectuée, pour cela, des profils géotechniques ont été établis sur la base des résultats des reconnaissances géotechniques, notamment les sondages carottés. Une étude de stabilisation de sol a été réalisée afin de vérifier l'équilibre de l'ensemble structure-sol. Les paramètres nécessaires aux calculs ont été soit déterminés, sinon ils ont été estimés sommairement.

La réhabilitation du patrimoine bâti est une opération qui vise à améliorer les conditions de vie des occupants tout en prenant le soin de conserver les caractéristiques d'authenticité qui caractérisent ce patrimoine.

L'avantage de la réhabilitation par rapport à la démolition puis la reconstruction est de limiter, voire supprimer les pertes d'exploitation, ainsi nous pouvons retenir les raisons principales pour une éventuelle réhabilitation et ce par ordre d'importance :

- La remise en conformité vis-à-vis des règlements en vigueur.
- Les dégradations et désordres que subissent les matériaux.
- L'esthétique.

Ce modeste travail est structuré comme suit :

Le premier chapitre consiste à une revue bibliographique sur les pathologies des ouvrages en béton armé et la méthodologie pour avoir un bon diagnostic.

Dans le deuxième chapitre, est présentée une recherche approfondie sur l'historique de lycée Dr BENZERDJEB et l'identification de chaque bloc ainsi que l'exploitation de notre cas d'étude (bloc de classes spécialisées ou pédagogiques).

Dans le troisième chapitre nous allons faire une description et étude de l'ouvrage : la situation, l'historique, la structure, caractéristiques des matériaux et du sol ainsi qu'un diagnostic de l'état de l'ouvrage.

Dans le chapitre quatre, on représente les différentes pathologies avec des relevées photographiques et métriques.

D'autre part, nous allons démontrer les différentes causes des dégradations constatées.

Le cinquième chapitre comporte l'étude statique et dynamique de la structure pour bien définir les zones les plus sollicitées et faire une vérification selon le code RPA 99 version 2003.

Dans le dernier chapitre nous allons déterminé les techniques et les opérations de réhabilitation les plus efficaces de chaque élément pour que l'ouvrage répond aux attentes et aux besoins des utilisateurs.

Au cours de ce travail, nous allons réaliser de nombreux diagnostics sur une structure en béton armé. Ce rapport a pour but de présenter le déroulement d'un diagnostic ainsi que les moyens techniques à notre disposition pour caractériser les désordres. Cette étape est capitale pour préconiser à des réparations adaptées et les plus durables. L'objet du PFE a été également l'occasion d'analyser une technique d'investigation plus détaillée, rappelle des diverses étapes d'un diagnostic et sa finalité.

## CHAPITRE 1 : PATHOLOGIES ET DIAGNOSTICS DES OUVRAGES EN BETON ARME

### 1.1. INTRODUCTION

Le béton armé est un matériau de construction de base, largement utilisé depuis plus d'un siècle, aussi bien dans le génie civil que dans le bâtiment. Il peut se dégrader sous l'influence de causes liées à sa qualité originelle ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Des pathologies apparentes ou cachées peuvent survenir. Afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, on établit un diagnostic nécessaire pour la prise des décisions relatives à la maintenance de l'ouvrage concerné.

A coté des phénomènes d'altération du béton armé qui peuvent être aggravés par une mise en œuvre défectueuse (enrobage insuffisant, mauvais choix de liants hydrauliques, de granulats ou d'adjuvants etc.), la pathologie des ouvrages en béton armé se manifeste principalement par la fissuration excessive, la déformation exagérée ou la rupture d'éléments.

### 1.2. Les pathologies des ouvrages

Les matériaux subissent l'environnement sont les actions mécaniques et du vent, les actions hygrothermiques et chimiques de l'air environnant ainsi que des matières agressives.

#### 1.2.1. Les actions mécaniques

Dans les calculs classiques de résistance, on néglige généralement un certain nombre de phénomènes, considérés comme secondaires, ou on en tient compte d'une manière forfaitaire.

C'est ainsi qu'on ne calcule pas (sauf exception) la valeur :

- Des moments exercés dans les murs par la rotation des planchers aux appuis.
- Des tassements différentiels entre semelles de fondation de grandeur différentes, bien qu'exerçant sur le sol la même pression.

#### 1.2.2. Les actions hygrothermiques

Chaque matériau possède un équilibre propre à lui vis-à-vis de l'état hygrométrique et de la température de l'air environnant. Il tend vers cet équilibre, plus ou moins lentement et modifie son évolution quand l'ambiance évolue.

Les matériaux augmentent de volume avec l'augmentation de leur teneur en eau et leur température et diminuent de volume dans le cas contraire.

La chaleur agit de deux manières : en dilatant par effet thermique et en diminuant l'humidité relative de l'air ambiant entraînant une réduction de teneur en eau des matériaux c'est-à-dire un retrait.

Ces deux effets antagonistes s'annuleraient en partie dans les matériaux s'ils arrivaient à se produire simultanément.

Malheureusement la cinétique des deux phénomènes est différente. La dilatation thermique est instantanée alors que l'exsudation de l'eau incluse et la contraction corrélative sont, beaucoup plus lentes.

### 1.2.3. Les actions chimiques et biologiques

L'humidité accompagnée de la chaleur favorise le développement d'organismes végétal, animal ou microbien. Ce phénomène entraîne pour certains matériaux des dégradations. Le bois subit un pourrissement et les calcaires peuvent se désagréger en milieux nitrurés. Les rayons ultraviolets du soleil provoquent la polymérisation des matériaux à chaînes carbonées (peintures et plastiques).

### 1.2.4. Les interactions

La cohabitation des matériaux présentent des lois de comportement différentes et sont capables de s'altérer les uns envers les autres en causant certains désordres :

- Rupture du plus fragile quand deux matériaux mitoyens se déforment différemment (béton et brique creuse, canalisations et gros œuvre, etc.).

## 1.3. La fissuration des ouvrages

La fissuration du béton armé peut avoir deux origines bien distinctes et indépendantes l'une de l'autre :

- La fissuration liée à la mise en œuvre et à la qualité du matériau est la fissuration accidentelle.

- Les fissurations liées au fonctionnement de l'ouvrage sont les fissurations fonctionnelles mécanique ou thermique.

Avant d'envisager le traitement des fissures, il est impératif d'en déterminer l'origine. Les fissures ne sont en effet que la manifestation de phénomènes dont il faut mesurer la gravité.

### 1.3.1. La fissuration accidentelle

Quatre principales causes de fissurations accidentelles sont :

#### 1.3.1.1. Le ressuage

L'exsudation superficielle d'une partie de l'eau de gâchage à la surface du béton frais s'accompagne d'un tassement qui peut créer des fissures au droit des obstacles s'opposant au mouvement, tel que les armatures et les variations d'épaisseur notamment.

L'ouverture de ces fissures peut atteindre plusieurs millimètres et entraîner la corrosion des armatures.

#### 1.3.1.2. Le retrait plastique

Il s'agit d'un phénomène exogène de dessiccation qui se produit avant et pendant la prise du béton. L'ordre de grandeur du retrait plastique est de 1 à 5 mm par mètre selon la vitesse d'évaporation de l'eau du béton. La fissuration plastique affecte les bétons de qualité médiocre.

### 1.3.1.3. Le retrait thermique

La prise du ciment étant une réaction exothermique ; elle s'accompagne d'un important dégagement de chaleur qui chauffe le béton. Après la prise, le refroidissement du béton se traduit donc par un retrait thermique qui peut provoquer l'apparition de fissures.

### 1.3.1.4. Le retrait hydraulique

Ce retrait différé s'exerce sur une période de 1 à 2 ans après la mise en œuvre.

Il est directement lié au départ de l'eau libre du béton (excédant d'eau de gâchage nécessaire à l'ouvrabilité du béton mais n'entrant pas dans sa constitution) dans le temps. Ce retrait se produit d'autant plus lentement que les pièces sont massives et que l'humidité ambiante est élevée.

Les fissures liées aux quatre premières causes apparaissent entre les premières heures et les premiers mois d'existence du béton. Les fissures accidentelles n'ont en elles-mêmes aucun caractère de gravité. Elles peuvent cependant avoir des conséquences néfastes sur les ouvrages eux-mêmes ou les éléments qui leur sont associés :

- Corrosion des armatures si leur ouverture est importante.
- Infiltrations d'eau, si elles sont traversâtes.
- Désordres causés à des revêtements rapportés.

### 1.3.2. La fissuration fonctionnelle mécanique

Le principe même du fonctionnement des ouvrages en béton armé est basé sur la médiocre résistance du béton en traction. Celle-ci est compensée par les armatures placées dans les zones tendues. La sollicitation des armatures en traction suppose donc la fissuration du béton.

Lorsque les fissurations sont conformes au schéma de calcul, il n'y a pas de danger ni de désordre. Les fissures fonctionnelles d'un ouvrage en béton correctement dimensionné et mis en œuvre sont par nature compatibles avec un bon comportement. La seule anomalie peut donc provenir d'une ouverture excessive des fissures qui indique obligatoirement le dépassement des sollicitations prises en compte.

Lorsque la fissuration n'est pas conforme au schéma de calcul, on peut conclure à priori à une conception, une mise en œuvre ou un usage défectueux. Cela concerne généralement un mauvais positionnement des armatures, une sollicitation excessive du béton en compression, des dispositions constructives inadéquates ou des sollicitations non prises en compte dans les hypothèses de calcul (surcharges exagérées, tassement de fondations, poussées et tractions au niveau d'éléments structurels).

Il est également possible que la modélisation choisie pour le calcul des ouvrages ne soit pas représentative du fonctionnement réel. Cela se produit notamment lorsque des reports de charges intéressent des éléments de raideurs très différentes. Les éléments les plus raides (de plus forte inertie ou de plus faible portée) reprennent alors des charges pouvant être beaucoup plus importantes que prévu.



### 1.3.3. La fissuration fonctionnelle thermique

La plupart des ouvrages en béton armé sont soumis à des variations de température qui se traduisent par des dilatations et des rétractions. Lorsque ces mouvements sont gênés ou empêchés par des éléments de structure raides, ou lorsque les joints de dilatation sont trop espacés, les raccourcissements s'effectuent au prix de fissures.

### 1.4. La déformation des éléments en béton armé

Les éléments en béton armé les plus sensibles sont ceux qui fonctionnent généralement en régime isostatique, il n'y a pas donc possibilités d'adaptation et la déformation est directement liée à l'inertie des éléments, elle-même tributaire de l'état de fissuration de béton. Les causes de désordre peuvent être liées à des hypothèses de calcul incorrectes (notamment pour l'inertie prise en compte), ou un mauvais positionnement des armatures.

### 1.5. La rupture des éléments en béton armé

Les causes de rupture d'éléments en béton armé sont souvent les mêmes que celles qui induisent des déformations excessives :

- Le calcul des sollicitations largement dépassées.
- Sous dimensionnement des éléments.
- Affaiblissement de la section du béton et des armatures due à la corrosion.
- Mauvais positionnement des armatures.

Les ruptures peuvent aussi se produire brutalement, sans prévenir par des déformations décelables :

- Rupture au cisaillement par efforts tranchant.
- Rupture en traction.

### 1.6. Les investigations dans le béton armé

Le béton armé est un composant mixte, dont l'évaluation des caractéristiques est complexe. Le diagnostic est le résultat d'investigations effectuées pour se prononcer sur l'état d'une construction et ses conséquences.

Lors d'un diagnostic, on cherche à déterminer la résistance du béton, sa fissuration, la constitution et l'enrobage des armatures, etc.

Le déroulement du diagnostic comporte quatre volées :

- Un examen visuel ou morphologique.
- Des mesures sur site au moyen d'appareillages spécifiques.
- Analyse technique des mesures effectuées.
- Formulation des conclusions et recommandations techniques.

Cependant, un diagnostic reste une approximation plus ou moins précise où il est rarement possible d'obtenir un recueil exhaustif des données.

#### 1.6.1. Examen visuel ou morphologique

Dans un premier temps, il s'agit de définir un éventuel programme d'investigation à envisager pour affiner un éventuel diagnostic.

Les informations doivent être utilisées avec prudence, et surtout pas comme des données de base du diagnostic; elles sont plutôt à considérer comme des éléments de recoupement

des constats ou comme des sources d'indication sur la manière d'orienter le diagnostic ; ces informations sont obtenues par :

- Une prise des photos.
- Une identification et localisation des zones fortement sollicitées.
- Une observation de zones critiques telles : jonctions, appuis, etc.
- La localisation des fissures.

## 1.6.2. Mesures in –situ

### 1.6.2.1. Introduction

La détermination des caractéristiques pour un niveau d'existence, de position des armatures, de dureté du béton, de degré de corrosion et d'oxydation des armatures, et à l'issue d'un tour d'horizon, on peut avoir une idée sur :

- L'homogénéité de l'état des lieux ou sur l'existence de plusieurs cas de figures bien distincts.
- La nature et la localisation des désordres.
- Des anomalies de fonctionnement vétustes, non conformes à la réglementation en vigueur.
- la localisation des sondages et des prélèvements à effectuer.
- Des points suffisamment explicites pour se prononcer d'emblé.
- L'ouverture des fissures dans le béton.

Les différentes mesures in-situ sont :

### 1.6.2.2. Mesures sur le béton

#### a- Le scléromètre

Cet instrument relativement simple à l'origine, permet d'estimer la résistance du béton, mesure la dureté superficielle du béton par rebondissement d'une masselotte.

Il est nécessaire de procéder à une quinzaine d'essais sur chaque zone testée pour déduire une valeur moyenne représentative.

Le scléromètre est un instrument particulièrement performant pour préciser l'homogénéité de la résistance du béton aux différents points d'une structure, mais l'information sur le béton reste imprécise par cette méthode.



**Figure 1.1** : Mesure au scléromètre.

### b- L'ultrason

Cette méthode permet d'estimer la résistance d'un béton ou de détecter la présence de microfissures interne, c'est une corrélation entre la résistance, la vitesse du son  $V_l$ , la compression  $R_c$ , et le module d'élasticité.

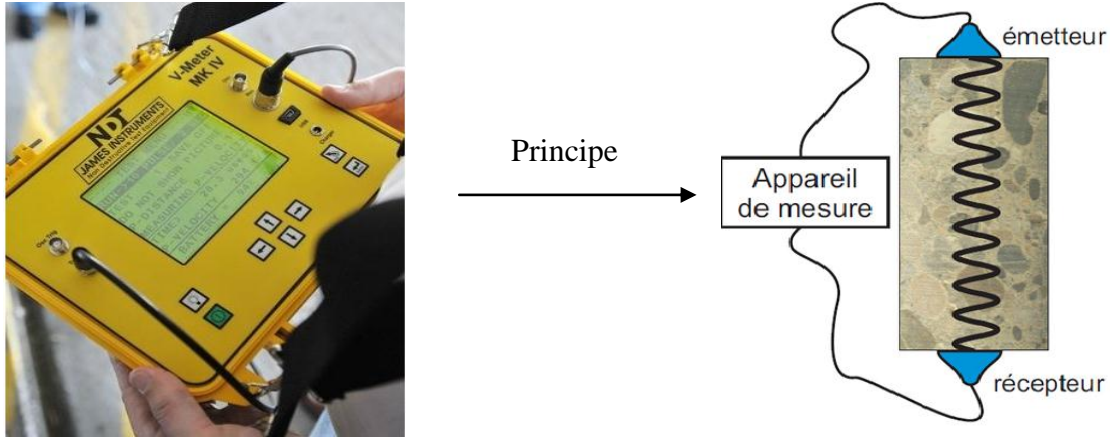


Figure 1.2 : Mesure par ultrasons.

### c- Le carottage

Prélèvement de carotte a comme but de faire des analyse en laboratoire, ces examens d'un aspect pétrographique, peuvent être demandé en vue de :

- L'identification des agrégats.
- La détérioration des agrégats.
- L'homogénéité du béton.
- La profondeur d'une éventuelle carbonatation.
- La répartition des fissures.
- L'analyse chimique (la teneur en ciment, présence et quantité de chlorures).
- Des essais physico-mécaniques (densité, résistance à la compression, module d'élasticité).

#### 1.6.2.3. Les détecteurs des armatures

Ces appareils permettent de détecter la présence d'armatures, leur position (enrobage notamment) et leur diamètre. Ils fonctionnent par effets magnétiques ou électromagnétiques mais la profondeur d'investigation reste limitée à une dizaine de centimètres. Il y a trois types de détecteurs :

#### a- Le pachomètre et le profomètre

Utilisés pour la détermination précise de la position et du diamètre des armatures dans le béton.

#### b- Le corrosimètre

Employé dans le but de détecter la corrosion des armatures, d'ouvrages en béton avant l'apparition des dommages visibles, en mesurant le potentiel de surface du béton.

### c- La radiographie

Ce procédé permet de réaliser des clichés radiographiques du béton, son coût est relativement élevé compte tenu du matériel nécessaire et surtout des mesures de protection à mettre en place (évacuation du site, périmètre de sécurité, autorisation administratives...), utilisables pour des éléments dont l'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 cm, la gammagraphie fournit des informations multiples et très précises sur les armatures et les défauts internes du béton :

L'obtention de film photographique impressionné par les rayons qui traversent la paroi du béton. L'analyse est interprétée en fonction des traces obtenues :

- trace claire → corps plus dense que le béton.
- trace noire → présence de vide.

### a- Phénomène de corrosion des armatures

La durabilité des armatures du béton armé est assurée par leur enrobage de béton sain, c'est contenant encore une réserve en ciment susceptible de libérer la chaux nécessaire au milieu basique ( $\text{PH} \approx 12$  à  $13$ ). Dès que cette condition n'est plus remplie, l'acier formant une rouille gonflante (expansion pouvant atteindre 800 %).

Pour que la corrosion des aciers d'armatures puisse avoir lieu, les trois conditions schématisées sur la figure 1.3 doivent être réunies.

Remarque : les structures en permanence dans l'eau ou enterrées ne sont pas atteintes par la corrosion du fait qu'il n'y ait pas d'oxygène.

La dépassivation de l'acier d'armature peut être due à 2 causes :

- La pénétration dans le béton de suffisamment d'ions chlorure  $\text{Cl}$ .
- Lorsque le front de carbonatation du béton a atteint l'armature.

Si l'un de ces deux phénomènes se produit, le  $\text{PH}$  du béton chute et l'acier n'est plus protégé. Une fois que l'acier d'armature est dépassivé et est en contact simultané avec de l'oxygène et de l'eau (humidité), la dissolution du métal a lieu ; Corrosion sous la forme de formation de rouille, puis perte de section.

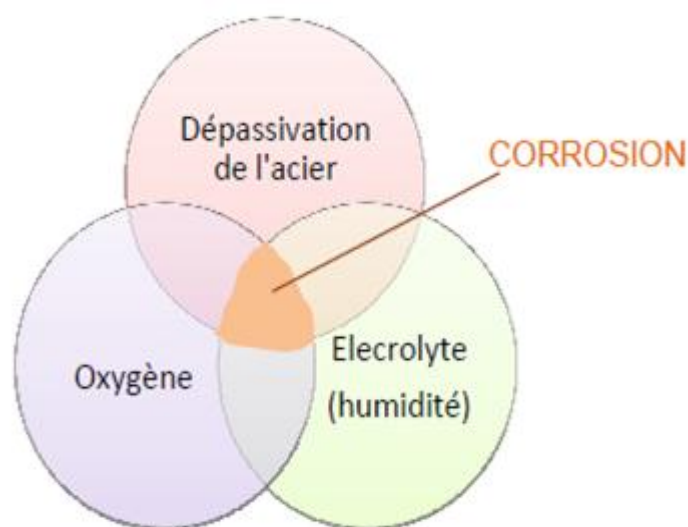


Figure 1.3 : Facteurs de corrosion.

### b- La corrosion en présence de chlorures

Les chlorures proviennent essentiellement de l'eau de mer, de l'environnement marin ou de l'épandage des sels de déverglaçage sur les routes en hiver (ponts et tunnels). La surface du béton de la structure est alors en contact avec des ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) dissous dans l'eau ou présents dans l'air.

Ils pénètrent dans le béton d'enrobage par divers mécanismes de transport et principalement par succion capillaire lors de précipitations. Au fur et à mesure de leur progression, un certain nombre de ces ions sont liés chimiquement par les composants de la pâte de ciment durcie. Seuls les chlorures libres présentent un danger pour la corrosion des barres d'armatures. De plus les chlorures catalysent la réaction.

Lorsqu'un certain taux d'ions chlorures est atteint, appelé taux critique, la couche passivée devient instable. Une valeur de 0,4 % par rapport au poids du ciment a été établie comme une limite de dépassivation de l'acier. Cette valeur, largement utilisée dans la pratique, est considérée comme très conservatrice et dans de très nombreux cas, aucune corrosion n'a fait son apparition pour une telle teneur en chlorure.

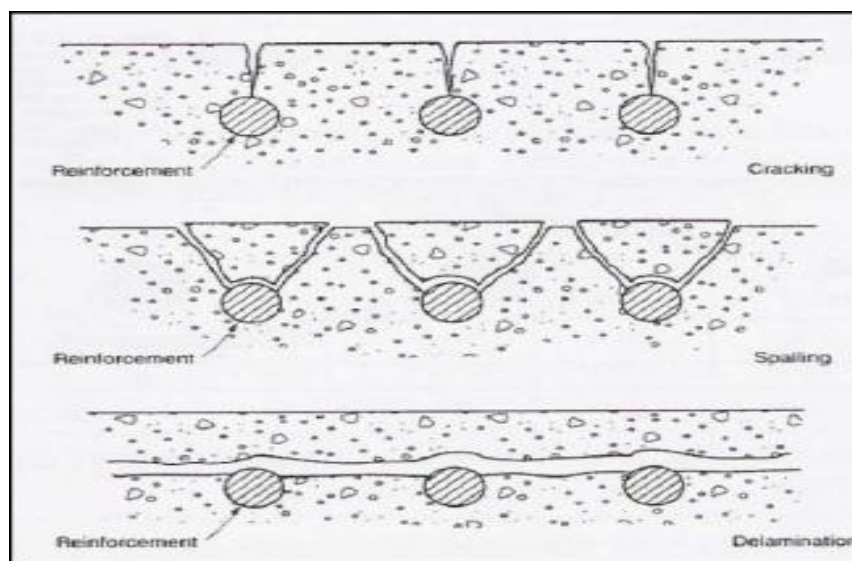
### c- La carbonatation

La carbonatation peut se représenter par la réaction chimique suivante :

La chaux présente dans le béton réagit avec le dioxyde de carbone et forme de la calcite.

La vitesse de carbonatation dépend de l'apport de  $\text{CO}_2$ . Le dioxyde de carbone ne peut pénétrer dans le béton qu'en phase gazeuse. La réaction chimique du  $\text{CO}_2$  avec les alcalins, en particulier avec la chaux, requiert la présence d'eau. La carbonatation ne peut survenir que si l'humidité relative de l'air est comprise entre 40 % et 95 % environ.

Cette réaction entraîne une chute du PH qui est de l'ordre de 12,5 pour un béton sain et passe à 8,5 pour un béton carbonaté.



**Figure 1.4 :** Types de fissures provoquées par la corrosion des armatures.

#### **d- Les désordres dus à la corrosion**

La corrosion des armatures a souvent pour conséquences des symptômes visibles sur le parement, tels que fissurations au droit des armatures, décollements de béton, éclats et épaufrures. Mais attention, d'autres mécanismes peuvent être à l'origine de ces dégradations.

Les fissures créées par le gonflement de la barre consécutif à la formation de la rouille sont à différencier des fissures de retrait et des fissures de flexion ou d'effort tranchant.

Les fissures provoquées par la corrosion de l'armature sont en général de trois types comme illustré sur la figure 1.4 :

- Une fissure au droit de la barre d'armature.
- Deux fissures de part et d'autre d'une barre symbolisant le détachement d'une bande à section trapézoïdale.
- La délamination d'un pan de mur constitué du béton d'enrobage.

Lorsque le stade de corrosion est avancé, les armatures corrodées sont souvent apparentes et des traces de rouille sont visibles.

La forme, l'étendue des désordres, leur intensité dépendant à la fois de la position des armatures (enrobage et espacement), de la qualité du béton d'enrobage (compacité et homogénéité), et de l'environnement (nature de l'agent agressif).

Ainsi, lorsqu'une corrosion se manifeste, il est raisonnable de s'attendre à ce que le processus de dégradation s'étende au-delà de la dégradation visible. Capables de nous donner des informations sur l'état des armatures dans les recouvertes de béton sont utilisés.

#### **1.6.2.4. Les détecteurs des fissures**

##### **a- Le fissuromètre**

Permet de suivre l'évolution d'une fissure sur un plan ou dans un angle.

##### **b- L'extensomètre**

Permet de mesurer la déformation linéaire d'un élément de structure.

Remarque : L'hygromètre permet d'évaluer l'humidité, en surface et en profondeur sur les parois de béton. L'hygromètre permet de mesurer le taux d'humidité en profondeur de façon non destructive par une méthode basée sur la radiofréquence.



### 1.6.3. L'analyse technique des données

L'analyse des informations et les données collectées, doit permettre d'interpréter les constats effectués en vue de formuler des conclusions. Pour faciliter ce travail, on peut reporter les données de manière à modéliser les phénomènes observés et les constats effectués.

Les modes d'analyse font appel à plusieurs types d'opérations :

- Le calcul

Il permet de déterminer la capacité portante des structures ainsi que les zones critiques au niveau des éléments structuraux.

- Le recoupement

C'est la recherche de la cohérence ou au contraire de l'incompatibilité entre les données ou les informations portant sur un même aspect, mais provenant de sources différentes. Cela permet de consolider la validité de certaines hypothèses et d'en écarter d'autres.

- La comparaison

Il s'agit de repérer les ressemblances et les écarts permettant souvent, d'extrapoler ou d'exclure des résultats de données ou d'informations. Cela permet de hiérarchiser les différentes constatations.

- L'évaluation

C'est une estimation quantitative ou qualitative elle comporte une part d'approximation par rapport à un calcul scientifique. L'évaluation peut par ailleurs, s'appuyer sur des comparaisons, des recoupements ou des calculs.

On peut conduire une opération d'évaluation par :

Un examen du dossier d'ouvrage (les plans d'exécution et les notes de calcul).

Un état actuel de l'ouvrage (une exploitation des données et des informations pris en compte antérieurement).

- La vérification

L'objectif est de détecter les éventuels écarts par rapport aux exigences des référentiels techniques et réglementaires pris en compte.

### 1.6.4. La formulation des recommandations

Les conclusions correspondent à des avis argumentés, fondés sur les constats et les analyses effectuées. Il s'agit là d'une véritable prise de position du diagnostic sur l'état de la structure ou des éléments structuraux, accompagnées de cas échéant des marges d'incertitudes n'ayant pu être levés.

Les recommandations se déduisent des conclusions en les replaçant dans la perspective de la commande du diagnostic.

Les recommandations doivent donc tenir compte, des enjeux économiques et de la faisabilité technique des travaux préconisés en matière de :

- Réparation, renforcement des structures.

- Traitement des causes et des effets de désordres constatés lors du diagnostic.

### 1.7. Conclusion

Dans cette partie nous avons présenté l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que les différents moyens disponibles pour le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de déterminer la nature des pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur importance. Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles. Mais c'est avant toute va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée pour éliminé les causes de ces problèmes. Cette cause peut être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentours. Afin de rendre les réparations pérennes, il est nécessaire de mettre en œuvre des travaux de réparation et de protection adaptées, mais aussi de travailler sur l'origine de problème afin d'éviter l'apparition rapide des nouvelles pathologies semblables.



## CHAPITRE 2 : DESCRIPTION DU LYCEE Dr BENZERDJEB

### 2.1. INTRODUCTION

Le lycée Dr BENZERDJEB comporte une dizaine de bâtiments de diverses tailles étalés sur un terrain d'environ quatre hectares, délimitant des espaces verts et des terrains de sport.

les bâtiments sont étagés sur une pente, ils sont classés en quatre catégories (voir figure 2.6 et figure 2.7) :

- Administration : Elle se trouve à l'entrée principale de lycée (bloc 01).
- Externat : Comporte les blocs pédagogiques, laboratoires et sanitaires (blocs 07 et 08).
- Internat : Se présente dans l'état ancien par deux bâtiments (blocs 05 et 06), qui sont devenus actuellement académie et C.E.M respectivement.
- Service générale : Il rassemble les logements de fonction (bloc 09) et bibliothèque (blocs 02), réfectoire (bloc 03).

### 2.2. Situation de lycée Dr BENZERDJEB

Le lycée Dr BENZERDJEB est situé au sud de la ville de Tlemcen. Ces coordonnées Lambert (centre du terrain) sont les suivantes :  $X=132,850m$  ;  $Y=182,800m$ . De forme trapézoïdale, il est limité au sud par le boulevard de l'A.L.N, à l'est par le boulevard Hamsali Sayah, au nord par la maison des handicapés et à l'ouest par une rue secondaire.



**Figure 2.1** : Situation de lycée Dr BENZERDJEB (Google Earth)

Le boulevard de l'A.L.N correspond sensiblement à la ligne de changement de pente au sud de la ville, le relief s'élève rapidement de la cote 827m (boulevard) à la cote 1026m (plateau de Lalla Setti) accusant une pente de 1 à 25%. Au nord, le relief s'abaisse modérément avec une pente de 5 à 8 %.

La carte topographique de Tlemcen aux 1/50.000° mise à jour en 1958 indique un cours d'eau passant à l'époque dans la partie ouest de lycée (bâti probablement à la place d'un ancien verger).

### 2.3. Aperçu historique

Le lycée Dr BENZERDJEB a été réalisé durant l'époque coloniale entre la période 1952 à 1960 dans des conditions assez difficiles. Certaines parties d'ouvrage du lycée ont été réalisées après 1960 (entre 1973 et 1974 deux étages supplémentaires ont été construits sur le rez de chaussée des classes spécialisées).

Il est localisé dans une zone favorable aux circulations des aquifères. Certains témoignages signalent que le site du lycée était affecté d'un ancien marécage et contenait deux sources d'eau. Des photographies prises au cours de la réalisation (avril 1957) montrent un terrain inondé et le passage d'un ruisseau par le site. Le terrassement a duré deux ans. Trois entreprises se sont succédées pour terminer le projet vers 1960. La végétation du lycée aurait été plantée dès 1965.



**Figure 2.2 :** Ancienne photo de lycée Dr BENZERDJEB (1957).

D'après les informations recueillies, les désordres ont débuté en 1973 au coin nord-ouest de la buanderie. Une ouverture brutale de fissures s'est produite la nuit du 20 au 21 septembre 1974 au niveau du bloc des lavabos les désordres de la partie ouest des classes spécialisées (pédagogique) datent de 1977. L'affaissement du terrain au niveau du dortoir 1ère cycle date de 1980 à 1982 (voir plan de masse figure 2.6).

#### 2.3.1. Études effectuées

Plusieurs expertises et investigations géotechniques ont été effectuées et une timide intervention de confortement s'est soldée par un échec et puis l'abandon du site.

En effet, dès 1975, la wilaya de Tlemcen a engagé le bureau d'études français « COYNE et BELIER » qui a procédé à une expertise par l'intermédiaire de SOCOTEC Oran et a présenté à ce sujet un rapport préliminaire basé sur les résultats détaillés de la campagne de reconnaissance géotechnique qui a été élaboré en Mai 1975.

Un avant projet sommaire a été établi par le bureau d'études pour le confortement des premiers bâtiments touchés (lavabos, buanderies et logements) et les travaux ont été confiés à une entreprise locale de Tlemcen portant sur la reprise en sous œuvre des bâtiments précités.

En 1980, le bâtiment dortoir a fait l'objet des mêmes dégradations ce qui a amené les responsables de la wilaya à faire appel une deuxième fois au bureau d'études « COYNE et BELIER » afin de dégager une solution de confortement de ce bâtiment, selon la même technique des puits bétonnés.

Les entreprises ayant réalisé les travaux précédents ont été consultés par l'administration et se sont désistées.

Devant cette situation l'entreprise SONAGHTER a été consultée. Cette dernière proposa la technique des micros pieux. Après 06 mois de travaux SONAGHTER a replié son matériel et abandonna complètement le chantier compte tenu des difficultés techniques rencontrées lors de la réalisation des travaux.

Devant cette situation, le ministère de l'habitat a désigné le bureau d'études BEREP qui s'est présenté sur les lieux et a élaboré un rapport préliminaire basé sur les constatations et les informations recueillies sur place.

Devant la généralisation du phénomène à l'ensemble des bâtiments et l'accentuation des désordres ; et compte tenu des dépenses importantes engagées sans résultats appréciables, il a été décidé de faire appel au LNHC pour l'élaboration d'une étude géotechnique générale de toute la zone du lycée Dr BENZERDJEB.

C'est ainsi qu'une étude géotechnique détaillée a été réalisée par le LNHC.

Une dernière expertise a été élaborée par le BEREP en prenant comme base les résultats de l'étude géotechnique de LNHC.

Enfin en 1995, le CTC/Chlef a été associé par la DUC de Tlemcen à interpréter soigneusement les différentes expertises faites depuis donc 1975. (Rapport d'expertise de CTC Chlef 1995)

#### **2.4. Climat de la région de Tlemcen**

La région de Tlemcen se caractérise par un climat essentiellement de la méditerrané mais subissant une influence continentale.

D'après les données météorologiques de la station de Tlemcen Saf Saf couvrant la période allant de 1975 à 1980, les températures varient comme suit :

- La température moyenne annuelle est de 15,9°C.
- La moyenne annuelle des maxima est de 21,9°C avec une moyenne pentadaire maximale de 32,7° C au mois d'août.
- La moyenne annuelle des minima est de 10,5°C avec une moyenne pentadaire minimale de 5,3°C au mois de janvier (variant de 4,8 - 6,3°C).

Au cours d'une même journée, l'amplitude thermique peut atteindre 6,1°C (décembre, janvier et février) à 12°C (juillet).

- La moyenne annuelle des précipitations tombant sur la région étudiée est de 660 mm (période allant de 1950 à 1984, soit 35 ans).

A l'échelle annuelle, la valeur des précipitations est quelque peu irrégulièrement répartie avec une saison arrosée entre décembre et mai (60 à 100. mm/mois) et une décroissance à partir de mai (minimum de 2 à 3 mm en juillet et août).



2.5. Reconnaissance géotechnique du site

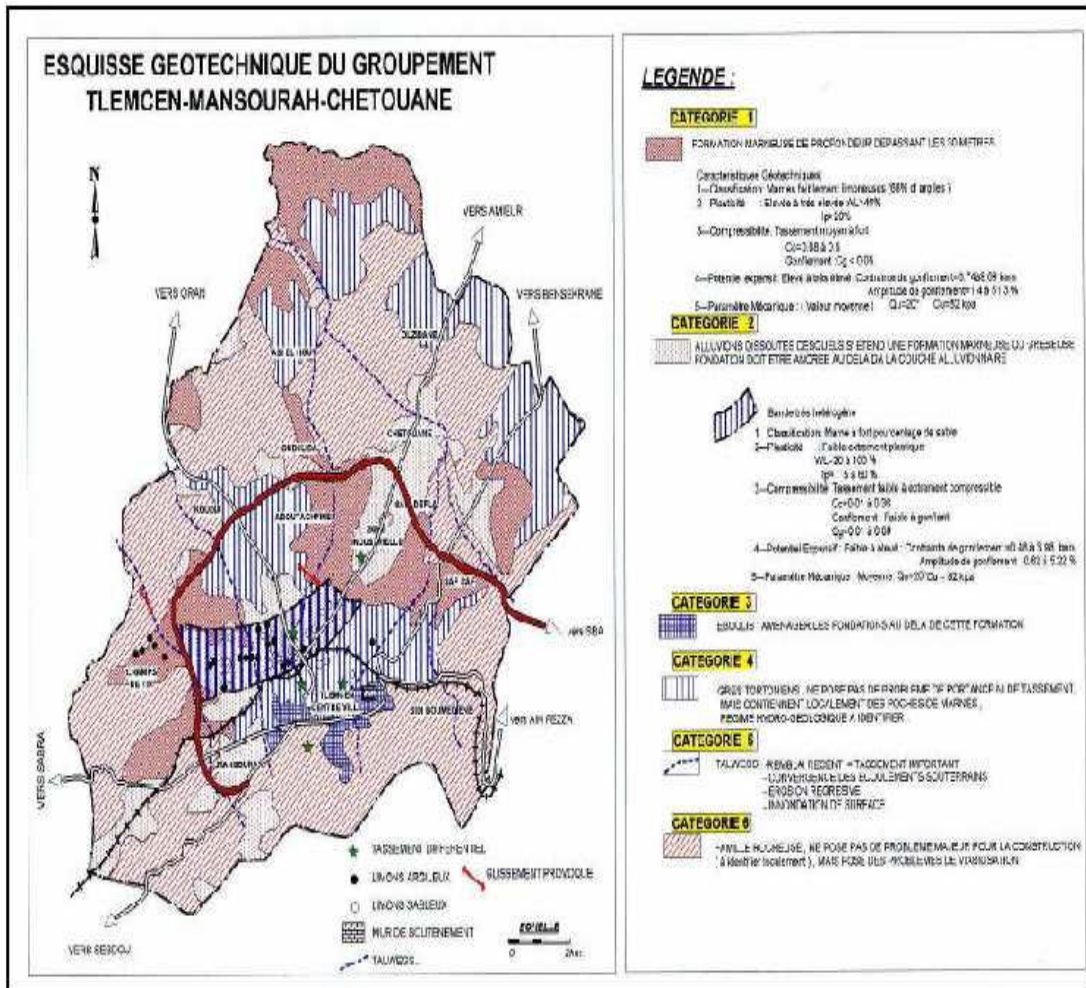


Figure 2.3 : Carte géotechnique de Tlemcen.

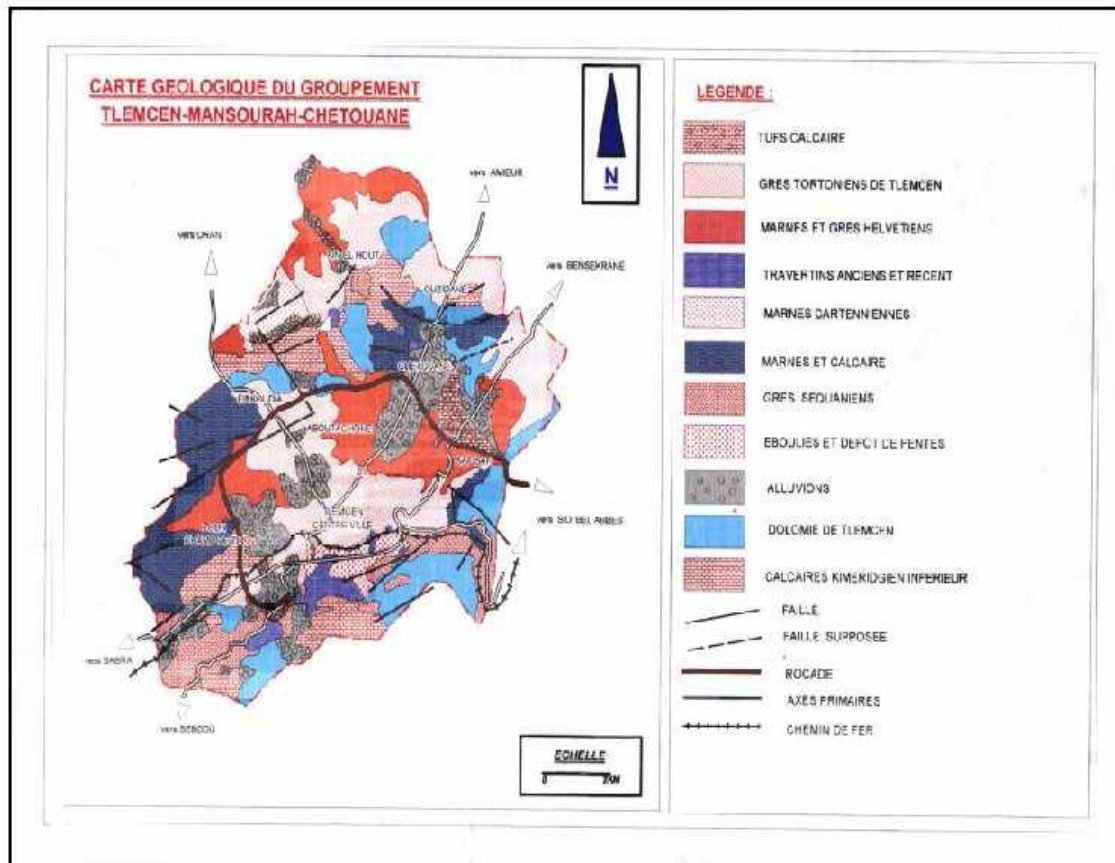
2.5.1. Géologie du site

La structure géologique de site considéré présente des variations suivant (Rapport LNHC 1987) :

Un massif de base formé d'un ensemble calcaire-dolomitique à une profondeur de plus de 50 m des conglomérats miocènes.

Une intercalation de grès et de marnes. Nous avons deux couches de marnes. La plus profonde est grise verdâtre et l'autre jaune verdâtre. Cette dernière se biseaute vers le nord-ouest où on voit l'apparition des éboulis (colluvions plio-quadernaires, les grès s'altèrent parfois en sables.)

Superficiellement, le terrain est recouvert tantôt par des remblais, tantôt par une couche d'argile rougeâtre (au droit du bloc administratif).



**Figure 2.4 :** La carte géologique du groupement Tlemcen, Mansourah et Chetouane.

Les profils géologiques tracé à partir des sondages donnent une idée sur la composition du site :

#### **a- Les remblais**

Constitués d'une carapace tufacée d'épaisseur allant de 0.2 à 3 m.

#### **b- La marne jaune verdâtre**

D'épaisseur variable, nulle là où l'on trouve des éboulis, et pouvant atteindre 15m. C'est une marne mi raide à raide très fissurée comporte des intercalations centimétriques de grès et sables jaunes à roux. Les fissures sont subverticales. L'eau doit y circuler.

#### **c- Les éboulis de pente**

Ce sont des colluvions plio-quadernaires composés de gros blocs hétérométriques, galets, et cailloux subarrondis, formés à leur tour par un conglomérat calcaire et dolomique. L'espace interstitiel est remplie partiellement par un matériau argilo-sableux. Ces éboulis sont macroporeux, très vacuolaires et présentent des signes évidents d'activité karstique. Leur épaisseur peut aller jusqu'à 25m.

#### d- Les grès

Ils sont représentés par deux couches :

- la première située au dessous des marnes jaunes, est fondée par des grès durs à grains fins et à ciment carbonaté ; altérant avec du sable fin.
- la seconde se trouve au dessus des alluvions. Elle est constituée d'une alternance de sables et de grès durs à grains fines et ciment carbonaté avec dissolution local de ce ciment.

#### e- La marne grise verdâtre

Elle est intercalée entre les deux couches de grès présents des niveaux centimétriques gréseux, plus raide et plus dense que la marne jaune.

#### f- Les alluvions

Elles se trouvent à une profondeur dépassant 38 à 60m et sont constituées blocs, cailloux et graviers calcaires et dolomitiques enrobés dans une matrice marno-gréseuse. Ces conglomérats présentent par endroits des fissures et alvéoles de dissolution.

#### g- L'ensemble calcaire-dolomitique

Il est très profond et représente un substratum pour les ensembles cités.

### 2.5.2. Hydrogéologie du site

Nous pouvons distinguer deux complexes aquifères

- Un complexe jurassique.
- Un complexe mio-quaternaire.

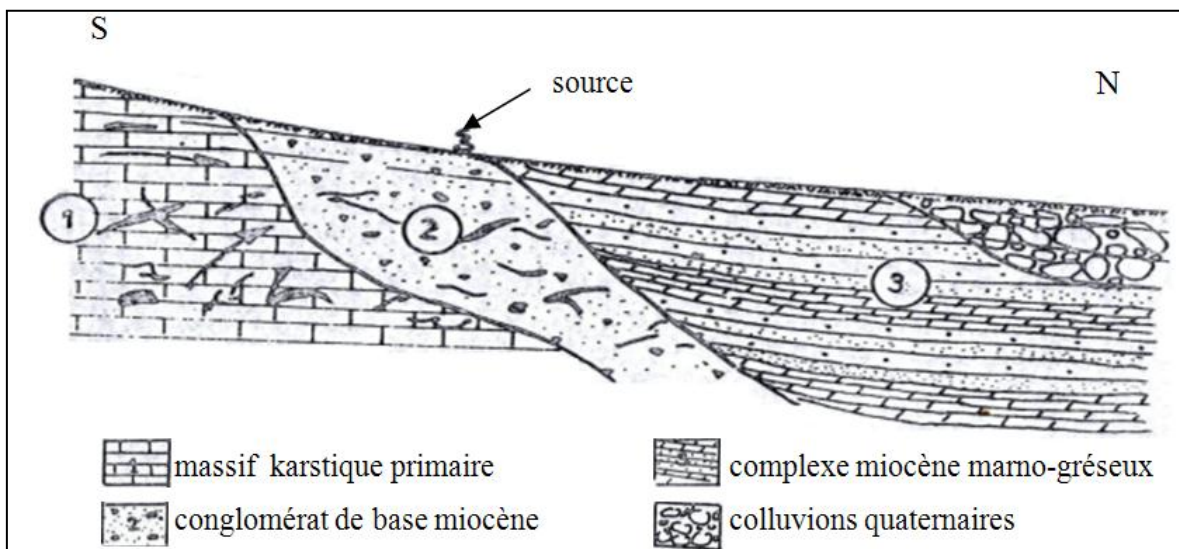


Figure 2.5 : Schématisation hydrogéologique.

**a-Complexe jurassique**

Il est constitué d'un massif karstique de calcaire et dolomies (1) et d'un conglomérat de base (2). Le massif (1) alimente le complexe miocène (3) par l'intermédiaire du conglomérat de base (2). (Voir figure 2.5)

**b- Complexe mio-quaternaire**

Ou sein des formations miocènes, l'écoulement est assuré par les séries de grès et de sables puisque les marnes sont imperméables la perméabilité est donc conditionnée par la présence de ces bancs de grès et ce sable.

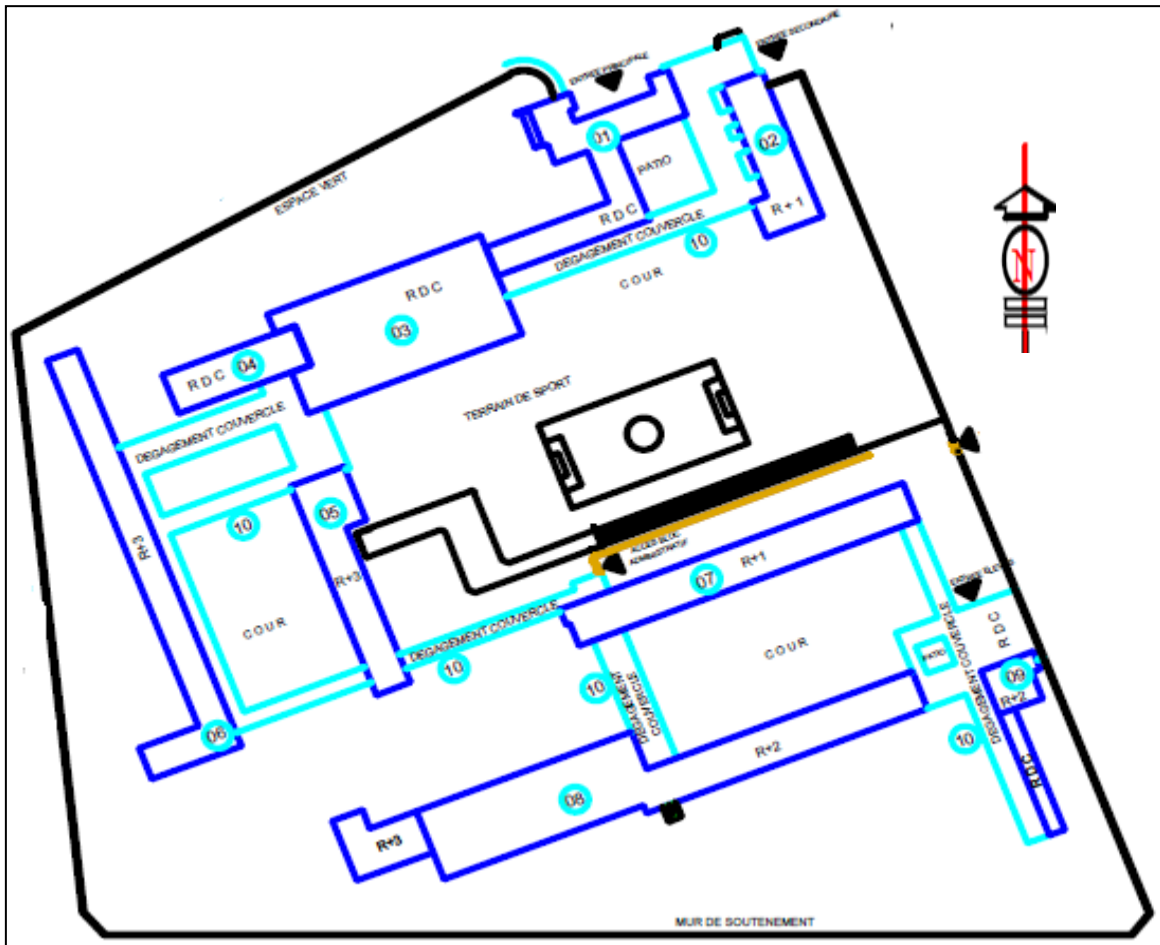
L'analyse des courbes hydroisohypses révèle la convergence de toutes les lignes de courant vers une même zone. Il s'agit de l'endroit d'une ancienne source au nord des classes spécialisées. Cette source s'est tarie après la construction du lycée. Les écoulements ont une direction générale sud-est vers nord-ouest ; direction qui ne correspond pas tout à fait la direction de la pente topographique. Ceci s'explique de la manière suivante :

D'une part, la région nord-ouest est forée par des éboulis macroporeux et présente donc un point de décharge ponctuel. D'autre part, les horizontales des marnes sont orientées du sud-ouest au nord-est avec un pendage d'environ 20° vers le nord-ouest.

L'assise du dortoir et de l'infirmerie est une zone où doit s'accumuler beaucoup d'eau. Des témoignages révèlent l'apparition d'eau dans la cage d'ascenseurs au niveau des dortoirs. De même que le niveau statique de la nappe était en novembre 1974 à 1,2m au dessous du terrain naturel près de la buanderie.

Le laboratoire remarque que le gradient est très grand au niveau des classes spécialisées (0,8 à 1,2). Les sondages indiquent que dans cette même partie les grès sont très fissurés et leur ciment carbonaté est partiellement dessous. Nous verrons ultérieurement durant cette dernière période de sécheresse, le niveau de la nappe s'est abaissé de 5 à 10 m et se trouve actuellement dans la plupart des régions du lycée au dessous de la première couche des marnes.

2.6. Description des blocs de lycée Dr BENZERDJEB

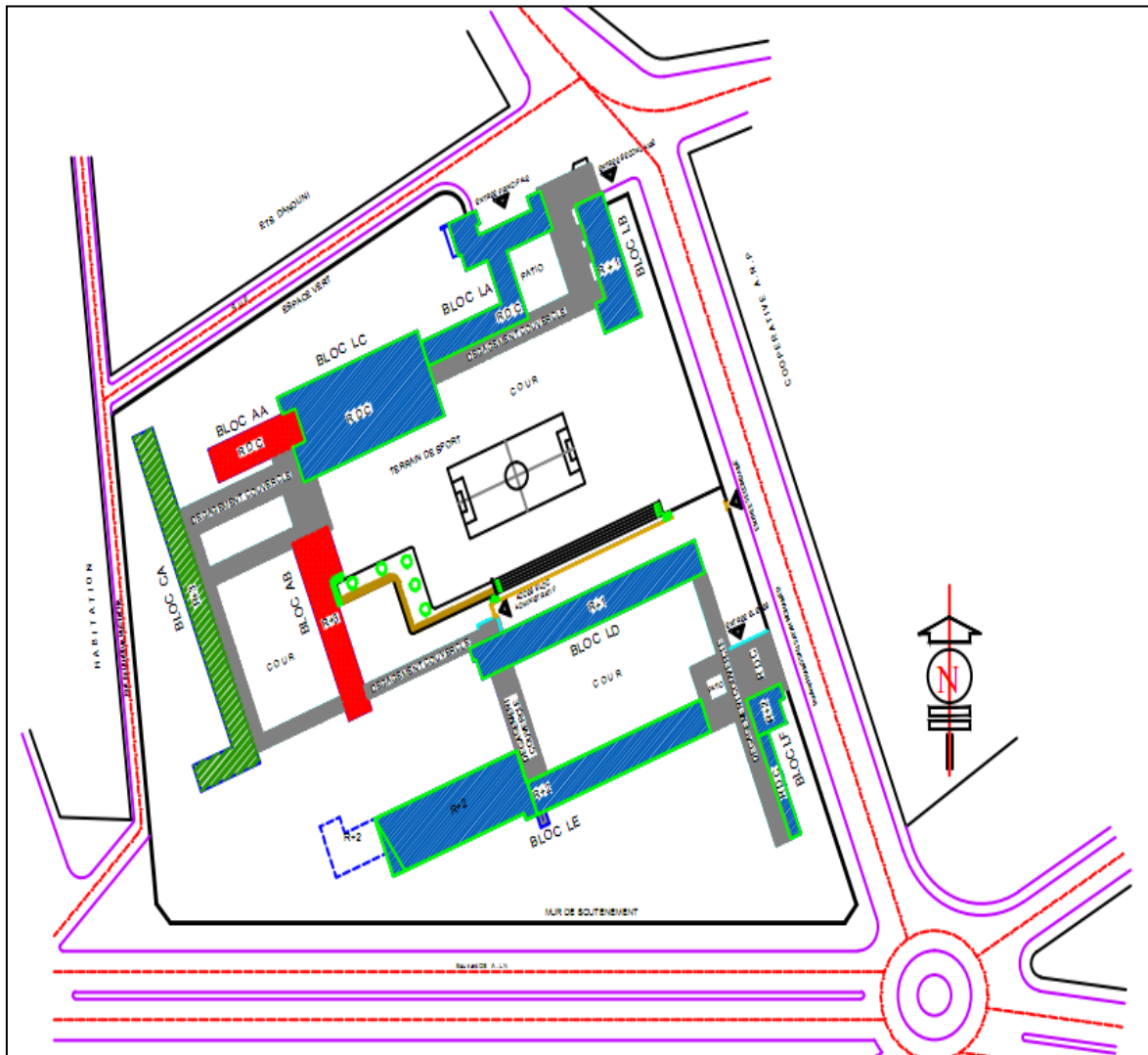


LEGENDE

	LYCEE	NIV
BLOC 01	ENTRE PRINCIPALE (ADMINISTRATION+ BUANDERIE)	R D C
BLOC 02	LOGEMENT DE FONCTION +BIBLIOTHEQUE	R + 1
BLOC 03	REFECTOIRE	R D C
BLOC 04	ANNEXE ET INFIRMERIE	R D C
BLOC 05	DORTOIRS ET LAVABOS	R + 3
BLOC 06	DORTOIRS	R + 3
BLOC 07	PEDAGOGIQUE(CLASSE)	R + 1
BLOC 08	PEDAGOGIQUE(CLASSE) LABORATOIRE +SANITAIRE	R + 2
BLOC 09	LOGEMENTS DE FONCTION + SANITAIRES GARÇON ET FILLE	R + 2
10	DEGAGEMENT COUVERCLE	

Figure 2.6 : Plan de masse (Etat des lieux ancienne).





LEGENDES

	LYCEE	NIV
BLOC LA	ENTRE PRINCIPALE	R D C
BLOC LB	LOGEMENT DE FONCTION + BIBLIOTHEQUE	R + 1
BLOC LC	REFECTOIRE	R D C
BLOC LD	PEDAGOGIQUE(CLASSE)	R + 1
BLOC LE	PEDAGOGIQUE(CLASSE) LABORATOIRE + SANITAIRE	R + 2
BLOC LF	LOGEMENTS DE FONCTION + TOILETTES	R + 2
	ACADEMIE	
BLOC AA	SALLE DE REUNIONS	R D C
BLOC AB	BUREAUX	R + 3
	C . E . M	
BLOC CA	CEM + LOGEMENTS DE FONCTION R + 3	R + 3
	DEGAGEMENT COUVERCLE	

Figure 2.7 : Plan de masse (Etat des lieux actuel).

### 2.6.1. Bâtiment de la buanderie et des services généraux

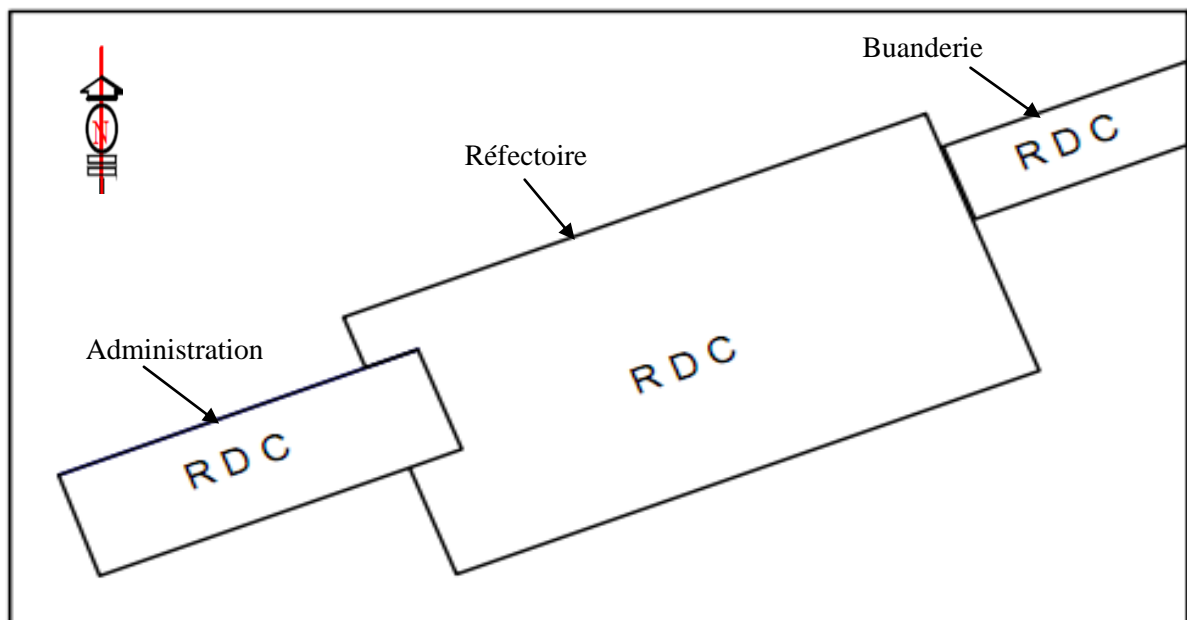
#### 2.6.1.1. Description du bâtiment

Ce bâtiment se trouve dans la partie nord de lycée, il comporte les locaux administratifs, la cuisine le réfectoire la buanderie l'infirmierie, et d'autre service (figure 2.8). Au sud, le rez de chaussée devient un sous-sol car le niveau de terrain naturel dans cette partie est environ 3m plus haut que celui du terrain se trouvant au nord du bâtiment.

#### 2.6.1.2. Aspect géologique de l'assise

Les coupes géologiques ont permis de connaître la constitution du sol sous ce bâtiment. A l'ouest le sol se compose d'éboulis et dépôts de pente d'épaisseur augmentant progressivement vers l'ouest et le nord. Ceux sont des colluvions quaternaires composées de gros blocs hétérométriques, galets et cailloux subarrondis. Des éboulis sont très vacuolaires et présentent des signes d'activité karstique. L'espace interstitiel est rempli partiellement par un matériau argilo-sableux à limoneux rougeâtre. Au centre nous avons des marnes jaune verdâtres très plastiques en tête, fissuré par endroits, et susceptibles de retrait. A l'est le sol se compose des argiles rougeâtres sous ces formation nous trouvons des bancs de grès altèrent a l'est en sable. Ensuite un autre niveau de marnes grises plus dense et plus compacte que la marne jaune.

Les écoulements se font dans la direction nord ouest avec une variation importante du niveau de la nappe lors de ces dernières années (rabattement de plus de 9 m). On observe une dépression dans la partie nord-ouest. Cette zone de décharge est composée par les colluvions quaternaires qui ont de bonnes caractéristiques de perméabilité. Il semble que l'on soit là en présence d'un chemin préférentiel des eaux souterraines.



**Figure 2.8 :** Bâtiment de la buanderie, réfectoire et administration.

### 2.6.1.3. Dégâts constatés

Le bâtiment est endommagé dans ses parties extérieurs est et ouest. Les premiers dégâts sont apparus avant novembre 1974 au coin nord ouest dans les deux premiers niveaux. Il est possible que c'était du essentiellement au haut niveau de la nappe à l'époque (-1,20m terrain naturel). Il existe deux poteaux dont l'armature verticale a flambé. Il s'agit d'un poteau libre au niveau supérieure et d'un autre relie a une maçonnerie au niveau inférieur la section des poteaux est  $(15 \times 15) \text{ cm}^2$  et les armatures sont composées de 4  $\emptyset 12$  ronds lisses.

Les sections sont trop réduites pour la fonction de ces poteaux et leurs hauteurs (4m).

### 2.6.1.4. Caractéristiques mécaniques

Les essais au laboratoire ont donné les résultats suivants (Rapport LNHC 1987) :

**Tableau 2.1** : Résultats des essais au laboratoire sur le sol (la buanderie).

Nature de sol	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$W_N$ (%)	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	$W_R$ (%)	$I_P$ (%)	$I_C$ (%)
Marne jaune	1,81	16,30	62,30	28,50	6,50	33,8	1,40
Marne grise	2,06	12,10	40	22,60	5,40	17,40	1,60

Les marnes jaunes : sont assez denses et raides. Selon la classification de CASAGRANDE Ce sont des argiles de forte plasticité.

Étant donné que la teneur en eau naturelle est comprise entre la limite de retrait et la limite de plasticité, on peut dire que le sol se trouve dans un état solide de retrait.

L'essai œnométrique nous révèle que c'est un sol surconsolidé moyennement compressible et légèrement gonflant.

Les marnes grises sont : très denses, raide et sont classés parmi les argiles de moyenne plasticité selon CASAGRANDE.

Nous sommes en présence d'un terrain très portant, peu compressible et surconsolidé. Toutefois, il existe entre la surface du terrain et 4m de profondeur une zone altérée.

Estimation des tassements :

Après calcul des tassements instantanées, primaire et celui du au retrait, le tassement totale a été estimé à :

Partie nord-ouest :  $W_t = 10,20 \text{ cm}$

Partie sud-est :  $W_t = 17,60 \text{ cm}$

Remarque : les terrassements de retrait peuvent être très important et provoquant des désordres par leur caractères irrégulières.

### 2.6.1.5. Cause des désordres

Déférents causes sont constaté :

L'hétérogénéité de l'assise qui constituée de colluvions quaternaires à l'ouest, de marnes au centre et d'argile rougeâtres à l'est.

Abaissement du niveau générale de la nappe durant ces dernières années, les caractéristique des marnes et la concentration de la végétation peuvent être à l'origine du tassement différents éléments du au phénomène de retrait.

Problème d'érosion interne : nous sommes en présence d'une formation quaternaire d'éboulis très vacuolaire et macroporeuse en contact avec des sols fins (marne et sable).

Lorsque deux sols de porosités différente sont en contact, les fines du première sol sont transporté a travers les pores du second. On dit qu'il ya suffosion de contact.

D'autre part, la dissolution partielle du ciment carbonaté des grès provoque l'érosion chimique.

Soit l'érosion chimico-mécanique est certainement à l'origine des désordres de la partie sud et sud-ouest de ce bâtiment.

Mobilisation des éboulis : les colluvions quaternaires sont en équilibre instable. Il suffirait d'une impulsion dynamique pour la déstabiliser. Cette impulsion a pu résulter soit des vibrations des machines se trouvant dans le bâtiment, soit de l'utilisation d'explosifs lors de la réalisation des fouilles pour les fondations du lycée commandant ferraj. Ce dernier ce trouve a 200m au sud.

Le flambement des armatures est du à un sous-dimensionnement des poteaux.

Existence de points faibles sous certaines semelles (fond de fouille marneux souvent imbibé d'eau et ramolli).

### 2.6.2. Dortoir et blocs des lavabos

C'est un bâtiment de 4 à 5 niveaux séparés en quatre parties par des joints de dilatation (voir figure 2.9). Sous ce bâtiment se trouve une galerie technique souterraine excentrique de 3m de haut. Il repose sur des semelles filantes.

La constitution du sol est la suivante :

Un remblai en surface dont l'épaisseur varie de 1,50m (au sud) fissurée avec des taches noirâtres dans les fissures de 13m de profondeur. Il ya intercalations gréseuses et d'encoutrement. Des éboulis vacuolaires (au nord) dont l'espace interstitiel est occupé par une argile rougeâtre.

Sous ces formations, se trouvent des sables et des grès fissurés à ciment partiellement dissout. En fin vient un autre niveau marneux de couleur grise verdâtre avec des passages sableux à granulaire.

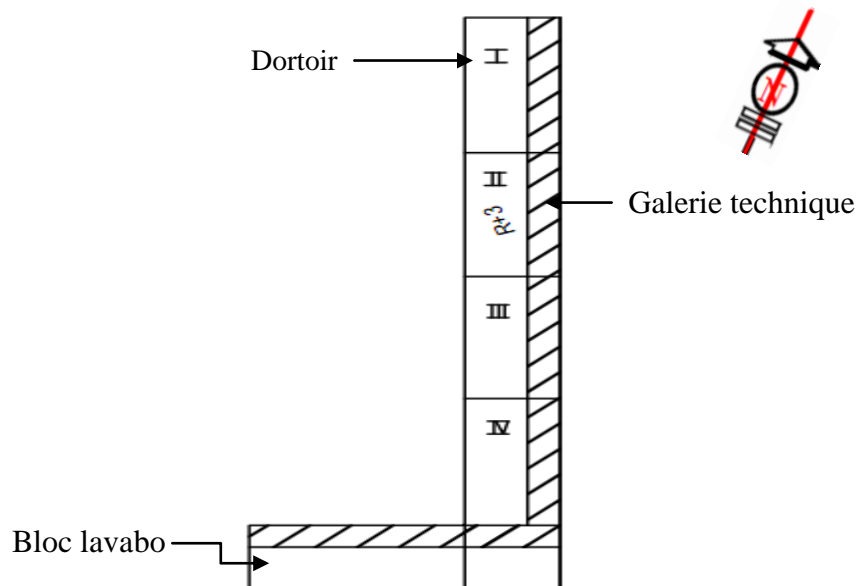
#### 2.6.2.1. Constatations

En 1974, il a été observé les premières dégradations dans la partie IV des dortoirs et dans le bloc des lavabos.

Le premier a basculé vers le sud et le second vers le sud-ouest.

En 1988, le bloc des lavabos avait un basculement vers le nord-ouest ; les joints des dilatations sont ouverts.

L'ossature du bâtiment est apparemment intacte et les fissures sont toutes concentrées dans les murs en briques.



**Figure 2.9 :** Bloc du dortoir et blocs des lavabos.

### 2.6.2.2. Géotechnique

L'étude du sol a donné les caractéristiques suivantes (Rapport LNHC 1987) :

**Tableau 2.2 :** Résultats des essais au laboratoire sur le sol (Bloc du dortoir).

$\gamma_d(t/m^3)$	W(%)	W <sub>L</sub> (%)	I <sub>C</sub> (%)	I <sub>P</sub> (%)	$\bar{\sigma}_c$ (bars)	C <sub>c</sub>	C <sub>g</sub>
1,77	16,80	70,40	1,25	42,60	3,66	0,13	0,116

C'est une argile très plastique. Ces marnes sont assez denses et leur perméabilité est conditionnée par les intercalations gréseuses. Elles sont peu compressibles mais montrent une certaine (légère) tendance au gonflement.

Les calculs ont révélé que cette marne possède une portance suffisante voir très bonne.

Grés : C<sub>c</sub> = 2,28 → ce sont des graves proposées bien graduées et forment une couche perméable.

Marne grise : elle se situe à une profondeur dépassant 21m à 25m. Elle est plutôt dense, mais humide et se trouve dans la classe des argiles peu plastiques.

Remarque : il n'a probablement aucune liaison avec les désordres étant donnée sa profondeur.

Les éboulis : aucun essai ne peut être réalisé sur des modèles réduits dans ce type de sol excepte leur porosité assez importante qui peut être amplifiée par érosion interne.

### 2.6.2.3. Estimation du tassement différentiel

D'après le rapport LNHC 1987, l'ouverture des joints permet d'estimer les tassements de différents éléments :

Au niveau du bloc IV:

Entre ouest-est  $W_t = 1,5$  à  $2,0$  cm

Entre nord-sud  $W_t = 3,3$  à  $3,6$  cm

Au niveau des blocs I, II, III, il est de l'ordre de 2 cm.

Remarque : les tassements du bloc II ont entraîné ceux des blocs I et III.

### 2.6.2.4. Causes des désordres

Au niveau du bloc IV :

- Retrait des marnes jaunes suite à la sécheresse.
- Forte végétation au sud du bâtiment.
- Retrait irrégulier étant donnée la variation d'épaisseur de la couche de la marne.

Au niveau du bloc des lavabos :

- Retrait des marnes.
- Hétérogénéité au niveau des marnes.
- Présence d'une croûte dure (8m) au coin nord-est du bloc.

Au niveau des blocs I, II et III :

- érosion au niveau des éboulis.
- Consolidation des éboulis par suppression de la pression interstitielle après rabattement de la nappe.

Remarque : cette partie a été réhabilitée et réutilisée en CEM.

### 2.6.3. Bâtiments de l'externat

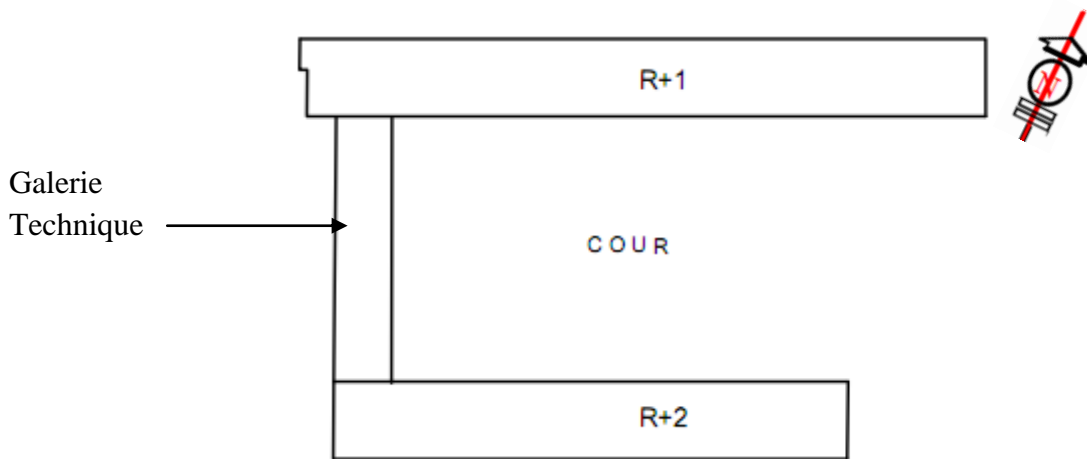
L'externat est essentiellement constitué de classes, bureaux, foyers etc.

Les murs de l'entrée du bâtiment sont très fissurés, un affaissement a été localisé auprès de celle-ci.

Ce bâtiment repose sur une couche de remblai de 3m d'épaisseur en moyenne sous laquelle on distingue les formations suivantes :

- Des grès vacuolaires au nord-ouest.
- De l'argile limoneuse légèrement sableuse à graveleuse au nord-est.
- Du sable et du gravier au sud.
- De la marne jaune verdâtre mi-consistance très fissurée avec des intercalations gréseuses.

La nappe phréatique est assez haute (4 à 7 m). Dans cette zone une source coulait à 20m de la façade nord de l'externat 40 à 50m plus loin au nord-ouest, le niveau de la nappe est plus bas (11m). Cette source donc, alimente la nappe des zones qui y sont avoisinantes.



**Figure 2.10** : Bâtiments de l'externat.

### 2.6.3.1. Géotechnique

L'argile se trouvant superficiellement, aucun de ses caractéristiques mécaniques n'existe. En ce qui concerne la marne, elle présente les caractéristiques suivantes (Rapport LNHC 1987):

**Tableau 2.3** : Caractéristiques mécaniques du sol.

$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	W (%)	W <sub>L</sub> (%)	I <sub>P</sub> (%)	I <sub>C</sub> (%)	W <sub>R</sub> (%)
1,76	16,05	62,20	34,90	1,30	6,90

Cette marne est classée parmi les argiles très plastiques. Elle présente une forte tendance au retrait.

### 2.6.3.2. Causes des désordres

La présence de peupliers à 5m à l'ouest à l'entrée a accentué le rabattement de la nappe phréatique. Le phénomène de retrait a donc provoqué l'affaissement du terrain

### 2.6.4. Les bâtiments de logements

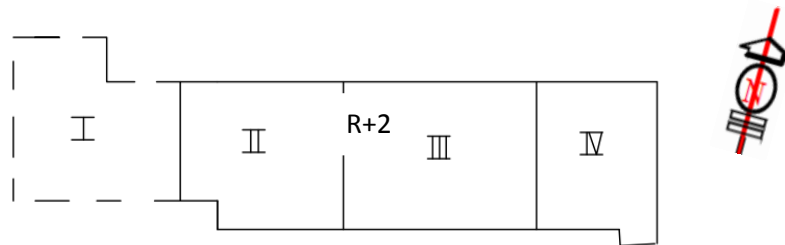
Ce sont des blocs se trouvant au sud-est à proximité du boulevard commandant Hamsali. Une source était captée dans cette partie du terrain. C'est une zone où des cavités ont été décelées. De plus, une inclusion de 4m de profondeur de sable fin jaune a été décelée au sein de la marne. Ces inclusions peuvent être le produit de dissolutions et d'érosions internes.

Ce bâtiment a vu son coin sud-est tasser sous l'effet d'un effondrement par affouillement souterrain. Il ya eu un confortement par injection de béton et le bâtiment se comporte depuis normalement.

### 2.6.5. Le bloc des classes spécialisées

Le bloc des classes spécialisée ou pédagogique (laboratoires, classes et sanitaires) est le seul bloc qui reste fermer jusqu' a nos jour parce qu'elle est comporte beaucoup des désordres et pathologies qui nécessite des travaux de réhabilitation pour le récupérer, a cette idée nous avons choisi cet ouvrage a cause de leur importance et qui rassemble tout nos objectifs pour atteindre a la fin de cette étude le but chercher de remettre ce bloc en service.

Ce bâtiment est composé de trois parties séparées par des joints de dilatation. Il comporte trois niveaux (RDC+2) avant 1973, seul le RDC était construite.



**Figure 2.11** : Bloc des classes spécialisées.

Le bâtiment repose sur des marnes très fissurées renfermant des intercalations millimétriques de grés ce qui augmente sa perméabilité.

#### 2.6.5.1. Constatations

Les premières désordres furent observés en 1983. Les blocs I et II sont les plus touchés, le bloc I a subi un tassement différentiel vers l'ouest avec ouverture du joint au niveau de la terrasse de 12 cm (ouverture initiale comprise).

Le bloc II a subi un tassement différentiel vers le sud avec une sortie de 8 cm à la terrasse. La façade ouest du bloc I présent des fissures très importantes.

#### 2.6.5.2. Géotechnique

Les résultats de laboratoire LNHC sont identiques à ceux trouvé pour les cas des dortoirs et bloc des lavabos.

#### 2.6.5.3. Causes des désordres

- Tassement différentiel.
- Retrait des marnes suite le rabattement de la nappe.
- Très forte végétation assez rapprochée du bloc au sud et à l'ouest.
- Hétérogénéité mécanique des marnes qui sont plus plastiques au sud qu'au nord.

Remarque : Il a été constaté que le basculement de bloc se fait toujours vers les zones de végétation.



## 2.7. Conclusion

La prise en compte du confort des bâtiments scolaires lors de la réhabilitation est difficile en raison de la diversité et de la variabilité des exigences et des paramètres à considérer. Les contraintes de confort doivent intégrer les caractéristiques spécifiques du bâtiment existant avec ses ambiances physiques intérieures et extérieures, mais également les caractéristiques comportementales et les besoins des occupants.

L'étude du projet de réhabilitation du lycée Dr BENZERDJEB, a montré l'absence du confort pour les occupants, lié à un problème d'instabilité de sol qui provoque des problèmes dans la superstructure et un manque de surveillance et maintenance avec les contraintes du bâtiment existant, relatives à l'orientation, l'implantation et la géométrie, l'étude paramétrique a montré que des solutions de réhabilitation efficaces, permettant d'améliorer les conditions de confort consistent, prioritairement à:

- Essayer de stabiliser le sol d'assise du lycée.
- Renforcer la superstructure.
- Maintenir tout les éléments d'état secondaire.

## CHAPITRE 3 : DESCRIPTION ET ETUDE DE L'OUVRAGE

### 3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre représente une étude d'un bâtiment scolaire (bloc de classes spécialisées) construit pendant la période coloniale. Dans ce travail nous avons présenté la description de l'ouvrage, les caractéristique mécanique de sol, le déroulement d'un diagnostic et d'analyser chaque élément de la structure en détail. Cela permet dans un premier temps de connaître les caractéristiques géométriques de chaque élément et aussi les matériaux constitutifs ainsi que leur aspect architectural.

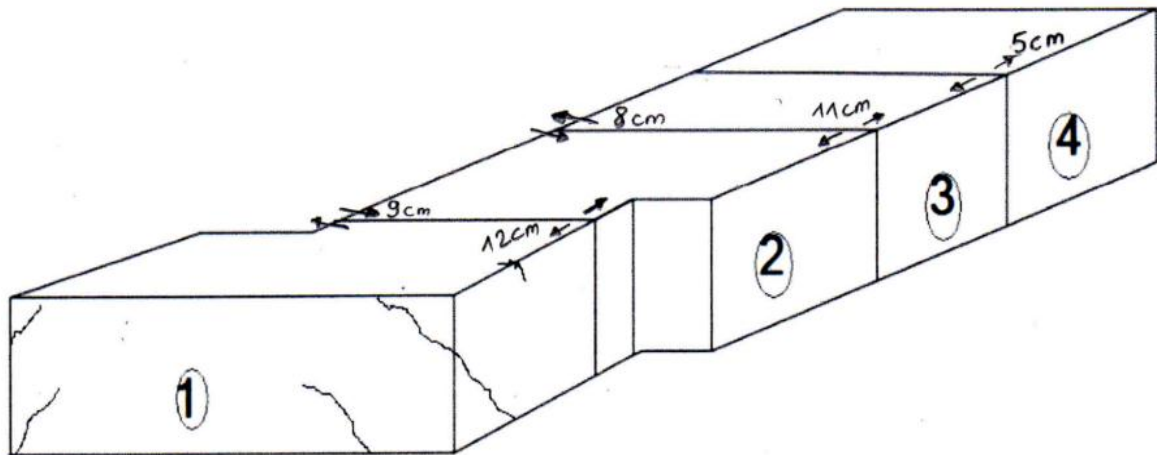
### 3.2. Historique de bloc des classes spécialisées

Le bloc des classes spécialisées été réalisé durant l'époque coloniale entre la période 1952 à 1960. Avant 1973, une partie du bloc ne contient que le RDC (voir figure 3.1).



**Figure 3.1** : Photo ancienne de bloc de classes spécialisées avant 1973.

Entre 1973 et 1974 deux étages supplémentaires de cette partie ont été construites sur le rez de chaussée des classes spécialisées. Les premières désordres furent observés en 1983. La partie (1) a été démolie parce qu'elle a subi un tassement différentiel très important vers l'ouest avec une ouverture de jointe de dilatation de 12cm au niveau de terrasse. Ce tassement provoque des dommages très importants (voir la figure 3.2).



**Figure 3.2 :** Représentation de la fissuration des blocs des classes spécialisées.

### 3.3. Les travaux effectués sur le site

D'après l'étude géotechnique réalisé par laboratoire LNHC et le rapport d'expertise fait par le CTC chlef de Tlemcen des travaux d'injections de ciment a été réalisé dans le sol grâce à la fissuration existante.

Le principe consiste à injecter un coulis fluide de ciment sous faible pression. Le but pour suivi serait de remplir les fissures existantes (consolidation mécanique de sol), l'étanchement de terrain à l'égard des eaux qui s'y infiltrent ou qui baignent.

### 3.4. Description de l'ouvrage

#### 3.4.1. Destination

Le bloc des classes spécialisées est situé au sud du lycée Dr BENZERDJEB (voire plan de masse figure 2.7).

Le bâtiment à l'état actuel est composé de trois parties séparées par deux joints de dilatation, il comporte des laboratoires, salles des préparations, sanitaire est autre service. Au sud, le rez de chaussée devient un sous sol car le niveau du terrain naturel est à une hauteur importante plus haute que celui du terrain se trouvant en nord du bâtiment.

Ce bloc est constitué d'un RDC + deux étages avec un sous sol dans la quelle en se trouve les équipements techniques (gaz, eau, électricité ...etc.).

#### 3.4.2. Typologie de la structure de bloc de l'ouvrage

Le système de construction de l'ouvrage comporte :

### 3.4.2.1. En superstructure

- Il s'agit d'ossature en béton armée à portique auto-stables (poteaux-poutres) dimensionné selon les normes de construction en vigueur de l'époque coloniale.
- Les planchers sont de type corps creux (hourdis) plus poutrelles et dalles de compression en béton armée.
- Les murs cloisons sont en brique creux, les murs extérieurs sont en double paroi.
- Les terrasses inaccessibles.
- les escaliers sont en béton armé.

### 3.4.2.2. En infrastructure

- Des fondations superficielles à semelles isolées en béton armé d'une dimension (1x1) m<sup>2</sup>.
- Sous-sol de hauteur (-2m) avec des murs en maçonnerie de pierre de (40cm) qui reçoit toute la tuyauterie d'eau, gaz...etc.

### 3.4.3. Stabilité du bâtiment

#### 3.4.3.1. Stabilité longitudinale

La stabilité dans le sens de la longueur est assurée par la présence des chaînages et des murs en brique creux.

#### 3.4.3.2. Stabilité transversale

La stabilité dans le sens de la largeur du bâtiment est assurée par la présence de portique poteau poutre en béton armé.

#### 3.4.3.3. Joints de dilatation

La configuration en plan du bâtiment est en forme d'un rectangle. Il est divisé en trois blocs distincts. Il aurait été de bonne conception de désolidariser les trois parties lors de la conception.

### 3.4.4. L'architecture de bâtiment

Le bâtiment est composé d'un (sous sol, RDC, deux étages) il est construit entre la période 1952 et 1960 sous une forme rectangulaire (16,6m × 51,90m). L'analyse de la structure de l'ouvrage sur place montre un système porteur constitué de poteaux poutres en béton armé depuis la terrasse jusqu'aux fondations, les planchers sont probablement en béton coulés sur place. Le style employé dans ce bâtiment est le style d'architecture moderne. Après la Seconde Guerre mondiale, divers facteurs ont contribué à faire de ce style d'architecture celui de l'époque, qui se répandit à peu près partout en Occident et aussi en Orient. Pour le caractériser rapidement et simplement, je dirai que cette architecture se distingue par l'emploi de matériaux modernes, l'acier et le béton, par des volumes géométriques voire cubiques ainsi que par l'absence de décoration.

L'architecture moderne du XXe siècle est libérée des styles traditionnels et, de ce fait, crée un langage nouveau. Elle est celle qui se manifeste par des formes qu'on ne connaissait pas avant le XXe siècle.



Figure 3.3 : Vue de l'architecture du bâtiment.

### 3.4.5. La structure du bâtiment

Dans cette partie, nous allons présenter les éléments structuraux du bâtiment et leur dimensionnements.

Le bâtiment est composé de (sous sol + RDC + 2 étages + terrasse inaccessible).

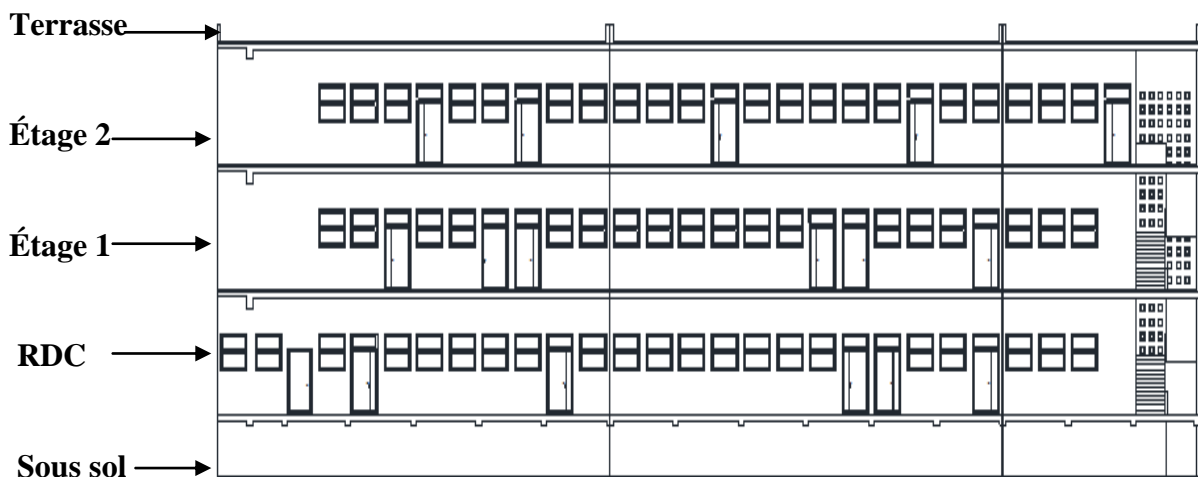


Figure 3.4 : Coupe A-A du bloc des classes spécialisées.

#### 3.4.5.1. La structure horizontale

##### a- Les longrines

Les fondations sont rassemblées par des longrines en béton armé de forme carrée (30x30) cm<sup>2</sup>.

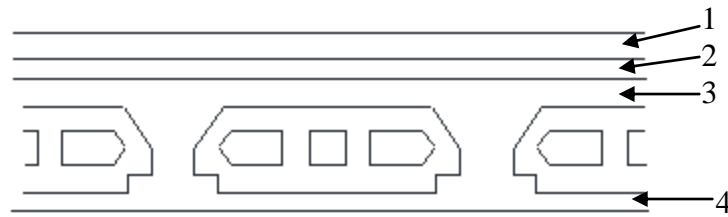
##### b- Les planchers

Niveau (-2 ,00) : dalle pleine en béton armé de 12cm.

Niveau (+/-0 ,00) : dalle pleine en béton armé de 12cm et dalle pleine de 15cm plus un revêtement en carrelage.

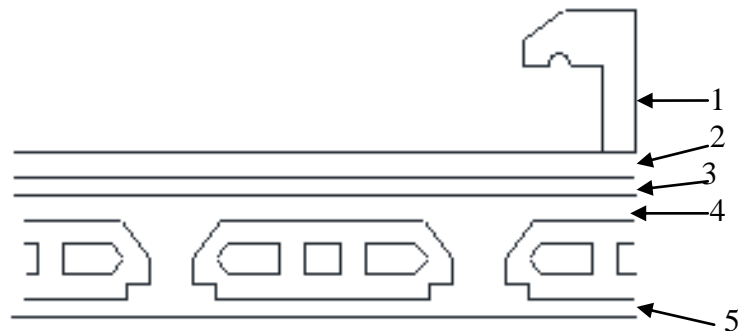
Niveau (+4 ,16) : plancher de type corps creux de (16+5) cm et dalle pleine de 15cm plus un revêtement en carrelage.

Niveau (+8 ,32) : planché de type corps creux de (16+5) cm et dalle pleine de 15cm plus un revêtement en carrelage.



**Figure 3.5 :** Plancher étage courant en corps creux.

- (1) revêtement en carrelage ( $E_p = 1,5\text{cm}$ ).
- (2) mortier de ciment ( $E_p = 2\text{cm}$ ).
- (3) dalle de compression à corps creux ( $E_p = 21\text{cm}$ ).
- (4) enduit de plâtre ( $E_p = 2\text{cm}$ ).



**Figure 3.6 :** Plancher terrasse en corps creux.

- (1) l'acrotère ( $E_p = 10\text{cm}$ ).
- (2) protection en gravions.
- (3) étanchéité multicouche.
- (4) dalle de compression à corps creux ( $E_p = 21\text{cm}$ ).
- (5) enduit de plâtre ( $E_p = 2\text{cm}$ ).

### c- Les poutres

Les poutres sont en béton armé d'une section  $(30 \times 56) \text{ cm}^2$ .  
Les poutres de joint de dilatation sont de section  $(15 \times 56) \text{ cm}^2$ .

### d- Les chainages

Les chainages sont en béton armé d'une section  $(30 \times 30) \text{ cm}^2$  et autres de  $(30 \times 20) \text{ cm}^2$ .  
Les chainages de joint sont de section  $(15 \times 30) \text{ cm}^2$  et autres de  $(15 \times 20) \text{ cm}^2$ .

### e- La terrasse inaccessible

Il est couvert par matériau de protection contre humidité et les infiltrations (eaux pluviale) plus un acrotère en béton armé avec des gouttières pour l'évacuation des eaux pluviales.

### 3.4.5.2. La structure verticale

#### a- Les poteaux

Les poteaux sont en béton armé d'une section rectangulaire (30x40) cm<sup>2</sup>, avec un ferrailage de 8Ø12 et 4 poteaux de forme carrée de (30x30) cm<sup>2</sup>, ferrailé de 6Ø12. Les poteaux de joint sont de section (15x40) cm<sup>2</sup>, avec un ferrailage de 6Ø10. Le ferrailage transversal utilisé à une section de Ø 6.

Remarque : Tout le ferrailage utilisé est de type rond lisse.

#### b- Les murs

Les murs sont en maçonnerie de brique creux, avec un revêtement de enduit de ciment au dessous (1,5m) plus enduit en plâtre jusqu'à le plafond.

Les murs extérieurs sont en double paroi d'une épaisseur de 50 cm. Les murs cloison à une épaisseur de 10cm.

#### c- Les escaliers

Dan notre bloc il ya deux cages d'escaliers en béton armé qui débutent de sous sol jusqu'a le 2<sup>eme</sup> étage, avec des marche de 30cm et contre marche de 15cm en granito.

Remarque : Il ne nous a pas été la possibilité d'obtenir quelconque dossier d'archives pour en connaître les ferrailages des éléments de l'ouvrage.

### 3.4.6. Les matériaux de construction

#### 3.4.6.1. Le béton armé

Le béton est un mélange dans des proportions préétablies de liant (ciment), avec des granulats (sable, gravier, pierrailles) et de l'eau.

Le béton armé peut être défini comme l'enrobage par du béton, d'aciers disposés judicieusement. Ces aciers sont appelés armatures. On distingue les armatures longitudinales disposées suivant l'axe longitudinal de la pièce, des armatures transversales disposées dans des plans perpendiculaires à l'axe de la pièce.

Béton : Ses principales caractéristiques sont supposées :

Une bonne résistance en compression simple = 20 à 40 MPa.

Une mauvaise résistance en traction = 2 à 4 MPa.

#### 3.4.6.2. L'acier

Le matériau acier est un alliage fer et carbone en faible pourcentage, on utilise pour le béton armé, les ronds lisses, les armatures à haute adhérence et les treillis soudés.

Dans notre bâtiment l'acier utilisé est de type ronds lisses. Ce sont des aciers doux, laminés à chaud et de surface lisse, ne présentant aucunes aspérités. Les nuances utilisées sont les Fe E 215 pour les armatures transversales et Fe E 235 pour les armatures longitudinales.

Les treillis soudés sont constitués par des fils se croisant perpendiculairement et

soudés électriquement à leurs croisements. On distingue les treillis soudés à fils tréfilés lisses dits TSL des treillis soudés à fils à haute adhérence dits TSHA.

Dans notre bâtiment ils ont utilisé le TSL 150/150 Ø6.

**Tableau 3.1** : Les caractéristique de l'acier rond lisse (voir norme NF A 35-022).

Types d'aciers	Désignation	Limite élastique $f_e$ (MPa)	Résistance à la rupture $f_r$ (MPa)	Allongt à la rupture (%)	Coeff de scellement $\Psi_s$	Coeff de fissuration $\eta$
<b>Aciers ronds lisses (RL)</b>	Fe E 215	215	330 à 490	22	1	1
	Fe E 235	235	410 à 490	22	1	1
<b>Treillis soudés lisses (TSL)</b>		500	550	8	1	1

#### 3.4.6.3. Le ciment

Est un liant hydraulique qui se présent sous la forme d'une poudre minéral fine s'hydratant en présence d'eau. Il forme une pate faisant prise qui durcit progressivement à l'air au dans l'eau. C'est le constituant fondamental du béton puisqu'il permet la transformation d'un mélange sans cohésion en un corps solide.

#### 3.4.6.4. Les granulats

C'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux. Les granulats étant le squelette du béton, ils s'améliorent la résistance.

Les granulats utilisés dans notre projet sont de type concassé, leur dimension comprise entre 0 et 80mm.

#### 3.4.6.5. La brique creux

La brique utilisé dans la construction depuis des millénaire, elle est constitué d'argile, celle-ci et une roche sédimentaire mélangé a du sable.

La brique est un matériau poreux. Pour conserver ces caractéristique, elle doit être recouverte par un matériau présentant des qualités et caractéristique équivalent.

Dans notre bâtiment, la brique creux utilisé pour les séparations intérieures et les murs extérieure de bâtiment.



#### 3.4.6.6. Les enduits

Le mortier : Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments au moyen d'un mortier de ciment qui a pour rôle :

- De solidariser les éléments entre eux.
- D'assurer la stabilité de l'ouvrage.
- De combler les interstices entre la brique creux de construction.

Le mortier est obtenu par mélange d'un liant (ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.

Deux types d'enduits sont utilisés dans notre projet :

##### a- Enduit de ciment

Enduits de ciment est très résistant, prennent et durcissent rapidement. Il est utilisé dans notre projet dans le revêtement des murs (extérieur, murs d'escalier ...).

##### b- Enduits de plâtre

Matériau céramique minéral obtenu à partir de la cuisson du gypse.

Le plâtre est un liant hydraulique c'est-à-dire un matériau qui forme une pâte capable de sceller par durcissant (la prise du plâtre), lorsqu'on le mélange avec de l'eau.

Isolation thermique et phonique. Résistance au feu. Perméable à la vapeur d'eau, il régule le taux d'hygrométrie (par absorption et restitution de l'humidité).

Remarque : Afin de réaliser cette étude nous nous appuyerons sur les investigations qui ont déjà menés en avant :


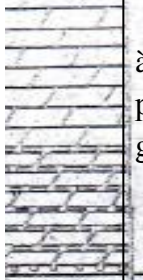
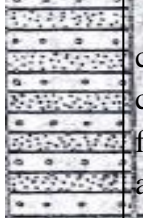

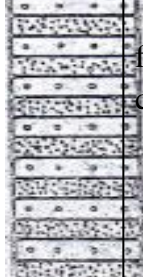
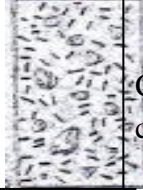
- Rapport d'expertise préliminaire de CTC chlef 05.03.1995 et 30.06.2009.
- Etude de sol réalisé par laboratoire national de l'habitat LNHC le 06.1987.

### 3.5. Aspects géologiques

Le sol sous ce bâtiment est constitué essentiellement de marnes très fissurées et renferment des intercalations millimétriques de grès ce qui augmente sa perméabilité.

Le ciment carbonaté de grès est partiellement dissous. Les courbes hydro isohypses relèvent un gradient hydraulique très fort sous les classes spécialisées ( $i=0,8$  à  $1,12$ ). L'analyse de l'eau dans cette zone a indiqué la présence de  $20 \text{ mg/l}$  de  $\text{CO}_2$  agressif, le PH est de  $7,42$ .

Tableau 3.2 : Coupe de sondage au sein de bloc.

<b>COUPE DE SONDAGE N°2</b> <b>PROJET : lycée Dr BENZEDJEB (TLEMCEM)</b> <b>COORDONNE : X : 133 ,174 Y : 182,886 Z : 824,400</b> <b>NAPPE PHREATIQUE : 24,60m</b>		
PROFONDEUR(m)	COUCHE DE SOL	DESCRIPTION
1,60		Remblai
13,60		Marne raide fissurée, jaunâtre à jaune verdâtre, à taches noirâtres dans les fissures graveleuses, présence d'intercalation centimétrique gréseuses entre 9m et 13,60m
22,90		Alternance de grès durs et de sables fins de couleur jaune beige à marron vers 21m. le ciment des grès est dissous partiellement, les fissures dans les grès sont occupées par une argile jaunâtre.
28,50		Marne très raide, gris bleuâtre.
40,20		Alternance de sables et de grès durs à grains fins et à ciment carbonaté avec dissolution de ce ciment.
48,00		Conglomérat constitué de cailloux et graves, calcaires, gréseuses et dolomitique très fissuré.
Observation : perte d'eau partielle de 6,0 à 13m		

### 3.6. Caractéristiques mécaniques

Après un recensement de l'ensemble des fissures, désordres et malfaçons constatés sur les structures des blocs de lycée Dr BENZERDJEB, une étude de sol a été effectuée pour cela, des profils géotechniques ont été établis sur la base des résultats des reconnaissances géotechniques, notamment les sondages carottés. Puis une étude de stabilité de sols a été réalisée afin de vérifier l'équilibre de l'ensemble structure-sol. Les paramètres nécessaires aux calculs ont été soit déterminés quand c'était possible, estimés sommairement quand ça n'a pas été possible.

#### 3.6.1. Essais au laboratoire

L'étude mécanique de cette zone est basée sur le sondage numéro (2)

Ces essais ont donné les résultats suivants (rapport LNHC 1987):

##### a- Marne jaune verdâtre

**Tableau 3.3 :** Les résultats d'essai œdométrique effectué sur la marne jaune verdâtre.

Profondeur (m)	Nature du sol	$\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	$W_N$ (%)	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	$I_P$ (%)	$I_C$ (%)
3,6 à 4	marne jaune verdâtre	1,77	18	81,3	30,5	51,3	1,2
5,6 à 6	" "	1,85	14,5	67,9	27	40,9	1,3
11,2 à 11,6	marne jaune verdâtre+grés et sables	1,76	17,9	62	25,8	36,2	1,2

D'après la classification de CASAGRANDE, ce sol est une argile très plastique (AT).

Ces marnes sont assez denses et leur perméabilité est conditionnée par la présence des intercalations gréseuses.

**Tableau 3.4 :** les résultats d'essai œdométrique.

Cc	Cg	$\sigma'_c$ (bars)	E'	ei	Ef
0,13	0,116	3,6	160 à 200	0,563	0,723

L'échantillon a été pris à 3,8 m de profondeur. Ce sont des marnes peu compressibles mais qui montrent une certaine tendance au gonflement à partir d'une pression normale inférieure à 0,50 bars. Cependant, un éventuel gonflement n'a pas à craindre puisque la pression amenée par les fondations est de l'ordre de 1,5 bar.

$$\sigma'_c = 3,6 \text{ bars}$$

$$\Delta\sigma = 0,834 \text{ bars}$$

$$\sigma = 1,5 \text{ bars}$$

Donc ce sol est surconsolidé.

**b- grès**

Les informations tirées de la courbe granulométrique sont :

87% des éléments > 80 µm

$C_u = d_{60} / d_{10} = 7 > 4$

$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} - d_{60}) = 2,28 < 3$

Ces grès peuvent alors être classés comme des graves propres bien graduées.

Ils forment une coche perméable.

**c- La marne grès**

Elle n'a probablement, aucune liaison avec les désordres puis qu'elle se situe à une profondeur des passant 21 à 25m.

Toutefois, les essais effectués sur cette marne ne permettent de dire qu'elle est plutôt dense, moins humide et se trouve dans la classe des argiles peu plastique (AP).

**3.6.2. Essais pressiométriques**

Deux essais pressiométriques ont été réalisés à proximité de ce bâtiment grâce à la réalisation préalable des forages permet de déterminer les caractéristiques mécaniques de sol (Rapport LNHC 1987).

**Tableau 3.5 :** Les résultats d'essai pressiométrique numéro (1).

Nature du sol	Profondeur (m)	E (bars)	P <sub>L</sub> (bars)	P <sub>0</sub> (bars)	E /P <sub>L</sub>	Type de sol
remblai 0,5						
Sables 1,4	1				0,105	
Marne sableuse 2,5	2	188	14,8	0,210	12,70	Normalement sur consolidé
Marne jaune verdâtre	3	202	11,5	0,315	17,5	Fortement sur consolidé
	4	423	13,4	0,420	31,5	" "
	5	285	18,2	0,525	16,6	" "
	6	360	20	0,63	18	" "
	7	423	24,4	0,735	17,3	" "

Contraintes au niveau des semelles de la paroi de galerie technique

(h = -3 m)

(B = 1,5 m)

q lim = 18,04 bars

q adm = 6,43 bars

Contraintes au niveau des autres semelles (h = - 0,8 m)

q lim = 7,693 bars

q adm = 2,67 bars

Tableau 3.6 : Les résultats d'essai pressiométrique numéro(2).

Nature du sol	Profondeur (m)	E (bars)	P <sub>L</sub> (bars)	P <sub>0</sub> (bars)	E /P <sub>L</sub>	type de consolidation
0,5 remblai						
1,4 Marne	1	41	4,5	0,105	9,32	Normalement consolidé
3 Marne légèrement caillouteuse	2	251	8,9	0,210	28,88	Fortement Consolidé
	3	387	10,4	0,315	38,4	" "
	4	340	13	0,42	27	" "
Marne jaune verdâtre raide	5	477	24,3	0,525	20	" "

### Au niveau des semelles des parois de la galerie technique (h = - 3 m)

q lim = 14,42 bars                      q adm = 5,23 bars  
 Contraintes au niveau des autre semelles (h = - 0,8 m)  
 q lim = 5,227 bars                      q adm = 1,854 bars

Les deux essais présiométriques ne sont distants que de 25 m pour tant nous remarquons une hétérogénéité mécanique des marnes.

### 3.6. 3. Evaluation théorique des tassements

Tassements instantanées : W1 = 1,20 cm

Tassements primaires : W2 = 1,29 cm au sud  
 W2 = 1,39 cm au nord

Tassements par retrait : W3 = 3,39 cm au sud  
 W3 = 2,42 cm au nord

Tassement total : Wt = 5,88 cm au sud  
 Wt = 5,01 cm au nord

### 3.6.4. Estimation des tassements différentiels réels

D'après l'ouverture relative des joints, on a estimé les tassements différentiels réels du bloc 1 et 2 des classes spécialisées.

Tassement différentiel du bloc 1 vers l'ouest :  $W_t = 11$  cm

Tassement différentiel du bloc 2 vers le sud :  $W_t = 11,6$  cm

Nous remarquons une déférence entre les tassements estimés théoriquement et les tassements réels.

## 3.7. Diagnostic de l'ouvrage

### 3.7.1. La réhabilitation

La réhabilitation consiste à remettre en état un ouvrage dégradé afin de lui permettre de retrouver son état d'origine.

L'opération de réhabilitation est ainsi définie : « La réhabilitation correspond à une remise en état profonde d'un ouvrage ancien (par exemple : modification importante des volumes ou des façades, redistribution importante des espaces...) ».

Enfin, le terme « réutilisation » s'applique à toute opération de réhabilitation dans laquelle il y a changement d'usage du bâtiment concerné, ce qui implique que ce sont souvent des opérations de réhabilitation très lourdes (par exemple : transformation de bureaux en logements, transformation de locaux industriels en bureaux...) (mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, médiations avril 2007).

### 3.7.2. Méthodologie de réhabilitation

#### 3.7.2.1. Le pré-diagnostic

C'est le point de départ de chaque opération de réhabilitation, il consiste en une première approche du bâtiment (architecturale, esthétique, historique...) et de ses problèmes qu'ils soient constructifs, de stabilité ou autres, grâce à une inspection visuelle au cours de laquelle on tente de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent et les pathologies qui l'affectent.

#### 3.7.2.2. Etudes pluridisciplinaires

C'est l'ensemble des études engagées afin de comprendre l'œuvre dans sa consistance historique, esthétique, culturelle, physique etc. Elles mettent également en œuvre certaines études spécifiques, déterminées par le pré-diagnostic en particulier pour les désordres observés telle que :

- L'étude historico-critique.
- Le relevé : relevé graphique complet de l'édifice y compris les installations, les structures. Le relevé comprend également le relevé des désordres (fissures, humidité, perte de matières ou altération, le relevé des abords de l'édifice (analyse du sol,...).
- Etude des structures, des installations et des matériaux de construction.

### 3.7.2.3. Le diagnostic

C'est un travail de synthèse et de réflexion qui est fondé sur l'étude du pré-diagnostic où on peut déjà avoir une première compréhension du bâtiment, tout en détectant ses déficits et ses potentiels.

Le but du diagnostic est de compiler les informations relatives au projet, et évaluer l'état de conservation du bâtiment et d'en déterminer les remèdes. Cette étape prend en compte plusieurs éléments à savoir :

- Le principal système constructif du bâtiment, ainsi la période de la réalisation de la construction.
- La technologie de construction.
- Déterminer l'état de santé de chaque ouvrage et de chaque installation.
- La stabilité structurelle du bâtiment et ses ajouts secondaires.

### 3.7.3. Relevé de l'état existant

Notre travail de diagnostic comprend deux parties :

- Lors de notre première visite en date du 01/04/2012, nous avons effectué un premier relevé photographique et système constructif du bâtiment plus la recherche de documentation.
- Dans les autres visites, nous avons étudié les désordres affectant le bâtiment par l'observation visuelle et les mesures métrique de la zone concernée par l'étude de la structure et les différentes pathologies, et l'évaluation des fissures par les plaques témoins plus l'application des essais directe sur le béton (essais scléromètre).

#### 3.7.3.1. Mesures métriques

##### a- Les plaques témoins

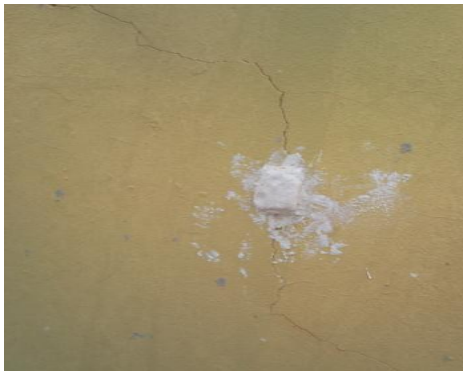
Le but de l'essai et de contrôlé l'évolution des fissures en fonction du temps et de connaitre si elles sont actives ou passives.

Nous avons réalisé des plaque témoins sur quelque fissures, le contrôle des témoins effectué chaque 15 jours dans une durée de trois mois.

**Tableau 3.7 :** Exemple : suivi d'une fissure.

Nature de fissure	Situation	La date de contrôle	Epaisseur (mm)	Photo
<b>Horizontale</b>	Partie (1) RDC, salle de préparation	04/04/2012	6 mm	
		19/04/2012	6 mm	
		03/05/2012	6 mm	
		19/05/2012	6 mm	

Après le contrôle des plaque témoins on conclut que tous les fissures sont passives.



**Figure 3.7 :** Plaque témoin sur une fissure de forme escalier.



**Figure 3.8 :** Plaque témoin sur une fissure en diagonal.

Remarque : En 2003 un essai de plaque témoin a été réalisé dans notre bâtiment, qui montre que les fissures stables (passives).

D'après notre visite de bloc en 2010 (travail de mini projet) et nos nouvelles visites en 2012, aucun nouveau désordre n'est observé.

#### **b- Essai scléromètre sur le béton**

Le but d'utiliser le scléromètre est pour déterminer la résistance en compression du béton de l'ouvrage considéré.

**Tableau 3.8 :** Essai scléromètre sur le béton.

N°	Résultats(MPa)
1	25
2	31
3	28
4	34
5	26
Moyenne	28,8

La moyenne des résultats ci-dessus il donne une idée sur la résistance de compression de béton par essai scléromètre qui est de 28,8 MPa.

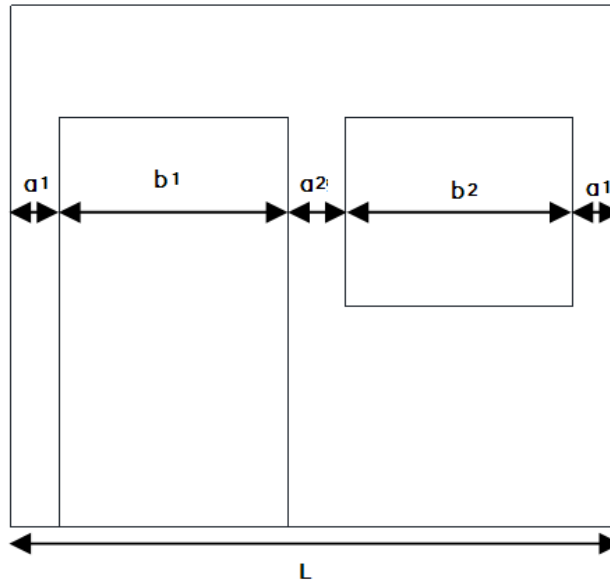
#### **c- Vérification de l'emplacement et la taille des ouvertures**

Les ouvertures ont une grande influence de par leurs emplacements et leurs dimensions dans la résistance des bâtiments en maçonnerie.

La longueur totale d'ouverture dans un mur ne devra pas dépasser la moitié de la longueur de ce mur (RPA 99 version 2003).

Les dimensions des ouvertures et des éléments structuraux doivent respecter par ailleurs les conditions suivantes.





**Figure 3.9 :** Emplacement et taille des ouvertures.

$$a_2 \geq \frac{b_1 + b_2}{3} \quad \text{pour zone I et II}$$

$$a_2 = 0.35 \text{ m}$$

$$(1,4 + 1,4) / 3 = 0,93$$

Alors la condition n'est pas vérifiée  $a_2 < 0,93$ .

### 3.8. Conclusion

Le bâtiment a déjà plus de 50 ans, Le diagnostic que nous avons effectué nous a permis de classer les dommages et anomalies.

Dans cette partie nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser. C'est l'étape clé qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur intensité.

Cela permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces désordres. Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes.

## CHAPITRE 4 : PATHOLOGIES ET CAUSES DES DESORDRES

### 4.1. INTRODUCTION

À partir du diagnostic technique que nous avons réalisé sur site, dans ce chapitre on a présenté les données relatives à l'état de l'ouvrage qui est classées dans un planning qui évalue globalement l'ampleur des dysfonctionnements pour donner lieu à un indicateur de dégradation. Le programme d'évaluation de la dégradation s'insère au sein d'un rapport d'analyse qui contient notamment les photographies ainsi que des précisions sur les éléments de diagnostic technique.

### 4.2. Localisation des fissures

La majorité de fissures structurelles sont concentrée dans les parties 2 et 3.

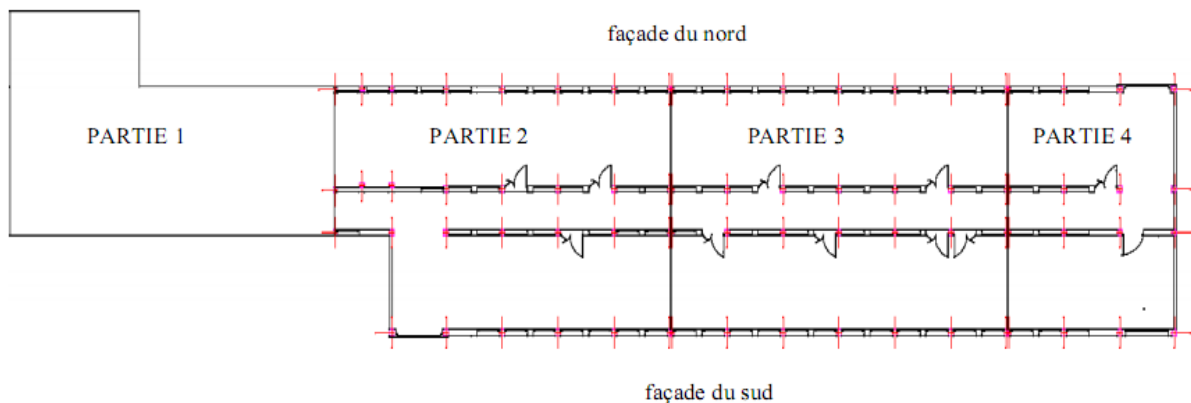


Figure 4.1 : Plan représente les parties du bâtiment.

### 4.3. Relevé pathologique

#### 4.3.1. A l'extérieur de l'ouvrage

Remarque : En ce qui concerne les fondations des poteaux, nous n'avons aucune donnée visuelle à ces endroits.

##### 4.3.1.1. Au niveau des Façades

Les murs du pourtour constituant l'extérieur du bâtiment sont généralement en état acceptables à l'exception de l'apparition des fissures inclinées et horizontales surtout en partie 2 et 3 qui nécessitent un traitement.

##### a-Au sud








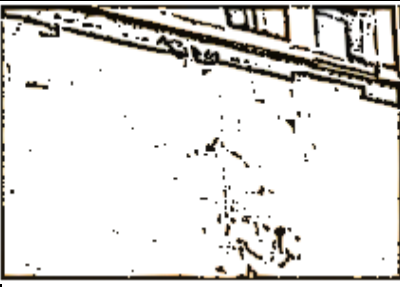
Les pathologies constatés dans cette façade sont comme suite :

- Décollement d'enduit en certains endroits.
- Ecaillage de la peinture et présence des taches humide dans le pied de mur et au niveau des bandeaux des fenêtres.
- Ravalement en enduit mortier bâtard, vétuste, bien que le corps d'enduit soit en état de

conservation acceptable.

- Illustrations de la fissuration a la jonction de la dalle de la toiture terrasse avec son acrotère.
- Translation d'un bloc par rapport à un autre.
- Ouverture du joint de dilatation.
- Dégradation des bandeaux (en béton armé) des fenêtres.
- Cage d'escaliers c'est la partie la plus touché par les désordres (fissure verticale et inclinée, décollement des enduits).
- Les menuiseries bois existantes sont pour leur âge en mauvais état (partie 2 et 3), surtout lorsqu'on considère l'absence totale de protection (peinture, auvent ...). Néanmoins, les ouvrants ne sont pas tous en mesure d'assurer l'étanchéité à l'eau et à l'air.
- Déformation des cadres, dessèchement / absence de joints mastic à l'huile de lin.

**Tableau 4.1** : Relevé des fissures dans la façade du sud.

N°	Photo	Schéma	Type et mesure de fissure
01			fissure verticale très important au sommet de cage d'escalier avec une ouverture de 2mm jusqu'à 2cm.
02			fissure incliné important (5mm) non passantes de 45°, décollement des enduits et microfissures.
03			Fissure horizontale non passant+ décollement des enduits.
04			Microfissures (fissures à peine visibles sur l'enduit), décollement de peinture.



**Figure 4.2 :** Dégradation des bandeaux et menuiserie en mauvais état.



**Figure 4.3 :** Humidité au pied de mur extérieur due au remonté capillaire.

### **b- Au nord**

Lors de notre inspection nous n'avons pas remarqué de fissures apparentes, cela n'empêche pas qu'il peut y avoir des microfissures qui ont été dissimulé derrière le revêtement mural.

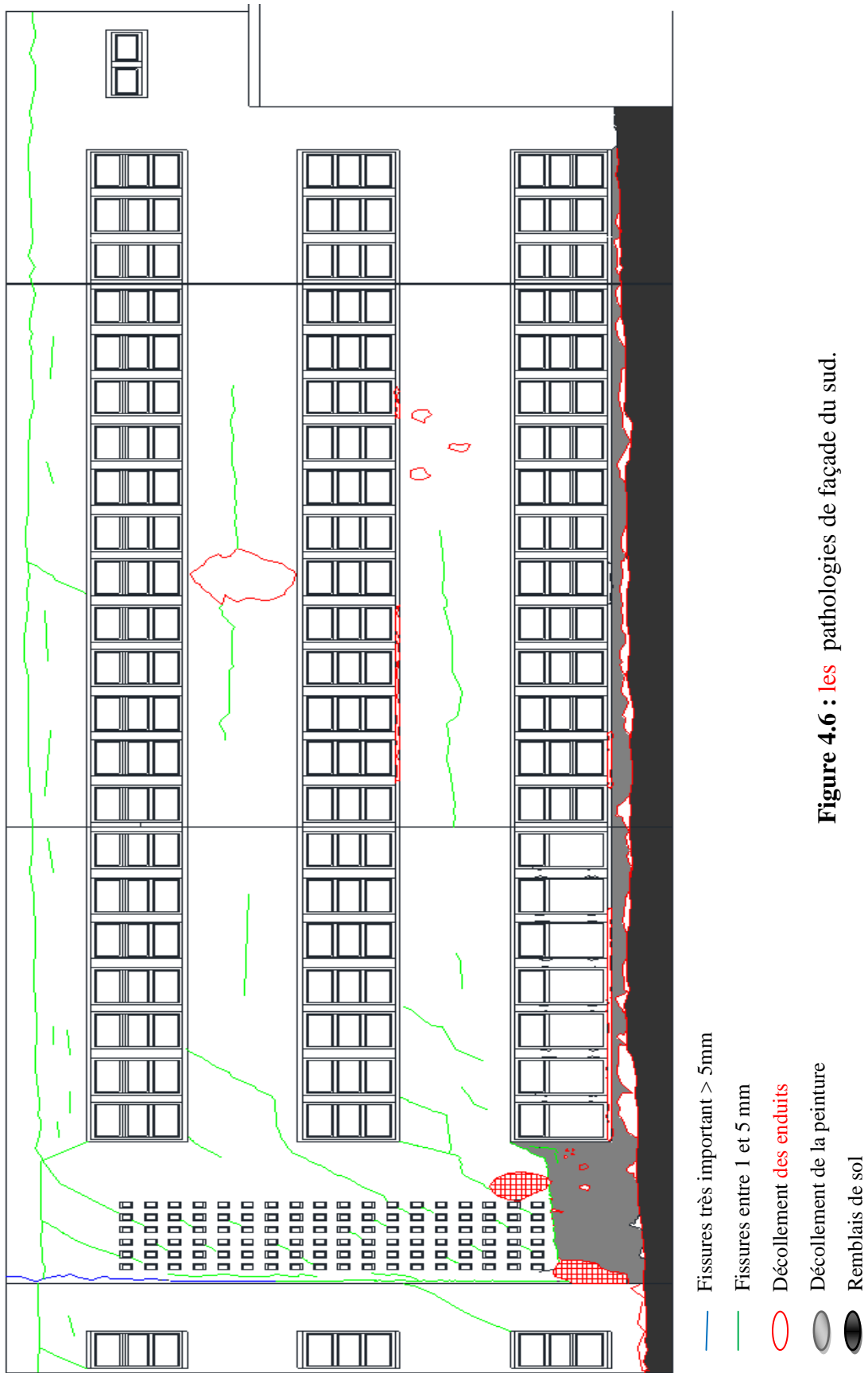
- Le vitre des fenêtres cassées et menuiseries en mauvais état (déformation des cadres) dans la partie 2 et 3 (voir Figure 4.4).
- Présence de l'humidité à cause de l'infiltration des eaux pluviales.



**Figure 4.4 :** Menuiseries en mauvais état.



**Figure 4.5 :** Humidité aux niveaux des tuyaux d'évacuation des eaux pluviales.





#### 4.3.1.2. La végétation

La végétation se trouve très proche de bâtiment (voir figure 4.7).



**Figure 4.7** : La présence de végétation plus proche de bâtiment.

#### 4.3.1.3. L'étanchéité de la terrasse

L'étanchéité de la terrasse est défectueuse avec une dégradation laissant apparaître le support par endroit.

- Bouchage des drains par les graviers au niveau des terrasses et la stagnation des eaux.
- Infiltration des eaux pluviales.
- Fissuration éparse facilitant l'infiltration des eaux de pluie.
- Dégradation par vieillissement du liant de liaison.
- Points singuliers de dégradation sur chéneau (rejaillissements, dégradations).
- Le relever de l'acrotère qui protégé de pax aluminium de fin de vie.




#### 4.3.2. A l'intérieure de l'ouvrage

##### 4.3.2.1. Au niveau de Sous sol

Dans notre visite du sous sol qui été difficile à cause de l'absence de la lumière on a distingue quelque désordre :

- Murs en maçonnerie de pierres généralement en bon état, sauf des dégradations des enduits de jointement (mortier de ciment) de pierre.
- La stagnation des eaux potables ou usées dus à l'endommagement de système d'évacuation des eaux.
- Accumulations des déchée (pierre, terre, Debré végétaux, cassure des tuyaux d'évacuation des eaux).
- Tuyauteries d'alimentation extrêmement endommagé.

**Tableau 4.2** : Les désordres observés au sous sol.

N°	Desordre observé	Photo
01	Stagnation des eaux potables ou usées.	
02	Corrosion des tuyaux des eaux potable.	
03	Accumulations des déchets.	

**4.3.2.2. La partie (1)**

Cette Partie à été démolie totalement à cause de :

- Bloc vétuste et fortement dégradé.
- Ferrailage des dalles planchers fortement corrodé.
- Des poteaux cisailés.
- Maçonnerie lézardée à tous les étages, certains panneaux se sont effondrés.
- Etanchéité défectueuse (véritable passoire).

Ces pathologies sont dues à un tassement différentiel très important.



**Figure 4.8 :** La partie démolie.

#### 4.3.2.3. La partie (2)

- Les Maçonneries par contre se trouvent par endroits lézardées, notamment au rez de chaussée.
- Apparition de fissures par endroits du mortier.
- Fissure inclinée au niveau des murs.
- l'étanchéité est trop vieillissante et défectueuse.
- La peinture extérieure et intérieure du bloc à complètement terni.
- Le carrelage du rez de chaussée est très abimé en plusieurs endroits.
- Les corps d'état secondaires tels que plomberie, vitrerie, et électricité présentent également beaucoup d'avaries.
- Menuiseries existantes en mauvais état.
- Murs de la cage d'escaliers lézardés.
- Détachement des murs de la dalle.
- Carrelage et paillasses de laboratoire défectueux à reprendre.
- Portes des salles et de laboratoire détériorés avec l'absence de quelque porte.
- Etanchéité défectueuse au droit des joints de séparation intérieurs entre blocs défectueux.
- Infiltration des eaux pluviales.

#### 4.3.2.4. La partie (3)

Nous avons relevé le même type de dommages et avaries mais avec des degrés de gravité moins importants que ceux constatés sur la partie (2).

- Fissure inclinée au niveau des murs.
- Détachement des murs de la dalle.
- Etanchéité défectueuse.
- Maçonnerie lézardée au rez de chaussée.
- Vitres de fenêtres cassées.
- Revêtement de plafond putréfié.
- Carrelage défectueux dans quelques endroits.

#### 4.3.2.5. La partie (4)

Les désordres se trouvent seulement en 2eme étage avec une degré de gravité négligeable par rapport aux autres parties.

- Infiltrations d'eau à partir des terrasses surtout au niveau des sanitaires.
- Quelques fissures aux niveaux des murs cloisons.

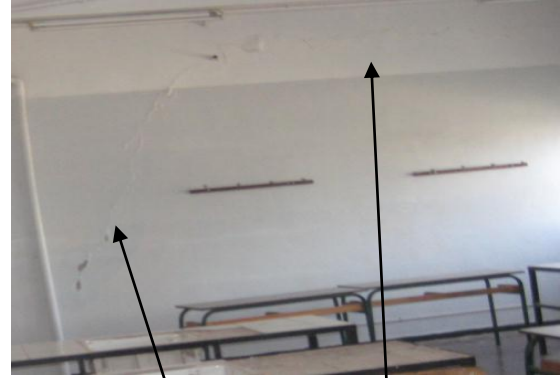


- Carrelage défectueux dans quelque endroit.
- Le rez de chaussé et la 1<sup>er</sup> étage de la partie 4 son en service (aucune désordres a été trouver.

Après l’inspection n’a révélé aucune faiblesse structurelle.



**Figure 4.9 :** Fissure incliné non passant (L=5m, Ep=1 à 8 mm).



**Figure 4.10 :** Fissure capillaire au début horizontal après incliné (L=6m, Ep=1mm).

L : longueur de fissure.  
Ep : épaisseur de fissure.

### 4.3.3. Illustration des désordres par élément de la partie 2 et 3



On a relevé pour chaque élément leurs différentes pathologies. Ce sont essentiellement des fissurations, des décollements, des décollements avec aciers apparents corrodés et de l’humidité. La présence des principaux réseaux et tuyauteries existantes dans l’environnement immédiat de l’élément concerné a également été relevé et est représenté sur les relevés.

#### 4.3.3.1. Au niveau des poteaux

Les poteaux sont généralement en bon état a l’exception de quelque désordres qui se présent par des décollements qui font suite aux fissurations ont été observés, éclatement du béton, des armatures apparentes corrodées.

**Tableau 4.3 :** Les desordres observés au niveau des poteaux .

N°	Desordre observé	Photo
01	Eclatement du béton dans le poteau de joint de dilatation au deuxième étage avec la présence de corrosion des armatures.	

02	Fissure oblique non passant (L = 2m, Ep = 1,5cm) + éclatement de béton au pied de poteau (partie 2, premier étage)	
03	Séparation entre le poteau et le mur (cage d'escalier)	


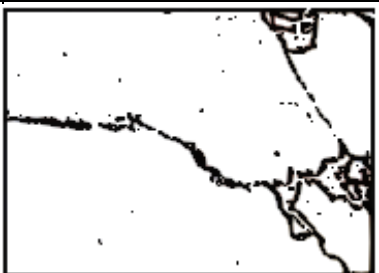

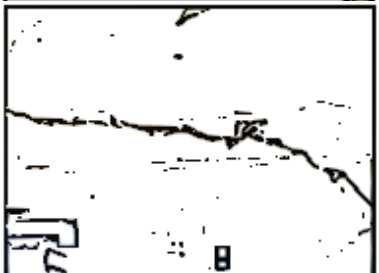
#### 4.3.3.2. Au niveau des murs cloisons


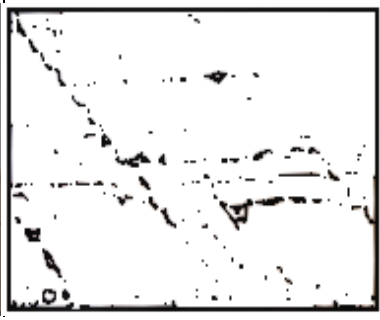



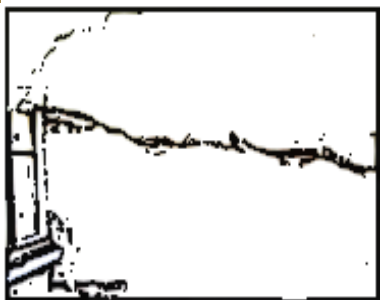

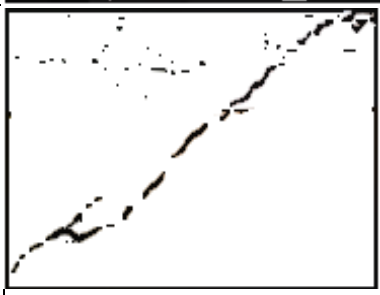
Les différentes fissures observées sont en générale de type:

- Lézardes passantes : traversent le mur dans toute son épaisseur.
- Lézardes non passantes : la fissuration n'est pas profonde.
- Lézardes capillaires : elles sont à peine visibles, l'intervention se limite aux enduits.

L'ouverture moyenne des fissures est classée dans l'une des quatre catégories:  
Fine (<1 mm), moyenne (1–2 mm), importante (2–5 mm) et très importante (>5 mm).



**Tableau 4.4 :** Relevé des fissures dans les murs cloisons.


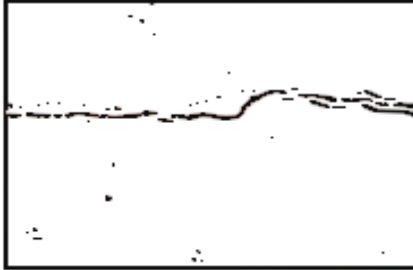










N°	Photo	Schéma	Type et mesure de fissure
01			Fissure en étoile traversent le mur dans toute son épaisseur, décollement des enduits de plâtre.
02			Fissure inclinée très importante d'un angle variant de plafond jusqu'à la dalle (L = 4,5m, Ep = 2cm).

03			Plusieurs fissures de 1mm jusqu' à 5mm (horizontales et inclinées de 45°) dans toute la surface du mur, décollement des enduits.
			Lézardes traversent le mur dans toute son épaisseur, décollement des enduits.
05			Lézardes passantes inclinées débutant du sommet de porte jusqu'à la dalle (L = 3m, Ep = 1,5 cm).
06			Lézardes passantes inclinées de 45° avec une ouverture de 8mm.

#### 4.3.3.3. Les murs extérieurs et les murs de couloir

Tableau 4.5 : Relevé des fissures dans les murs extérieurs et les murs de couloir.


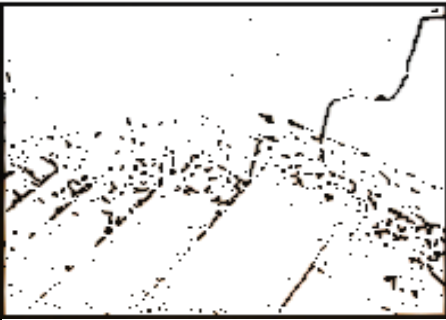

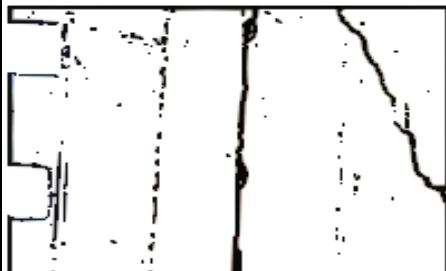

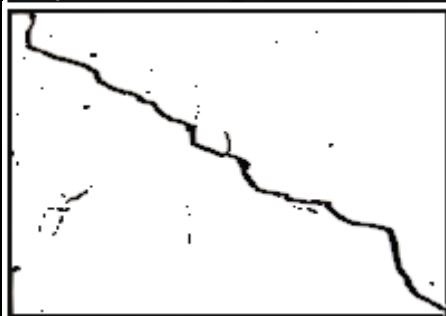
N°	Photo	Schéma	Type et mesure de fissure
01			Fissure vertical (7mm) dans la colonne courte entre fenêtres, microfissures.

02			Fissure horizontal d'une épaisseur de 4mm.
03			Lézard horizontale et vertical à coté de la fenêtre (RDC), microfissures et décollement des enduits.
04			Fissure vertical au niveau de coin de la fenêtre d'une ouverture de 1cm.
05			Fissure incliné fine non passant et décollement des enduits.
06			Lézardes verticale passante, décollement des enduits au sommet du mur, détachement des murs de la dalle et présence de l'humidité.
07			Lézardes oblique traversent le mur dans toute son épaisseur et microfissures.

## 4.3.3.4. Au niveau de cage d'escalier

L'escalier présente des désordres qui se sont manifestées par Ouverture linéaire au tracé plus ou moins régulier.




**Tableau 4.6** : Relevé des fissures dans la cage d'escalier.

N°	Photo	Schéma	Type et mesure de fissure
01			Fissure de forme d'escalier (Ep=3mm) avec une hauteur de 1,5 m
02			Séparation entre poteau et le mur + fissure incliné de 45° (L=3m, Ep=1 cm).
03			Fissure incliné de 45° (L=4m, Ep=1,2cm).



## 4.3.3.5. Au niveau de Joints de dilatations



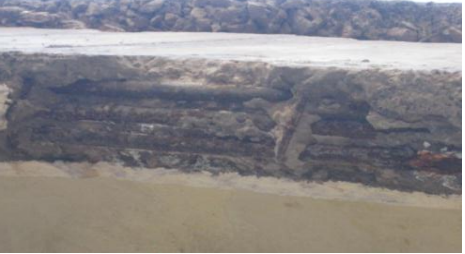

Tableau 4.7 : Les desordres observés au niveau des Joints de dilatations.

N°	Desordres observé	photo
01	Translation d'un bloc par rapport à l'autre entre la partie 2 et 3 plus des microfissures et le détachement de la dalle et l'acrotère .	
02	Translation d'un bloc par rapport à l'autre de 10cm (2 <sup>ème</sup> étage entre la partie 2 et 3).	
03	Ouverture de joint de dilatation de 7cm (RDC).	

## 4.3.3.6. Au niveau des dalles

En général dans les planchers les dégradations sont limitées et dues le plus souvent à des défauts de conception ou de mise en œuvre et de présence de l'humidité. On retrouve la les éclatements des enduites.

**Tableau 4.8** : Les desordre observé au niveau des dalles.

N°	Desordre observé	photo
01	La peinture de plafond complètement terni du a la présence de Humidité (l'infiltration des eaux)(1ere étage de la partie 2).	
02	Eclatements d'enduit de plafond des dalles pleines, humidité (RDC).	
03	Détachements du béton et des armatures apparentes corrodées avec perte de section (section réduite) au niveau de poutre de joint de dilatation de la partie 2 (RDC).	
04	Détachement des murs au niveau de planché.	

#### 4.4. Les cause des désordres

La recherche des causes de désordres survenus à des ouvrages après leur construction est un problème très délicat, nécessitant une approche pluridisciplinaire dans le domaine du bâtiment. Les désordres peuvent être imputés à différentes causes, souvent multiples : sol hétérogène non détecté lors de l'étude du sol d'infrastructure de fondation insuffisante ou superstructure mal adaptée aux conditions du terrain, terrassements mal exécutés ou réalisation négligée etc.

la construction du l'ouvrage a été entamée dans des conditions assez difficiles .des photographies prises en cours de réalisation, montrent un terrain et des fouilles inondes,

probablement a cause de la nappe d'eau, superficielle a l'époque (sources) ou des précipitations atmosphériques assez intenses.

Les informations recueillies auprès du personnel ancien du lycée, ont tendance à révéler que les désordres ont débute dans la partie extrême ouest de bâtiment de classes spécialisées en 1973.

#### 4.4.1. Le tassement différentiel

Les marnes jaunes-verdâtres : semblent constituer une bonne assise de fondation si l'on se réfère aux caractéristique mécanique mesurées in situ et au laboratoire. Leur capacité portante est élevée ( $\sigma_{adm} = 2,5$  a  $3,0$  bars au minimum), très supérieur a la surcharge transmise au sol par les fondations ( $\sigma = 1,5$  bars).

Les tassements observées par le BEREP au niveau des classes spécialisées, sont estimés de 6 à 7 cm (1982). La cause de cette divergence entre les tassements observés et prévus doit être recherchée soit dans le comportement des marnes (argile de forte plasticité), sensibles aux modifications d'humidité, soit dans un phénomène d'affaissement des couches sous jacentes.

L'abaissement du niveau général de la nappe d'eau, ces dernières années, les caractéristiques de haute plasticité des marnes et la croissance de la végétation autour de bâtiment peuvent être alors à l'origine de phénomène de retrait.

L'existence d'un gradient hydraulique important et la présence des couches de sables peuvent suggérer également des phénomènes d'érosion interne.

#### 4.4.2. Phénomène de retrait

Le retrait d'un sol est une diminution de son volume, conséquente à une dessiccation ou à un phénomène physico-chimique d'osmose. Cette diminution de volume peut s'effectuer directement a l'air par évaporation de l'eau sous l'action d'un gradient thermique ou dans l'eau par osmose.

Le retrait est surtout fréquent dans les terrains argileux humides. Après un retrait par dessiccation le sol devient plus compacte très dur avec apparition d'une fissuration de retrait. Dans des conditions de climat chaud et sec, les fissures de retrait peuvent se développer au sein de massif argileux sur quelques mètres de profondeur.

Comme le retrait se fait jusqu'à une valeur limite défini de la compacité, on utilise souvent comme caractéristique de retrait la teneur en eau de retrait ou limite de retrait  $W_R$  et d'indice des vides correspondant.

On peut alors calculer le retrait volumique d'après la formule suivante :

$$bv = \frac{E_h - E_r}{1 + E_h} \quad \text{ou} \quad bv = 1 - \frac{\gamma_{dh}}{\gamma_{dr}}$$

Avec :  $E_h$ ,  $\gamma_{dh}$  indice des vides et densité sèche initiale.

$E_r$ ,  $\gamma_{dr}$  indice des vides et densité sèche après retrait.



Le retrait des marnes jaunes verdâtres a pu être une conséquence de la croissance de végétation autour de bâtiment, de l'abaissement du niveau générale de la nappe d'eau et du déficit pluviométrique enregistrée a partir de 1977. En effet, d'après les informations que nous avons recueillies, la végétation de lycée Dr BENZERDJEB aurait été plantée au début des années 1965. Avec l'abaissement du niveau général de la nappe et le déficit pluviométrique de ces dernières années, les arbres n'ont pas ou d'autre moyen, pour assurer leurs besoins importants en eau que de puiser cette dernière au sein des marnes qui ont alors subi un retrait.

Théoriquement ce phénomène de retrait peut encore évoluer puisque l'indice des vides minimal de retrait est de l'ordre de 0,35 a 0,38 pour une limite de retrait  $W_R=6\%$ .cette valeur corresponde sensiblement a la teneur en eau hygroscopique, c'est-à-dire a la quantité d'eau que peut conserver un échantillon a l'air dans les conditions de laboratoire .

La teneur en eau hygroscopique dépend de la température et de l'humidité relative à l'aire. Elle aurait pu être atteinte dans des conditions de climat aride caractérisé par des précipitations inferieures à 100mm par an, par des températures élevées et par une humidité relative très faibles.

Les conditions climatiques à Tlemcen, sont beaucoup plus clémentes. Nous pensons alors que le phénomène de retrait ne saurait évoluer vers ses valeurs extrêmes et qu'un équilibre devrait intervenir bien avant.

A la condition que la compacité initiale des marnes jaunes verdâtres est pu correspondre a un état de gonflement avancé on retiendra qu'un phénomène de retrait peut être a l'origine des désordres survenus au bâtiment.

#### 4.4.3. Phénomènes d'érosion interne

Les roches meubles pulvérulentes peuvent subir des déterminations sous l'effet de la pression hydrodynamique d'un écoulement souterrain, ce phénomène pouvant avoir lieu aussi bien dans les conditions naturelles qu'artificielles (sous une rivière dans la masse des alluvions, dans un barrage ou une carrière lors d'un drainage forcé).

Ce phénomène est bien connu des hydrologues sous le nom d'inferoflux, de certains géomorphologues sous le nom de suffosion ou des hydrauliciens sous le nom de phénomène de renard.

La suffosion peut être mécanique, ou chimico-mécanique. La suffosion mécanique est le déplacement et l'entraînement de particules fines d'un sol pulvérulent sous l'action hydrodynamique d'un écoulement sans destruction de la structure du sol .lorsque toutes les particules du sol sont déplacées et entraînées a travers les anfractuosités, cavités et vides créés progressivement au cours du phénomène, ce qui traduit par une destruction de la structure du sol, on parle alors d'érosions interne. La suffosion chimique est l'entraînement sous forme de solution de la partie soluble d'une roche. Rencontre également un type mixte de suffosion chimico-mécanique .Par exemple dans un grès le ciment soluble peut se dissoudre et ces particules fines sont entraînées par l'eau.

Il convient également de rappeler que la suffosion souterraine est le transporte des particules fines d'un sol d'une couche a l'autre ou a l'intérieur de la même couche. Les conséquences de ce phénomène résident dans le changement et la redistribution de la granulométrie du sol avec formation de chemins préférentiels des eaux (lessivage) travers une couche au sein de laquelle le coefficient de perméabilité est supérieur a celui

des couches non atteintes par la suffosion souterraine. Lorsque deux sols de porosité déférentes sont en contact, les fines du premier sol sont transportées à travers les pores du second. On dit qu'il y a alors suffosion de contact.

Les conditions de suffosion dépendent des conditions hydrauliques d'une part des particularités géométriques des pores (vides) d'autre part.

La suffosion ne peut se développer dans un sol qu'à partir d'une valeur critique du gradient hydraulique de l'écoulement.

Les conditions géologiques définies lors de reconnaissance de LNHC laissent donc craindre l'existence de phénomènes de suffosion.

La dissolution partielle du ciment carbonaté des grès plaide également en faveur d'existence d'une suffusion chimique.

Nous savons que ce bâtiment a fait l'objet d'injections de quantités énormes de béton dans un sol constitué de grès superficiels. Ces derniers présentaient des signes évidents de suffosion chimico-mécanique : cavernes et vacuoles.

#### **4.4.4. L'humidité**

L'humidité crée dans le bâtiment différents dégâts sur les matériaux. Avant d'envisager un traitement, il est nécessaire d'en identifier les sources et les facteurs. On peut distinguer plusieurs types d'humidité dans ce bâtiment (voir figure 4.10) :

##### **4.4.4.1. Les sources d'humidité**

Elles sont principalement constituées de la pluie (pénétration par la façade ou par la toiture), des remontées capillaires (par les fondations ou les murs enterrés) et eau de condensation.

##### **4.4.4.2. Les remontées capillaires**

L'humidité remonte dans les murs depuis les fondations par capillarité à cause de la présence des eaux souterraines au dessous de la fondation avec l'absence de systèmes de drainage.

Les signes : sous sol humide, traces d'humidité sur les murs, traces noires, les enduits détache aux murs, peinture décolle.

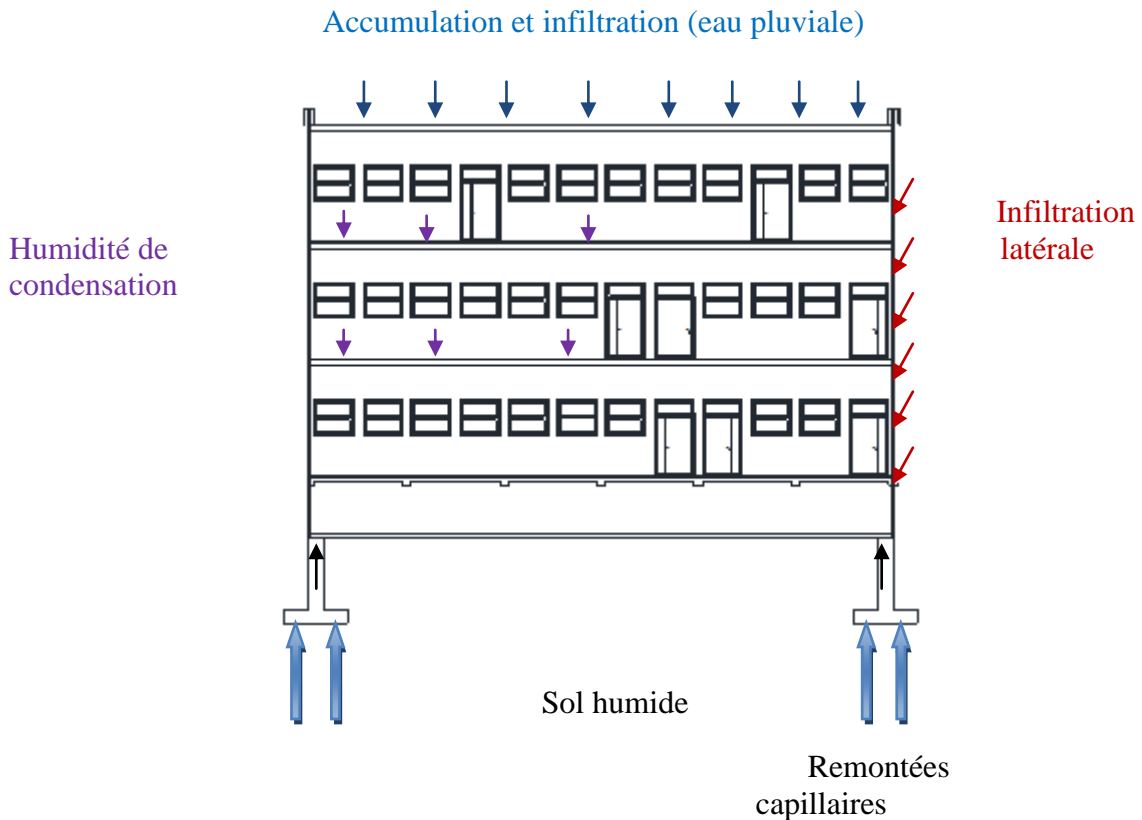
##### **4.4.4.3. L'humidité de condensation**

Liée à l'activité à l'intérieur de bâtiment : sanitaires, laboratoires...

##### **4.4.4.4. L'humidité d'infiltration**

Il s'agit d'infiltrations pluviales (pénétration par la façade ou par la toiture) dues à la porosité des matériaux utilisés, vieillissement des matériaux d'étanchéité, à des fissures ou microfissures dans la maçonnerie ou les menuiseries, bouchage des drains, mauvaise pente du toit (l'eau stagne sur le toit).

La porosité des matériaux permet normalement d'évacuer l'humidité vers l'extérieur, mais lorsque les murs sont trop exposés aux intempéries, l'humidité pénètre également vers l'intérieur.



**Figure 4.11** : Les sources d'humidité dans le bâtiment.

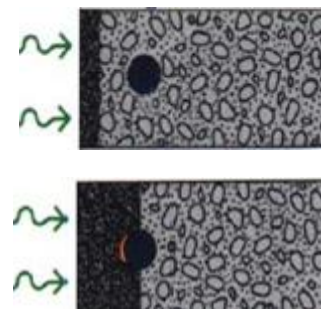
#### 4.4.5. La carbonatation

L'acidité des eaux de pluie provoque une réaction de dissolution du béton. En effet le PH élevé du béton lui confère une réactivité avec les acides d'une manière générale. Cette corrosion (dissolution) se manifeste aussi bien sur la pâte de ciment que sur les granulats lorsque ceux-ci sont calcaires. La surface du béton est attaquée et se désintègre; le béton devient poreux et cette porosité accélère la rouille de l'armature lors d'une réaction chimique appelé : carbonatation.

##### 4.4.5.1. Processus de dégradation de béton (Broquet Raphaël, 2007)

Alcalinité du béton neuf est d'un PH de 12 à 13.  
Ce taux alcalin élevé protège l'armature métallique du béton contre l'oxydation.

La pénétration de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et combinés à l'humidité a pour effet de diminuer le PH du béton.



Cette réaction chimique, appelée « carbonatation », entraîne la diminution lente mais certaine du degré d'alcalinité du béton (PH=9).



A partir de ce moment, l'armature métallique n'est plus protégée contre la corrosion.

L'oxydation ainsi provoquée amène une augmentation appréciable de son volume, à tel point que le béton commence à se fissurer et à éclater.



Eclatement de béton et corrosion accéléré des armatures.



#### 4.4.6. Les travaux de démolition de la partie 1

Ces travaux de démolition exercés sur cette parité provoquent des dégâts qui se manifestent sur le bloc par des fissures sur les murs, des trous au niveau de la dalle de sous sol, dus aux chocs (matériels de démolition).

#### 4.5. Conclusion

Le diagnostic que nous avons effectué nous a permis de localiser, classifier et mesurer les dommages et anomalies de chaque élément de bâtiment. D'autre part, nous avons ressorti que les désordres plus ou moins graves observés sur l'ouvrage ont pour cause principale de tassement différentiel liés à des mouvements de sol.

Ces mouvements de sol causés par plusieurs facteurs dont :

- Le régime des eaux souterraines (niveau phréatique, écoulement, ...).
- L'hétérogénéité des couches géologiques du site (marnes, argiles et colluvions).
- La pluviométrie rare des dernières années.
- La végétation intérieure à l'établissement.
- Les mauvais drainages du site (superficiel et souterrain).

## CHAPITRE 05 : ETUDE STATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE

### 5.1. Introduction

Cette étude est consacrée sur la vérification statique et dynamique de la résistance de la structure.

Donc le précédent travail qui passe par une série d'investigations fines et croisées, portent les aspects techniques (état du bâti, caractéristiques des matériaux, les différents désordres qui affectent le système constructif et l'origine des altérations ...), nécessite aussi une vérification de la stabilité de l'ensembles des parties d'ouvrage qui doit être vérifiée pour l'état actuel de la structure. Ce implique de bien faire toute une étude pour essayer de mettre en exergue le comportement dynamique de l'ouvrage.

### 5.2. Objectif de l'étude

Le but de l'étude sismique est la vérification de la résistance de tous les éléments de la structure. Les résultats de l'analyse statiques et dynamique sont obtenus après la modélisation de la structure en utilisant le logiciel SAP 2000 qui permettra la modélisation des caractéristiques de rigidité et de masse de la construction.

### 5.3. outil de calcul Sap 2000

Le code SAP 2000 est un logiciel de calcul et de conception des structures adapté aux bâtiments et ouvrages de Génie Civil. Il offre de nombreuses possibilités d'analyse statiques et dynamiques avec des compléments de conception et de vérification des structures, ainsi il facilite considérablement l'interprétation et l'exploitation des résultats et la mise en forme des notes de calcul et des rapports explicatifs.

### 5.4. Choix de la méthode de calcul

Vérification aux ELS cas statique.

Selon le R.P.A, le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectacle.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.
- Pour ce projet on utilise la méthode d'analyse modale spectacle et la vérification aux ELS cas statique.

#### 5.4.1. Méthode d'analyse modale spectrale

##### 5.4.1.1. Principe

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

### 5.4.1.2. Domaine d'application

La méthode dynamique est une méthode générale et plus particulièrement quand la méthode statique équivalente ne s'applique pas.

### 5.5. Les démarches de la modélisation

Les démarches de modélisations de notre structure est suivi par les étapes ces dessous :

- La discrétisation : entrer la géométrie du modèle (position des nœuds, connectivité des éléments).
- La caractérisation : spécifier les propriétés des éléments et les assigner.
- Les actions (chargement) : définir le cas de charge (statique et dynamique) et assigner aux nœuds et aux éléments.
- les liaisons (condition aux limites « DDL ») : spécifier les conditions aux limites (appuis, diaphragmes, ...etc.).
- Démarrer l'exécution du problème, apporter des corrections au modèle s'il y a lieu.
- Visualiser les résultats (à l'écran, sur fichier, etc....).

### 5.6. Propriétés des matériaux

**Tableau 5.1** : Les caractéristiques du béton utilisé (Renaud H.et Lamirault J,1993).

Caractéristique de béton	Les valeurs
Resistance à la compression $f_{c28}$ (MPa)	24
Module d'élasticité E (MPa)	$11000\sqrt[3]{22}$
Coefficient de poisson $\nu$	0,2
La masse volumique $\rho$ (KN/m <sup>3</sup> )	25000

### 5.7. Détermination des paramètres des combinaisons d'action

Les combinaisons de charges prises en compte dans les calculs sont celles définies par les règles CBA93, BAEL91 et les règles parasismiques Algériennes RPA99/2003

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q \\ \text{ELS} = G + Q \\ G + Q \pm 1,2 \times E \\ G + Q \pm E \\ 0,8 \times G \pm E \end{array} \right.$$

G : Charges permanentes.

Q : Charges d'exploitation.

E : Action sismique.

## 5.8. Descentes des charges

La descente de charges à pour but la détermination des charges et surcharges revenant à chaque élément porteur au niveau de chaque étage.

Pour le calcul des charges et surcharges des différents éléments du bâtiment nous utilisons le (DTR B. C2 .2)-charges permanentes et charges d'exploitation.

### 5.8.1. Plancher terrasse inaccessible

#### 5.8.1.1. Charge permanente (G)

Tableau 5.2 : Plancher terrasse inaccessible.

Désignations	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Poids surfacique (KN/m <sup>2</sup> )
Protection en gravillon	0,04	17	0,68
Etanchéité multicouche	/	/	0,12
Forme de pente	0,05	22	1,1
Plancher (16+5)	/	/	2,85
Enduit en plâtre	0,02	10	0,2

$$G = 4,95 \text{ KN / m}^2$$

#### 5.8.1.2. Charge d'exploitation (Q) Q=1 KN/m<sup>2</sup> (Terrasse inaccessible).

L'acrotère :

L'acrotère sera calculée comme une console encastrée au niveau du plancher terrasse.

Poids propre de l'acrotère:

La masse volumique = 25 KN /m<sup>3</sup>.

Surface de l'acrotère :

$$S = 0,6 \times 0,1 = 0,06 \text{ m}^2$$

$$G = 0,06 \times 25 \Rightarrow G = 1,5 \text{ KN / ml}$$

### 5.8.2. Plancher étage courant

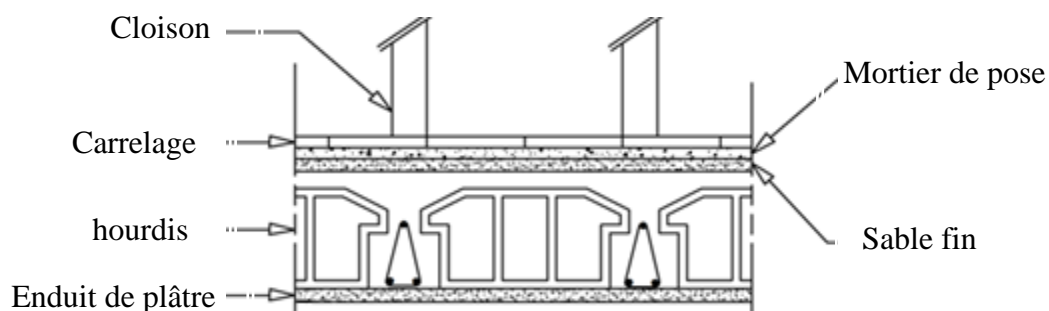


Figure 5.1 : Planchers étage courant.



## 5.8.2.1. Charge permanente (G)

Tableau 5.3 : Plancher étage courant.

Désignations	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Poids surfacique (KN/m <sup>2</sup> )
Carrelage	0,015	20	0,3
Mortier de pose	0,02	20	0,40
Couche de Sable fin	0,02	17	0,34
Enduit en plâtre	0,02	10	0,20
Cloison	/	/	1,0
Plancher (16+5) cm	/	/	2,85

$$G = 5,09 \text{ KN /m}^2$$

5.8.2.2. Charge d'exploitation (Q)  $Q=2,50 \text{ kN/m}^2$  (Classes pédagogiques).

## 5.8.3. Maçonnerie

Tableau 5.4 : Descente des charges des différents types de maçonnerie.

Nature des maçonneries	Description	Epaisseurs (m)	Poids surfaciques (KN/m <sup>2</sup> )
Mur simple paroi (cloison)	-Enduit de ciment	0,04	0,72
	-Brique creuse	0,1	0,90
	-Enduit de plâtre	0,04	0,4
	Totale G =2,02		
Mur double paroi	-Enduit de ciment extérieur	0,02	0,36
	-Brique creuse	0,1	0,90
	-Brique creuse	0,02	0,36
	-Enduit de ciment intérieur	0,02	0,2
	-Enduit de plâtre intérieur		
Totale G =2,72			
	Verre	0,005	0,1250

**5.8.4. Dalle plein (sous sol)****5.8.4.1. Charge permanente (G)**

Tableau 5.5 : Plancher sous sol.

Désignations	Ep (m)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Poids surfacique (KN/m <sup>2</sup> )
Carrelage	0.015	20	0,30
Mortier de ciment	0,02	20	0,40
Sable fin	0,02	17	0,34
Enduit ciment	0,02	18	0,36
Dalle plein	0,15	25	3,75

$$G = 5,15 \text{ KN/m}^2$$

**5.8.4.2. Charge d'exploitation (Q)**  $Q=2,5 \text{ KN/m}^2$  (Classes pédagogiques).**5.8.5. Dalle pleine (étage courant)****5.8.5.1. Charge permanente (G)**

Tableau 5.6 : Dalle pleine étage courant.

Désignations	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Poids surfacique (KN/m <sup>2</sup> )
Carrelage	0.015	20	0,30
Mortier de ciment	0.02	20	0,40
Sable fin	0.02	17	0,34
Dalle plein	0.15	25	3,75
Enduit en plâtre	0.02	10	0,20

$$G = 4,99 \text{ KN/m}^2$$

**5.8.5.2. Charge d'exploitation (Q)**  $Q = 3,5 \text{ kN/m}^2$ **5.8.6. Dalle pleine (Terrasse inaccessible)****5.8.6.1. Charge permanente (G)**

Tableau 5.7 : Dalle pleine terrasse inaccessible.

Désignations	Epaisseur (m)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Poids surfacique (KN/m <sup>2</sup> )
Protection en gravillon	0.0	17	0,68
Etanchéité multicouche	/	/	0,12
Forme de pente	0.05	22	1,1
Dalle plein	0.15	25	3,75
Enduit en plâtre	<b>0.02</b>	<b>10</b>	0,20

$$G = 5,85 \text{ KN / m}^2$$

**5.8.6.2. Charge d'exploitation (Q)**  $Q=1,0 \text{ kN/m}^2$  (terrasse inaccessible).

### 5.9. Détermination des paramètres du spectre de réponse

Dans notre cas nous avons les données suivantes :

Coefficient d'accélération de zone A.

Zone (I) faible sismicité (D'après la classification sismique de la wilaya de Tlemcen : (RPA 99 version 2003).

Ouvrage de grande importance Groupe (1B). Alors d'après les deux critères précédents on obtient  $A = 0.10$  (Tableau 4.1 : RPA 99 version 2003 P34).

Coefficient de comportement global de la structure R :

La valeur de R est donnée par le Tableau 4.3 (R.P.A99 version 2003 P38).

Dans notre structure on a un système de Portiques auto stables avec remplissages en maçonnerie rigide.

Alors le coefficient de comportement global de la structure égale à :  $R=3,5$

$\zeta$  (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

$\zeta = 6 \%$  pour les portiques en béton armé avec un remplissage léger.

Facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ):

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\zeta}} \geq 0,7 \quad (\text{Formule 4.3 : RPA 99 P41}).$$

$$\text{Donc : } \eta = \sqrt{\frac{7}{2+6}} \Rightarrow \eta = 0,9354.$$

Période  $T_1$  et  $T_2$  du site considérée  $S_3$  :

$$\begin{cases} T_1 = 0,15 \\ T_2 = 0,50 \end{cases}$$

Site meuble S3.

Facteur de qualité Q

**Tableau 5.8** : Pénalité en fonction du critère de qualité.

Critère q	P <sub>q</sub>	
	Sens longitudinal	Sens transversal
Condition minimales sur les files de contreventement	0	0,05
Redondance en plan	0	0
Régularité en plan	0	0
Régularité en élévation	0	0
Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
Contrôle de la qualité de l'exécution	0,05	0,05
La somme	0,10	0,15

$$Q = 1 + \sum_1^5 p_q \quad (\text{Formule 4.4 : RPA 99V2003, P39}).$$

$$Q \text{ longitudinal: } 1 + (0+0+0+0+0.05+0.05) = 1,10$$

$$Q \text{ transversal: } 1 + (0.05+0+0+0+0.05+0,05) = 1,15$$

P<sub>q</sub> : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité « q » est satisfait aux conditions à vérifier.

Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (formule 4.13 RPA99, P45).

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25 \times A \times \left[ 1 + \frac{T}{T_1} \times \left( 2.5 \times \eta \times \frac{Q}{R} - 1 \right) \right] & \dots\dots\dots 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \times \eta \times (1.25 \times A) \times \left( \frac{Q}{R} \right) & \dots\dots\dots T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \times \eta \times (1.25 \times A) \times \left( \frac{Q}{R} \right) \times \left( \frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} & \dots\dots\dots T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5 \times \eta \times (1.25 \times \eta) \times \left( \frac{T_2}{3} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left( \frac{3}{T} \right)^{\frac{5}{3}} \times \left( \frac{Q}{R} \right) & \dots\dots\dots T \geq 3.0s \end{cases}$$

T : Période fondamentale de la structure

Sa /g : Accélération spectrale

g : Accélération de la pesanteur = 9,81m /s<sup>2</sup>

- Estimation de la période fondamentale de la structure (T<sub>0</sub>) :

La formule empirique :  $T_0 = C_T \times h_N^{\frac{3}{4}}$

h<sub>N</sub>: Hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

H<sub>n</sub>=12,48m.

C<sub>T</sub> : Coefficient de fonction du système de contreventement et du type de remplissage. Il est donné par le Tableau 4.6 du RPA99/v2003, P 42.

C<sub>T</sub>=0,05

$$T_0 = 0.05 \times (12,48)^{\frac{3}{4}}$$

T<sub>0</sub> = 0,33s.

## 5.10. Modélisation des structures

Pour les structures régulières ou non comportant des planchers flexibles, elles sont représentées par des modèles tridimensionnels encastres à la base et à plusieurs DDL par plancher avec des masses concentrées au niveau des centres du nœud maître de la structure (notion de diaphragme).

La modélisation du bloc est divisée en parties selon la division représentée au figure.3.2.

### 5.10.1. Cas de la partie 2

#### 5.10.1.1. Poids total de la structure

Selon le RPA, il faut prendre la totalité des charges permanentes, avec une fraction β des charges d'exploitation d'après le tableau (4.5 RPA99v2003, P41).

Poids total de la structure  $W_2$  :

$$W_2 = \Sigma WG_2 + \beta \times \Sigma WQ_2$$

$\beta = 0,4$  (coefficient de pondération)

**- Charge permanente (G)**

Plancher terrasse inaccessible :

$$WG = 243,769 \text{ KN}$$

Plancher étage courante :

$$WG = 5307,764 \text{ KN}$$

Plancher sous-sol :

$$WG = 264,71 \text{ KN}$$

$$WG_2 = 8010,243 \text{ KN}$$

**- Surcharge d'exploitation (Q)**

$$WQ_2 = 2062,62 \text{ KN}$$

$$W_2 = WG_2 + 0,4WQ_2$$

$$W_2 = 8835,291 \text{ KN}$$

**5.10.1.2. Calcul de l'action sismique**

$$V = (A \times D \times Q/R) \times w$$

$$\begin{array}{l} \text{Sens longitudinal} \\ \text{Sens transversal} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} V_{xl} = (0.1 \times 2.337 \times 1.10/3,5) \times 8835,291. \\ V_{yt} = (0.1 \times 3 \times 1.15/3,5) \times 8835,291 . \\ \left\{ \begin{array}{l} V_{xl} = 648,94 \text{ KN.} \\ V_{yt} = 870,907 \text{ KN.} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

## 5.10.1.3. Analyse et vérification de comportement de la structure

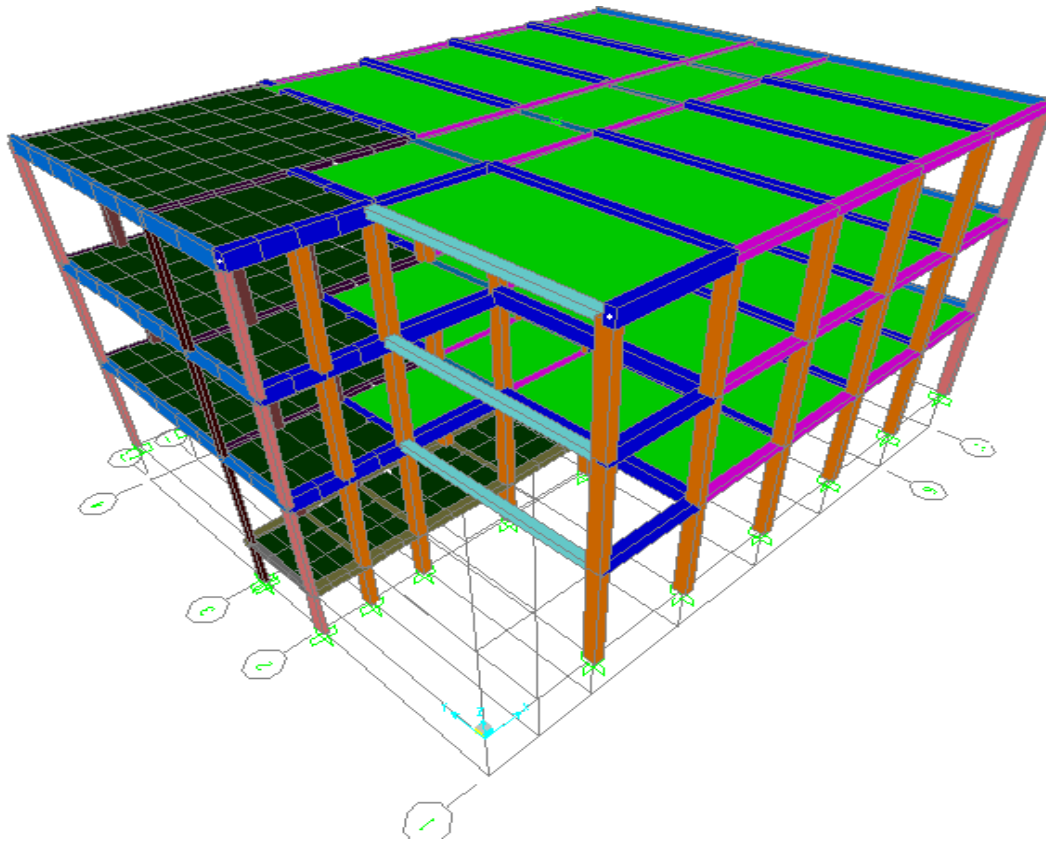


Figure 5.2 : Modélisation de la structure de la partie 2.

- Les modes propres de vibration

Tableau 5.9 : Les modes propres de vibration de la partie 2.

Mode	Période T (sec)	Mode de vibration
1	0,996	Translation suivant X
2	0,831	Translation suivant Y
3	0,777	Torsion suivant Z
4	0,312	Torsion et translation suivant X
5	0,255	Torsion et translation suivant Y

On peut dire que la structure est flexible.



### a- Vérification de la période

Les valeurs de T, calculées à partir des formules de Rayleigh ou de méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles estimées à partir des formules empiriques appropriées de plus de 30%. (Selon l'article 4.2.4 du RPA 99 version 2003).

$$T_0 \leq 1,3T_{em}.$$

Où  $T_0$  est la Période numérique (obtenue par SAP 2000).

$T_{em}$ : Période empirique.

$$T_{em} = 0,33 \text{ s.}$$

$$T_0 = 0,99\text{s.}$$

$$1,3 \times 0,33 = 0,429\text{s} \text{ donc } T_0 > 1,3T_{em}. \text{ Condition non vérifiée.}$$

La rigidité dans les axes (x-x), (y-y) et (z-z) est non vérifiée.

Donc la structure existante est flexible.

### b- Vérification du ferrailage de la structure

Après la modélisation, on obtient le ferrailage suivant :

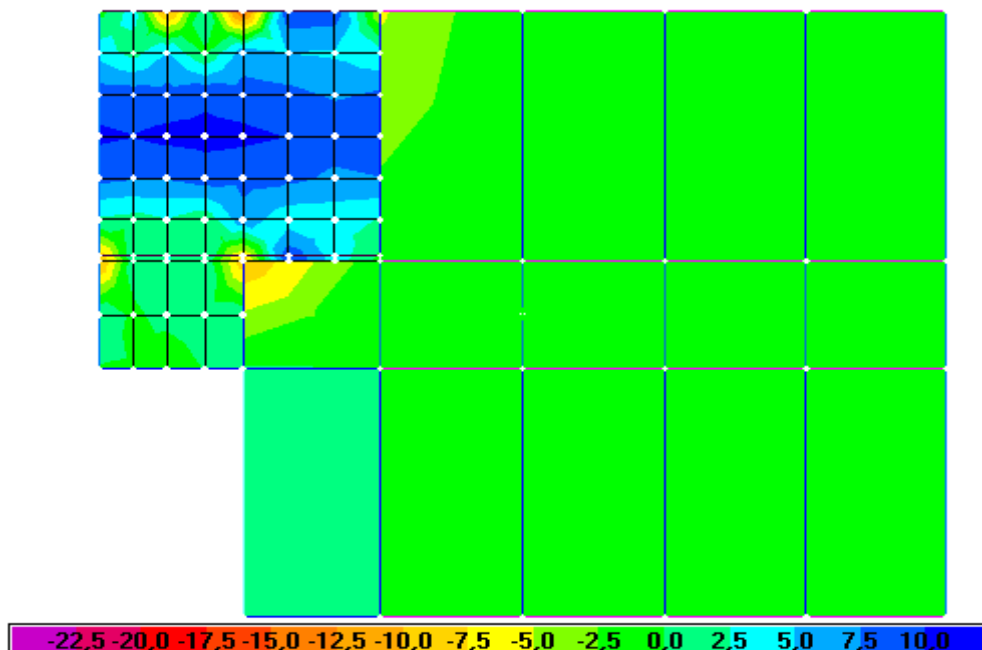
Le ferrailage maximal : 11,21cm  $\longrightarrow$  8T14.

Donc on peut accepter le ferrailage utilisé pour les poteaux 8T12.

### c- Vérification des moments résistants de la dalle pleine

On a considéré que la dalle est homogène et isotrope d'épaisseur moyenne de 15 cm.

Moment résistant( $M_{RES}$ )=14,48KN.m.



**Figure 5.3** : Le moment maximum sollicitant dans le plancher terrasse.

**Tableau 5.10** : Les valeurs maximales des moments pour la dalle pleine.

Moment D plein	M11 (KN.m)	M11 (KN.m)	M22 (KN.m)	M22 (KN.m)
	(mi-travée)	(appuis)	(mi-travée)	(appuis)
Sous-sol	4,23	12,15	9,11	13,09
RDC (4,16)	4,18	12,30	9,18	13,16
1 <sup>er</sup> étage (8,32)	4,16	12,84	9,16	13,04
Terrasse (12,48)	2,85	6,63	5,85	7,31

Le moment fléchissant M11 (mi-travée) est vérifiée ( $M11 < M_{RES}$ ) et le moment fléchissant M22 (appuis) est vérifiée ( $M22 < M_{RES}$ )

Donc la dalle pleine est correctement ferrillée

#### d- Vérification des contraintes de la structure

**Tableau 5.11** : vérification des contraintes de la structure de la partie 2.

N° poteau	Position	M <sub>22max</sub> KN.m	M <sub>33max</sub> KN.m	M <sub>max</sub> M <sub>22</sub> M <sub>33</sub>	N <sub>corresp.</sub> .M <sub>max</sub> KN
60	RDC	74,63	126,46	126,46	0,16
64	RDC	60,27	12,45	12,45	0,17

### 5.10.2. Cas de la partie 3

#### 5.10.2.1. Poids total de la structure

W3 : poids total de la structure

Avec :  $W3 = WG3 + \beta \times WQ3$

$\beta = 0,4$  (coefficient de pondération)

#### - Charge permanente (G)

Plancher terrasse inaccessible :

WG=243,769 KN

Plancher étage courante :

WG=2879,769 KN

Plancher sous-sol :

WG=266,51 KN

WG3=8566,426 KN

## - Surcharge d'exploitation (Q)

$$WQ3=2378,095 \text{ KN}$$

$$W3=WG3+0,4WQ3$$

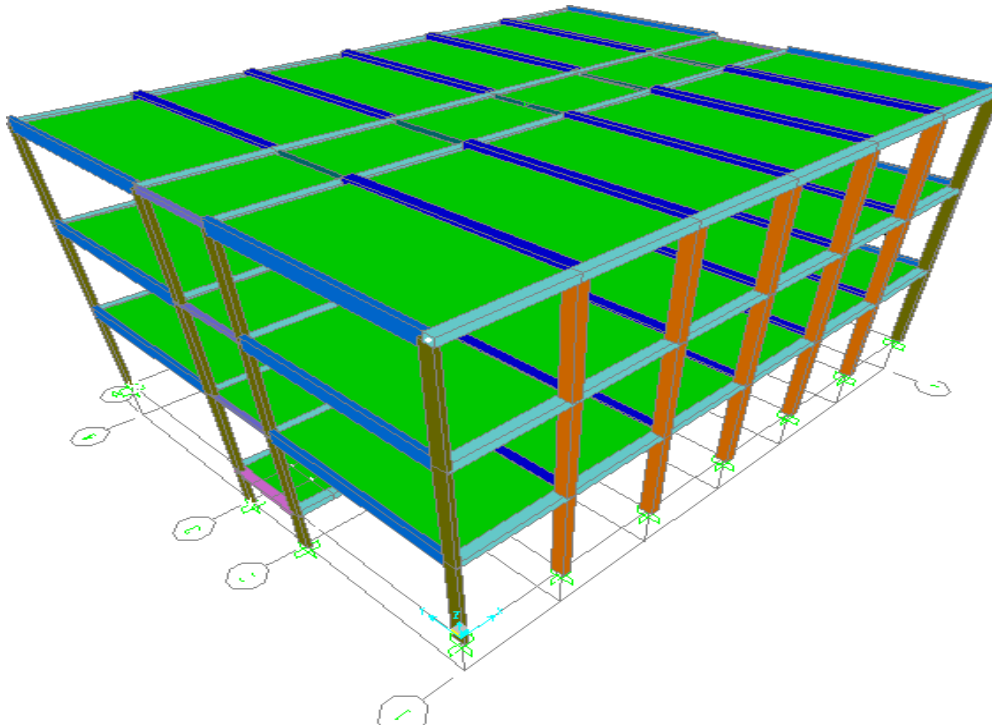
$$W3=9517,664 \text{ KN}$$

## 5.10.2.2. Calcul de l'action sismique

$$V = (A \times D \times Q/R) \times \omega$$

$$\begin{cases} \text{Sens longitudinal} & V_{xt} = (0.1 \times 2.337 \times 1.10/3,5) \times 9517,664 \\ \text{Sens transversal} & V_{yt} = (0.1 \times 3 \times 1.15/3,5) \times 9517,664 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{xt} = 699,05 \text{ KN} \\ V_{yt} = 938,16 \text{ KN} \end{cases}$$



**Figure 5.4 :** Modélisation de la structure de la partie 3.

- Les modes propres de vibration

**Tableau 5.12** : Les modes propres de vibration de la partie 3.

Mode	Période T (sec)	Mode de vibration
1	1,122	Translation suivant X
2	0,926	Translation suivant Y
3	0,820	Torsion suivant Z
4	0,348	Torsion et translation suivant X
5	0,278	Torsion et translation suivant Y

On peut dire que la structure est flexible.

### 5.10.2.3. Vérifications spécifiques pour l'ensemble de la structure

#### a- Vérification de la période

$$T_0 \leq 1,3T_{em}.$$

Où  $T_0$  est la Période numérique (obtenue par SAP 2000).

$T_{em}$ : Période empirique.

$$T_{em} = 0.33 \text{ s.}$$

$$T_0 = 1,12\text{s.}$$

$1,3 \times 0.33 = 0.429\text{s}$  donc  $T_0 > 1,3T_{em}$ . Condition non vérifiée.

La rigidité dans les axes (x-x), (y-y) et (z-z) est non vérifiée.

Donc la structure existante est flexible.

#### b- Vérification du ferrailage de la structure

Le ferrailage est équivalent a celle obtenue a la partie 2

8T14

Donc on peut accepter le ferrailage utilisé pour les poteaux 8T12.

#### c- Vérification des contraintes de la structure de la partie 3

**Tableau 5.13** : vérification des contraintes de la structure de la partie 3.

N° poteau	Position	$M_{22\max}$ KN.m	$M_{33\max}$ KN.m	$M_{\max}$ $M_{22}M_{33}$	$N_{\text{corresp.}}M_{\max}$ KN
60	RDC	55,04	86,57	86,57	0,17
52	RDC	53,91	85,42	85,42	0,19

**5.10.3. Cas de la partie 4****5.10.3.1. Poids total de la structure**

W4 : poids total de la structure

$$W4 = WG4 + \beta \times WQ4$$

$\beta = 0,4$  (coefficient de pondération)

**a- Charge permanente**

Plancher terrasse inaccessible :

$$WG = 1412,278 \text{ KN}$$

Plancher étage courante :

$$WG = 3130,348 \text{ KN}$$

Plancher sous-sol :

$$WG = 133,9 \text{ KN}$$

$$WG4 = 4676,526 \text{ KN}$$

**- Surcharge d'exploitation (Q)**

$$WQ4 = 1145,57 \text{ KN}$$

$$W4 = WG4 + 0,4WQ4$$

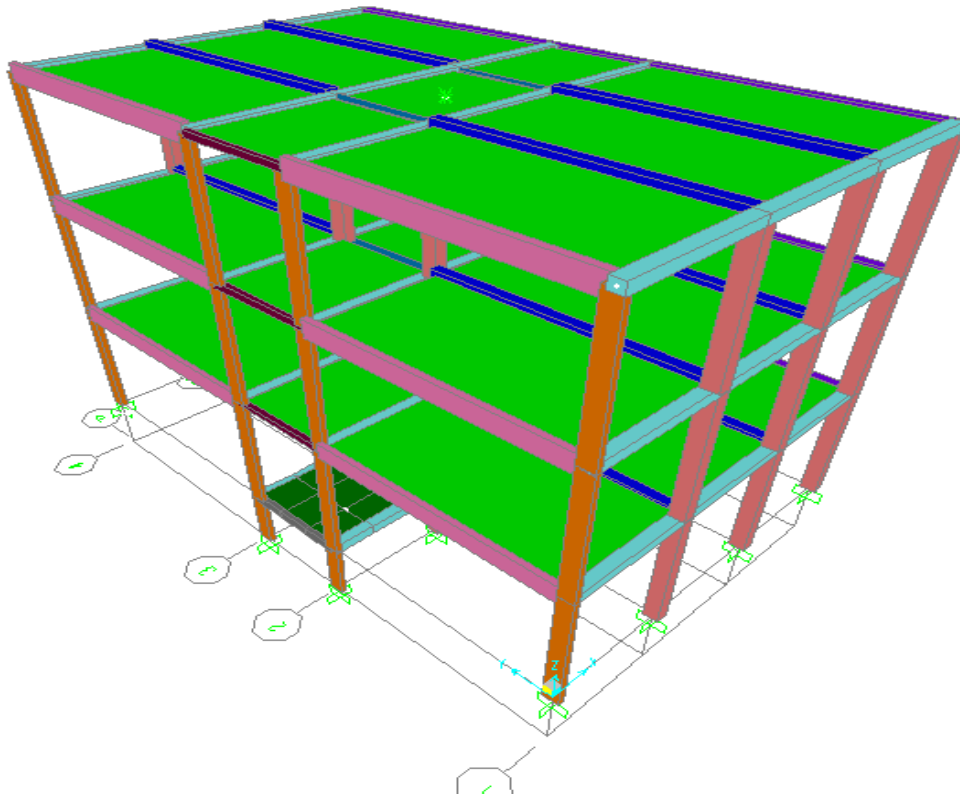
$$W4 = 5134,754 \text{ KN}$$

**5.10.3.2. Calcul de l'action sismique**

$$V = (A \times D \times Q/R) \times \omega$$

$$\begin{array}{l} \text{Sens longitudinal} \\ \text{Sens transversal} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} V_{xt} = (0.1 \times 2.337 \times 1.10/3,5) \times 5134,754 \\ V_{yt} = (0.1 \times 3 \times 1.15/3,5) \times 5134,754 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{xt} = 377,14 \text{ KN} \\ V_{yt} = 506,14 \text{ KN} \end{array} \right.$$



**Figure 5.5** : Modélisation de la structure de la partie 4.

- Les modes propres de vibration

**Tableau 5.14** : Les modes propres de vibration de la partie 4.

Mode	Période T (sec)	Mode de vibration
1	1,052	Translation suivant X
2	0,923	Translation suivant Y
3	0,779	Torsion suivant Z
4	0,317	Torsion et translation suivant X
5	0,261	Torsion et translation suivant Y

On peut dire que le comportement dynamique de la structure est régulier.

### 5.10.2.3. Vérifications spécifiques pour l'ensemble de la structure

#### a- Vérification de la période

$$T_0 \leq 1,3T_{em}.$$

Où  $T_0$  est la Période numérique (obtenue par SAP 2000).

$T_{em}$ : Période empirique.

$$T_{em} = 0.33 \text{ s.}$$

$$T_0 = 1,052 \text{ s.}$$

$1,3 \times 0.33 = 0.429 \text{ s}$  donc  $T_0 > 1,3T_{em}$ . Condition non vérifiée.

La rigidité dans les axes (x-x), (y-y) et (z-z) est non vérifiée.

Donc la structure existante est flexible.

### b- Vérification du ferrailage de la structure

Le ferrailage est équivalent à celle obtenue à la partie 2 et 3

8T14

Donc on peut accepter le ferrailage utilisé pour les poteaux 8T12

### c- Vérification des contraintes de la structure de la partie 4

**Tableau 5.15** : vérification des contraintes de la structure de la partie 4.

N° poteau	Position	$M_{22max}$ KN.m	$M_{33max}$ KN.m	$M_{max}$ $M_{22}M_{33}$	$N_{corresp.}M_{max}$ KN
52	RDC	87,82	83,98	87,82	2,84
60	RDC	58,79	83,97	83,97	0,17

## 5.11. Conclusion

Cette étude est un outil indispensable lors des interventions dans le bloc, il permet de bien comprendre les caractéristiques et le comportement de la structure pour bien préciser le choix des opérations de réhabilitation. A partir des résultats de la vérification des éléments structuraux que nous avons entamés, nous avons noté que, généralement la stabilité de l'ensemble est vérifiée.

Les résultats de la modélisation à également confirmé l'origine probable des désordres et nous orientent vers une intervention légère dans les structures de bloc. De ce fait, nous pouvons affirmer que ce bâtiment est vulnérable puisqu'il est trop flexible. Afin d'améliorer le comportement du bâtiment, il est nécessaire de procéder à la réhabilitation parasismique de la structure ; soit par :

- Ajouter des voiles parasismiques dans le bâtiment.
- Ajouter des contreventements métalliques.
- Ou chemisage des poteaux.



## CHAPITRE 6 : TRAVAUX ET TECHNIQUES DE REHABILITATION

### 6.1. INTRODUCTION

Les techniques de réhabilitation convient d'énoncer quelques principes généraux qui guideront le choix de la technique appropriée en fonction de la situation qui se présente. Les réparations à mettre en œuvre sont variables et dépendent de l'origine des désordres.

Le chapitre précédent est fini avec l'obtention du modèle de la structure dans le logiciel sap 2000 et les charges et hypothèses appliquées et définies. Maintenant, on obtient les résultats des calculs qui vont être analysés et ceux qui vont être utiles vont servir à proposer des techniques de réhabilitation des éléments de la structure.

### 6.2. L'objectif de la réparation

Il est défini par l'étude des causes et effets de la dégradation :

- Non structurelle : La réparation traite des dégradations ne portant pas atteinte à la stabilité de l'ouvrage (épaufrures, dégradations de surface).
- Structurelle : La réparation traite des dégradations qui portent atteinte à la stabilité de l'ouvrage (dégradation d'éléments de structure, dégradations généralisées en profondeur).

### 6.3. Le plan d'action des opérations de réhabilitation

- Etablir un niveau de sécurité supérieur a l'état actuel
  - Le choix du mode de réparation le mieux adapté importe d'abord de faire l'intervention des solutions possibles
  - Ensuite, on conforte les solutions envisagées au problème posé en vue d'en vérifier la validité dans le contexte imposé.
  - L'étude de faisabilité, qui tient compte des difficultés d'exécution, des produits et des matériels à mettre en œuvre, des méthodes d'exécution, des contrôles à effectuer l'étude économique qui conforte les coutes respectifs des divers solutions possibles, et en fait la balance avec le cout d'un ouvrage neuf, auquel s'ajouterait le cout de la démolition.
- Il a été procédé à la réhabilitation de la structure par :

- Reconstruction des murs cloisons endommagés.
- Protection de l'infrastructure.
- Intervention sur les planchers.
- Réfection de revêtement de sol en carrelage.
- Le traitement des fissures et des enduits.
- Traitements des menuiseries existant.
- Le traitement des façades.
- La renouvellement des équipements techniques.

### 6.4. Avant travaux de réhabilitation

Les premières tâches qui doivent faire avant de commencer les travaux de réhabilitation sont :

### 6.4.1. La démolition de certains murs

Cette opération est consistée à démolir quelques murs cloisons (en maçonnerie de brique) dans la partie deux (2) qui sont subi à des désordres très avancé.



**Figure 6.1 :** Exemple d'un mur cloison qu'il faut démolir (partie 2, RDC).

### 6.4.2. Arrachement du carrelage

L'opération consiste à enlever tous les revêtements de carrelage de la partie deux et trois.



**Figure 6.2 :** Exemple de carrelage endommagé (partie 3, 1<sup>er</sup> étage).

### 6.4.3. L'opération de nettoyage

#### 6.4.3.1. Ramassage de débris

L'opération consiste à ramasser et à évacuer tous les objets étrangers tels que pierres, fers, bétons, déchets, papiers, plastiques et caoutchouc de tout genre dans les zones engazonnées, les plantations, les drains en pierraille des accotements et terre-pleins, tant en berme centrale qu'en berme latérale et sur les talus.

#### 6.4.3.2. Nettoyage de revêtements

L'opération consiste à enlever par brossage ou par décapage et brossage et à évacuer les dépôts de matériaux qui se sont accumulés sur les revêtements.

### 6.4.3.3. Arasement de terre-pleins

L'opération consiste à enlever et à évacuer la terre et tous débris faisant obstacle à l'écoulement naturel de l'eau vers les fossés. Préalablement à cette opération, les accotements sont débarrassés de tous débris (canettes, plastiques...).

L'évacuation des produits enlevés s'effectue au fur et à mesure de l'avancement de l'opération. Toute salissure sur le revêtement de la chaussée et/ou de la piste cyclable est enlevée par broyage immédiatement après évacuation des produits enlevés.

### 6.4.3.4. Arracher la végétation

Cette opération consiste à arracher la végétation (arbres, plants) qu'est plus proche de bâtiment

## 6.5. Reconstruction des murs

L'opération consiste à construire les murs cloison qui sont démolir avec l'utilisation des matériaux classique (brique creuse, ciment, plâtre).

Construire le mur extérieur de la partie deux (ouest) qui devient une façade secondaire de bloc après la démolition de la partie un (1). Il faut construire ce mur en double paroi avec un revêtement en enduit de ciment.

## 6.6. La protection des infrastructures et les drainages

### 6.6.1. Le cuvelage externe

Le cuvelage externe consiste au pompage des eaux souterraines qui permet de protéger directement la structure (voir figure 6.3).

La fouille doit parfois être asséchée provisoirement. Cette opération consiste à rabattre le niveau de la nappe à un niveau inférieur à celui du fond de fouille.

Cette méthode a déjà été utilisés dans la période colonial pour protégé la structure contre eau (évité la remonté de niveau de la nappe phréatique)

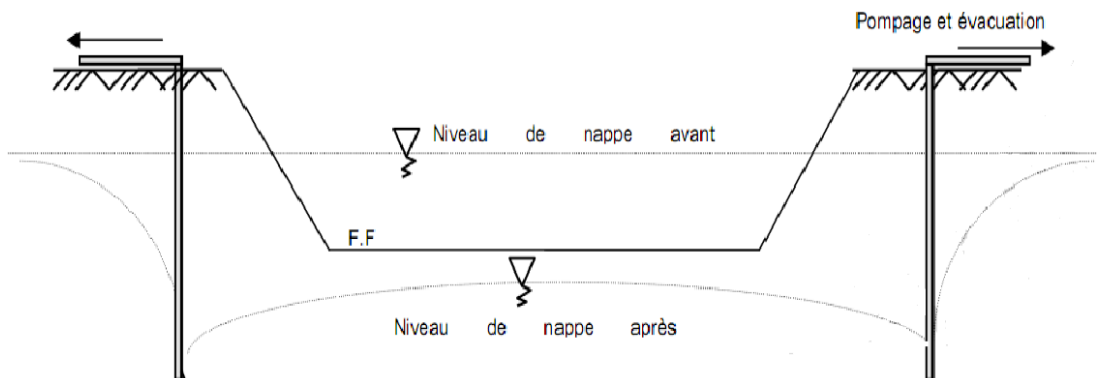
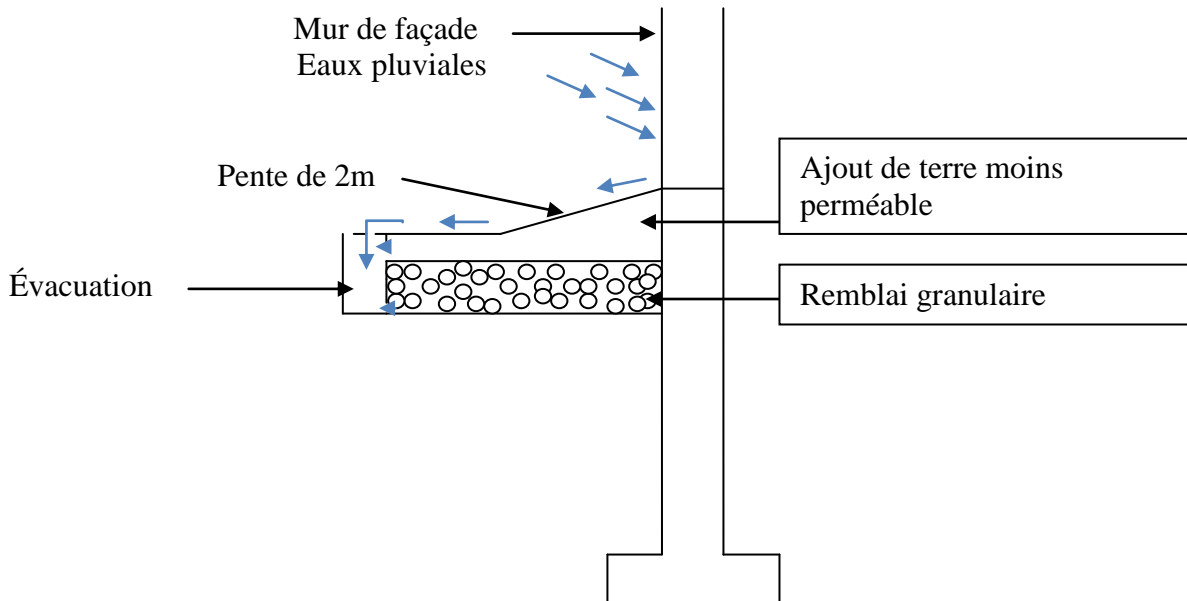


Figure 6.3 : Drainage par cuvelage externe (Lucas de Nehou, 2003)

### 6.6.2. Drainage de surface

Dans notre cas on a des fondation profonde par rapport au niveau de sol surtout dans le façade sud de bâtiment, alors il est difficile et très coute pour faire un drainage périphérique verticale au niveau de fondation donc on a procédé de faire un drainage superficiel pour évité l'infiltration des eaux pluvial au fondation (voir figure 6.4).

Cette méthode consiste a prévoir une pente plus importante près du bâtiment, sur une distance de 2 m avec l'utilisation d'une terre moins perméable.



**Figure 6.4 :** Drainage de surface extérieure (façade sud et nord).

## 6.7. Les travaux de réparation dans le sous-sol du bâtiment

### 6.7.1. Réparation des ouvertures dans la plate forme

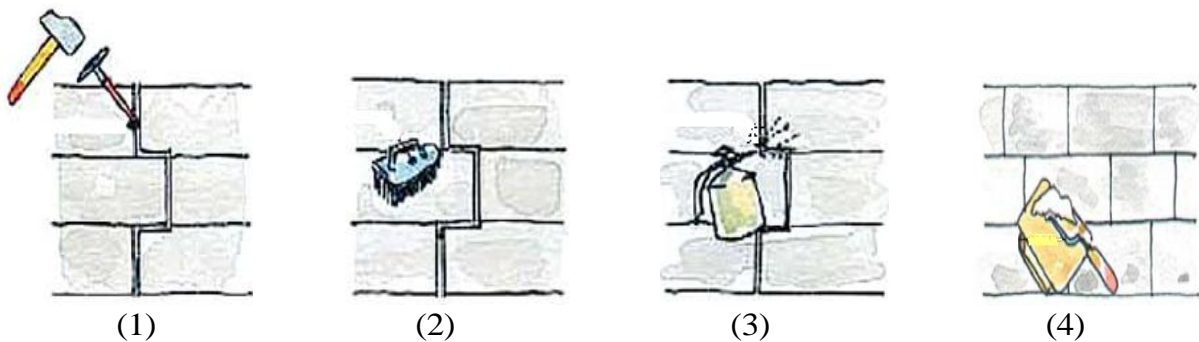
- Ramasser et à évacuer tous les objets étrangers (terre, pierre,...).
- Décaper les parties non adhérentes et humidifier la zone qui entraine de réparé.
- Remplissage des ouvertures (trous) par le béton jusqu'à être niveau avec le plat forme.

### 6.7.2. Réparation des dégradations de jointements de pierre

Le traitement rapide des joints des murs en maçonnerie de pierres est indispensable pour éviter que ce point faible ne crée une zone d'entrée dans le parement : infiltration d'eau, pousse de végétations à l'intérieur du parement de pierre et affaiblissement des murs affectés.

Le Traitement se procéder comme suite :

- Dégager les joints en mortier le long de la zone fissurée en utilisons avec soin un ciseau ou un burin avec un marteau (Figure 6.5(1)).
- Nettoyer et dépoussiérer les joints à l'aide d'une brosse dure. (Figure 6.5(2)).
- Humidifier les joints avec de l'eau jusqu'à saturation, pour une meilleure prise du mortier (Figure 6.5(3)).
- Préparer un mortier de ciment pour assembler les pierres et mise en place pour reboucher le creux de la fissure jusqu'au nu du parement (Figure 6.5(4)).



**Figure 6.5 :** Rejointement d'une fissure d'un mur en maçonnerie de pierre.

## 6.8. Réparation des bétons

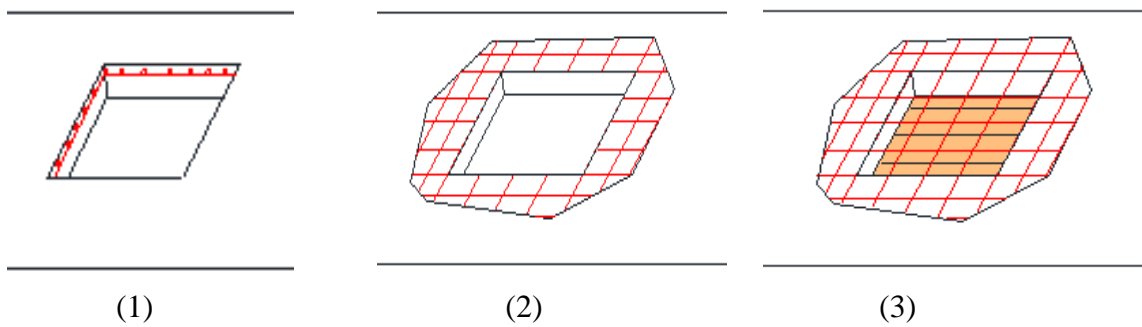
Les bétons sont soumis à des agressions spécifiques qui, en se combinant, peuvent provoquer des désordres importants, la sélection des méthodes et produits les mieux adaptés doit résulter d'une approche rationnelle.

### 6.8.1. Réparation des ouvertures de plancher

L'opération consiste à remplacer des zone sur la dalle pleine (12cm) de sous sol (partie démolir).

La réparation nécessite la démolition du béton de la zone défectueuse, sans abîmer ni le béton adjacent ni la fondation, la remise en état du coffre et des joints avec les dalles adjacentes et le bétonnage de la zone en s'intégrant dans le profil existant (Figure 6.6(1)).

- Enlever les parties de béton dégradé pour obtenir des faces perpendiculaires à la surface du revêtement et propres (Figure 6.6(2)).
- Enlever la rouille des aciers corrodés par une brosse métallique.
- Mettre des aciers de couture dans les zones et les ouvertures ou les armatures sont perdues, avec une fixation entre l'ancien et le nouveau ferrailage en tenant compte des longueurs d'ancrage (Figure 6.6 (3)).
- Nettoyer les surfaces dégagées à l'aide d'eau sous pressions et faire un coffrage plat au dessous des ouvertures.
- Un coulage de béton avec adjuvant ou colle structural qui permet de lier le nouveau et l'ancien béton.





**Figure 6.6 :** Les étapes de réparation des ouvertures.

### 6.8.2. Traitement de corrosion

**Tableau 6.1 :** Processus de traitement de béton éclat (Armature corrodée).

N°	Travaux	Photo
1	Dégager complètement les armatures oxydées. Eliminer la rouille par brossage (avec une brosse métallique). Dépoussiérer soigneusement pour assurer une bonne adhérence du mortier de réparation (mortier de ciment).	
2	Appliquer avec un petit pinceau une couche épaisse d'un produit de revêtement anticorrosion, sans déborder sur le béton. Laisser le produit sécher environ 1heure jusqu'à doit être sec au toucher avant d'être recouvert.	
3	Humidifier abondamment les parties a réparé. Laisser ressuyer : le béton doit être humide mais non ruisselant.	



4	Pour une bonne adhérence, appliquer le mortier en le serrant fortement sur tout le pourtour de la zone à réparer.	
5	Dès raidissement du mortier, réaliser la finition à l'aide d'une taloche polystyrène ou d'une taloche éponge.	

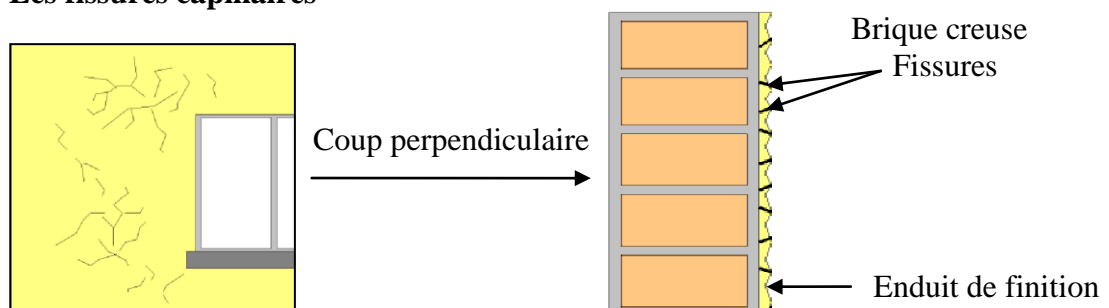
### 6.9. Traitement des fissures et des enduits

Après le travail de diagnostic nous avons sorti une information important qu'indique que les fissures sont stables (passive).

Qualités requises pour un traitement durable :

- Déceler les causes et types de fissure.
- Le support doit se prêter à un traitement des fissures (propre, sec, solide.)
- Choisir le système de réparation le plus efficace.

#### 6.9.1. Les fissures capillaires

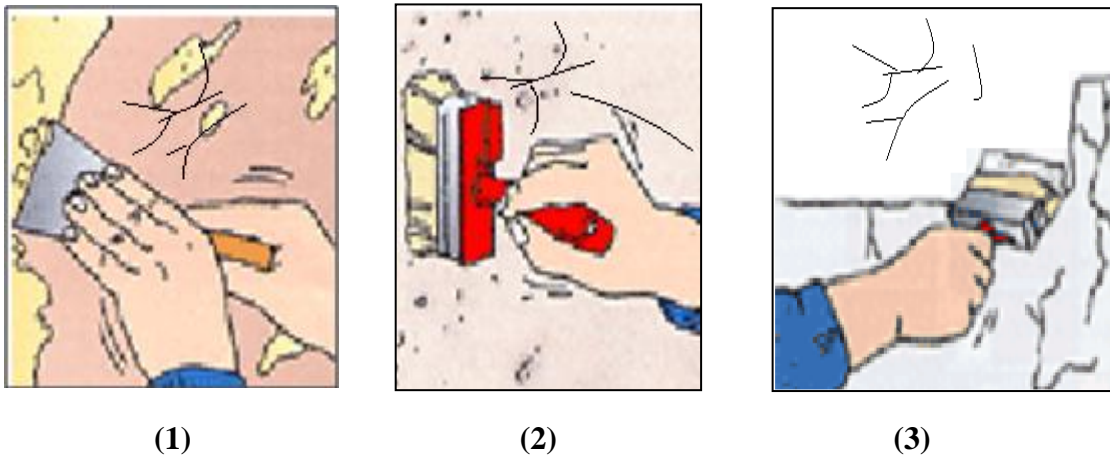


**Figure 6.7 :** Fissures capillaires (seulement dans l'enduit de finition).

Le traitement des fissures capillaire peut en général être réalisé avec une couche de peinture imperméable, élastique et couvrant anti-fissures (peinture est à même de colmater les plus fines microfissures). Ceux-ci sont généralement d'un blanc frais ([www.greutol.ch](http://www.greutol.ch)).

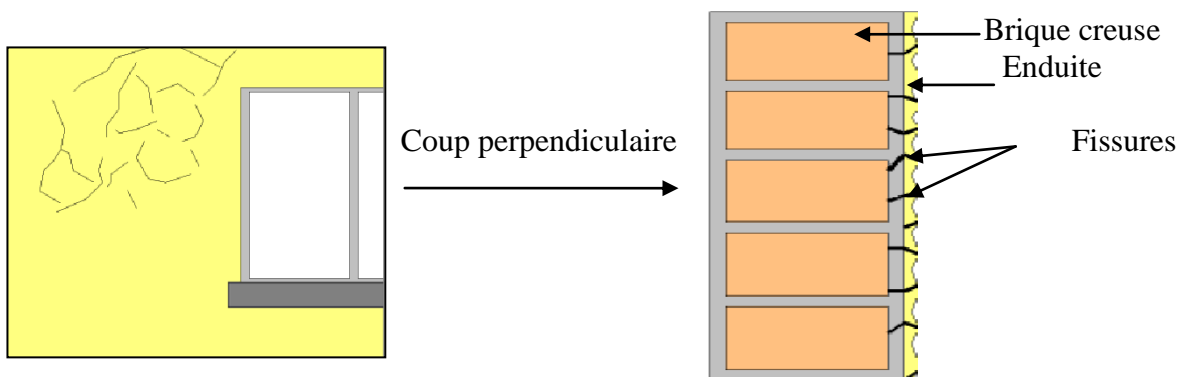
Il est évident de décaper l'ancienne peinture, que le fond devra être nettoyé avec un brosse avant l'application d'une protection, effectuée à l'aide d'un nettoyeur à haute pression, est très efficace pour nettoyer murs, ensuite laissez sécher.





**Figure 6.8 :** Traitement des fissures capillaires avec peinture.

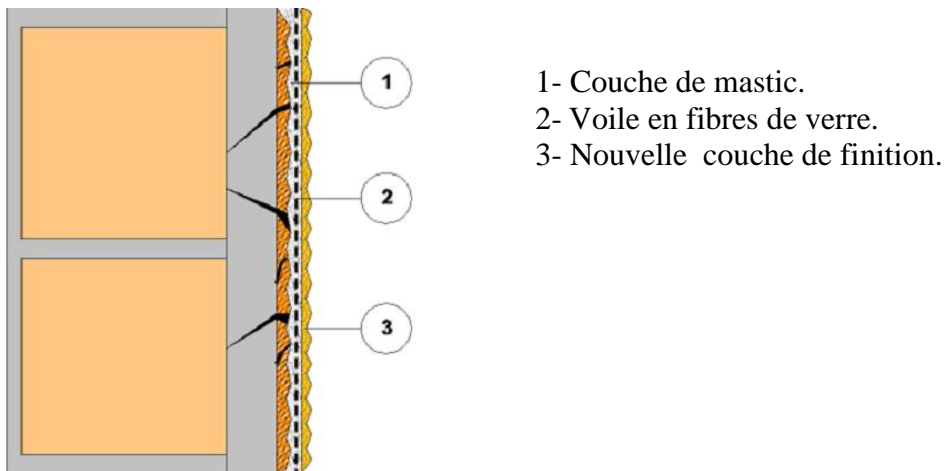
### 6.9.2. Les fissures dans la couche d'enduit



**Figure 6.9 :** Fissures dans la couche d'enduit (Fissures traversant la structure d'enduit jusqu'à la maçonnerie).

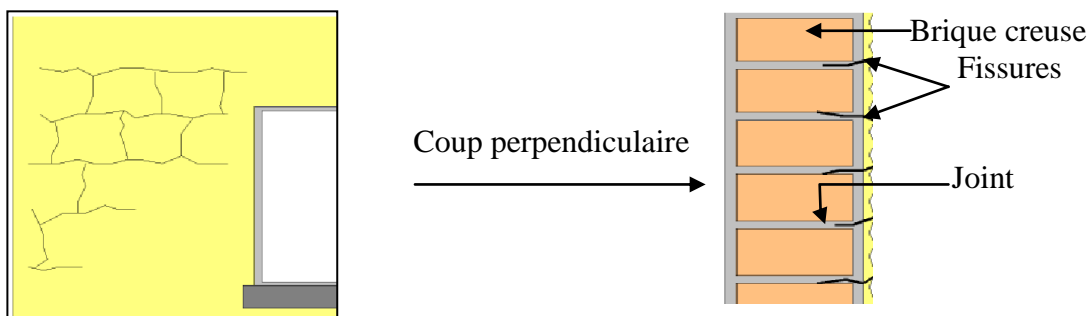
Les étapes de traitement sont comme suit :

- Enlèvement de la couche de finition par brossage (brosse métallique) sur toute la surface touchée par les fissures.
- Nettoyage avec l'eau à haute pression ensuite laissez sécher.
- On applique sur le support existant la masse à spatuler (à base de chaux) prévue (mastic multiplan).
- Placé un voile en fibres de verre sur la surface à réparer.
- Réalisation d'une nouvelle couche de finition avec enduit ancien (plâtre ou ciment).



**Figure 6.10 :** Traitement des fissures dans la couche d'enduit.

### 6.9.3. Les fissures au-dessus de joint de maçonnerie

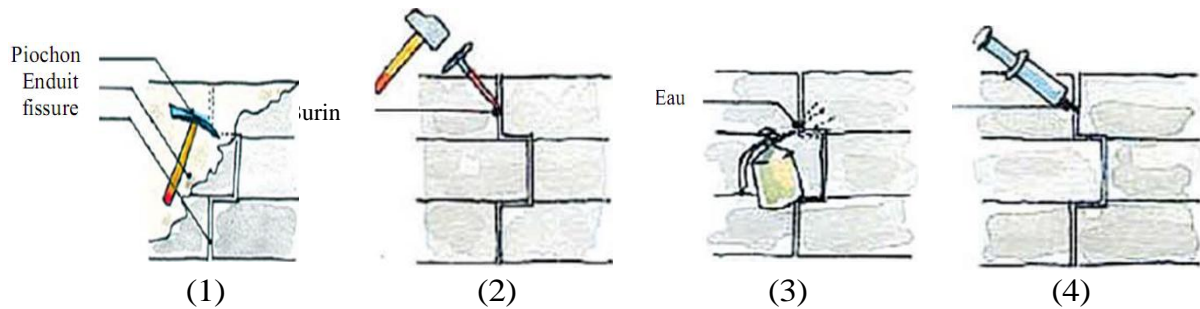


**Figure 6.11 :** Fissures importants (Allant jusqu'aux joints de mortier).

On peu réparé ces fissures par la méthode précédent parce que les fissures sont stables (passives) et en peut utiliser une autre méthode qui consiste a bouchez les fissures avec une injection de résines époxydes ou acryliques à l'aide d'aiguilles d'injection. Ou également être réparées avec un joint de mastic au pistolet pour les petites fissures.

#### 6.9.3.1. Etape de réparation par injection des résines époxydes

- Décroûtage de la zone fissurée par un piochon (Figure 6.12(1)).
- Les fissures importantes doivent être ouvertes avec un burin (section V) (Figure 6.12(2)).
- Nettoyer la surface décapé a l'aide d'une brosse métallique et humidifier-les (Figure 6.12(3)).
- Rebouchage du creux de la fissure par injection de coulis (Figure 6.12(4)).
- Revêtement de zone décapé par l'enduit classique.



**Figure 6.12 :** Etape de réparation des fissures par injection.

### 6.9.3.2. Etape de réparation par l'utilisation d'un mastic de rebouchage

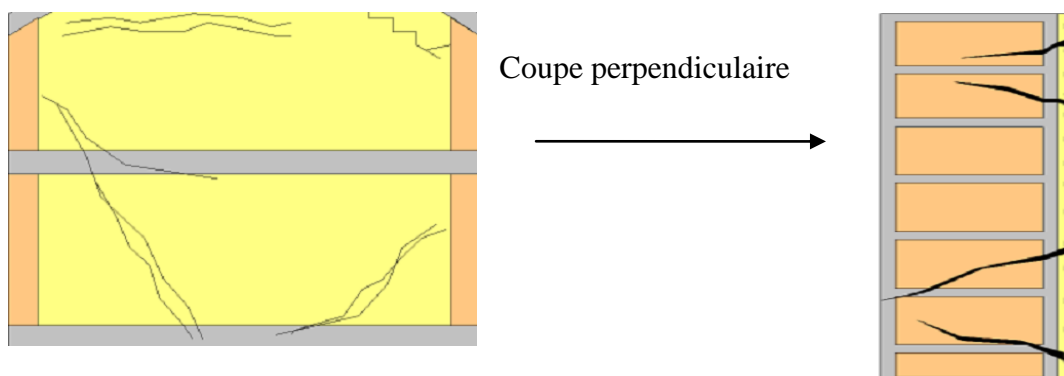
Les fissures doivent être ouvertes avec un burin (sur 7-8 mm de large et 1 cm de profondeur). Nettoyez-les, dépoussiérez-les et bouchez-les avec un mastic pouvant être peint. Le pistolet permet d'extraire le mastic de la cartouche. Lissez au couteau à enduit, peignez ou traitez le mur.

Application de cette méthode est facile, rapide et précise. Il rebouche les trous et fissures sans retrait, comble les saignées des passages de câbles ou canalisations, consolide et aplanit les surfaces (plâtre, ciment, bois...).



**Figure 6.13 :** Traitement des fissures par mastic de rebouchage.

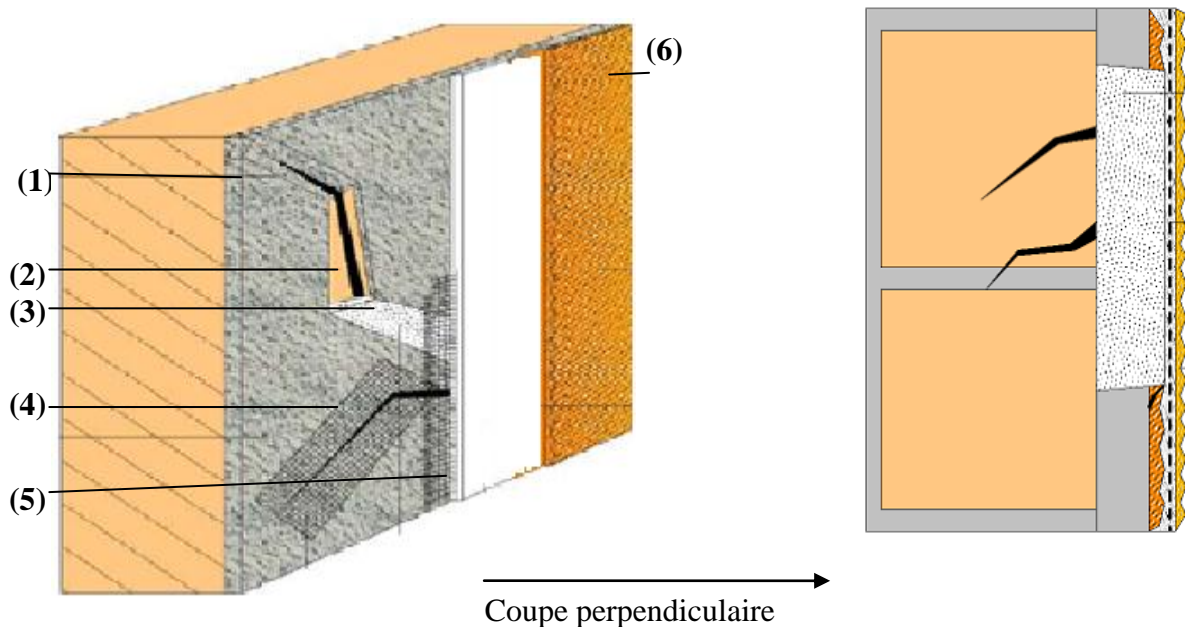
### 6.9.4. Les fissure très important (passant)



**Figure 6.14 :** Fissures traversant toute épaisseur du mur.

Pour la réparation on passé par les étapes suivant :

- Enlever la couche de finition de toute la surface touchée par les fissures (Figure 6.15 (1)).
- Fraiser la fissure avec meule à disque.
- Enlever complètement les anciens enduits au niveau de la fissure (Figure 6.15(2)).
- Nettoyage avec un brosse métallique ensuite humidification.
- Voile en fibres de verre sur petites fissures (appliquer selon la fissure) (Figure 6.15(3)).
- Remplissage des fissures par un enduit d'égalisation (enduit thermo-isolant) (Figure 6.15(4)).
- Couche d'armature: Mastic multiplan ou plâtre avec voile en fibres de verre (Figure 6.15(5)).
- Nouvelle couche de finition avec l'enduit classique (Figure 6.15(6)).



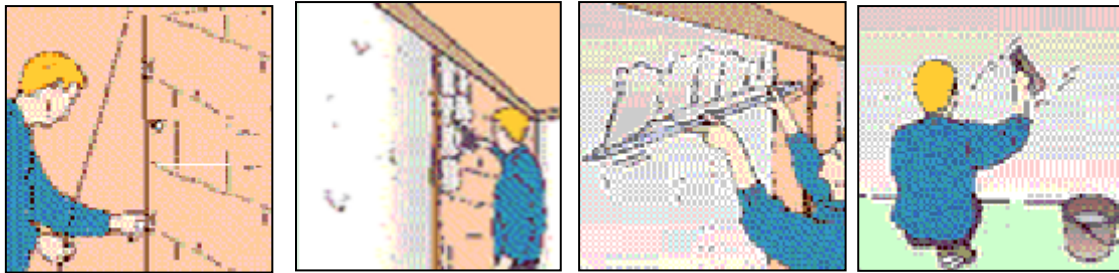
**Figure 6.15 :** Traitement des fissures très importantes.

#### 6.9.6. Traitement des enduits

Pour réparer les enduits qui sont décollés on suit les étapes suivantes :

- Enlever les enduits anciens qui ne sont pas adhérents (Figure 6.16 (1)).
- Nettoyage de la surface à décapé avec une brosse et eau.
- Enduisage : Appliquez l'enduit classique en couche un peu épaisse, de sorte qu'il dépasse par rapport à l'enduit de référence (Figure 6.16(2)).
- Araser l'enduit avec une règle d'aluminium, orientez-la vers le haut. Commencez en bas, sur l'enduit de référence (Figure 6.16(3)).
- Appliquer une couche de finition et lisser à l'éponge: Pour le lisser, éponger l'enduit à l'aide d'une taloche spéciale munie d'une semelle en feutre ou en éponge. Humidifiez d'abord le mur puis, effectuez des mouvements circulaires (Figure 6.16(4)).

- Raccords : Les raccords avec d'autres enduits (murs, le plafond et le sol), sont les plus difficiles et on les exécute en dernier lieu, en se servant comme référence de la surface déjà enduite. Il existe des truelles spéciales pour finir les angles, rentrants ou saillants.



(1)

(2)

(3)

(4)

**Figure 6.16 :** Les étapes de réparation des enduits.

## 6.10. Traitement de la terrasse

### 6.10.1. Dépose de l'étanchéité existante

- Enlèvement du tapis de gravillons pour tri, nettoyage, stockage puis réutilisation.
- Arrachage de l'étanchéité.
- Dépose des naissances d'évacuation d'eaux pluviales.
- Nettoyage, évacuation, transport en décharge.

### 6.10.2. Traitement des fissures

- Décapage des parties béton non adhérentes.
- Application d'un mortier à base de résine époxy y compris toutes sujétions de mise en œuvre.

### 6.10.3. Le réglage de pente

Le réglage de pente planimétrique longitudinal, et le réglage transversal de la pente du support pour éviter l'accumulation des eaux pluviales.

### 6.10.4. Création de réservation pour de nouvelles descentes d'eaux

Pour éviter que les eaux de pluie, suivant leur cours, ne viennent endommager sérieusement le mur et même ses fondations, posez au bout de la gouttière un tronçon coudé ("dauphin") qui les détournera vers une citerne ou vers une fosse raccordée aux égouts (voir figure 6.17).

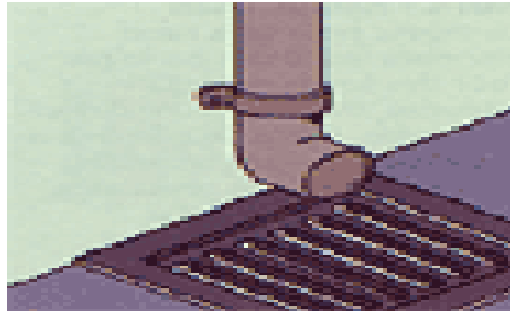


Figure 6.17 : Evacuations des eaux pluviales.

### 6.10.5. Réalisation de l'étanchéité de la terrasse

#### 6.10.5.1. Réalisation du pare vapeur

Fourniture et mise en œuvre d'un pare vapeur si nécessaire, notamment si mise en place d'une isolation thermique.

#### 6.10.5.2. Pose d'une isolation thermique

En utilisons des panneaux de polystyrène etc.

#### 6.10.5.3. Application de l'étanchéité

Revêtement en chape souple de bitume avec une armature en feutre bitumé ou en tissu de verre ou encore en polyester.

#### 6.10.5.4. Pose de la protection en gravillon

Le gravillon existant sera récupéré et nettoyé avant repose. Sera à prévoir pour assurer un minimum de 4cm d'épaisseur à ce tapis de protection.

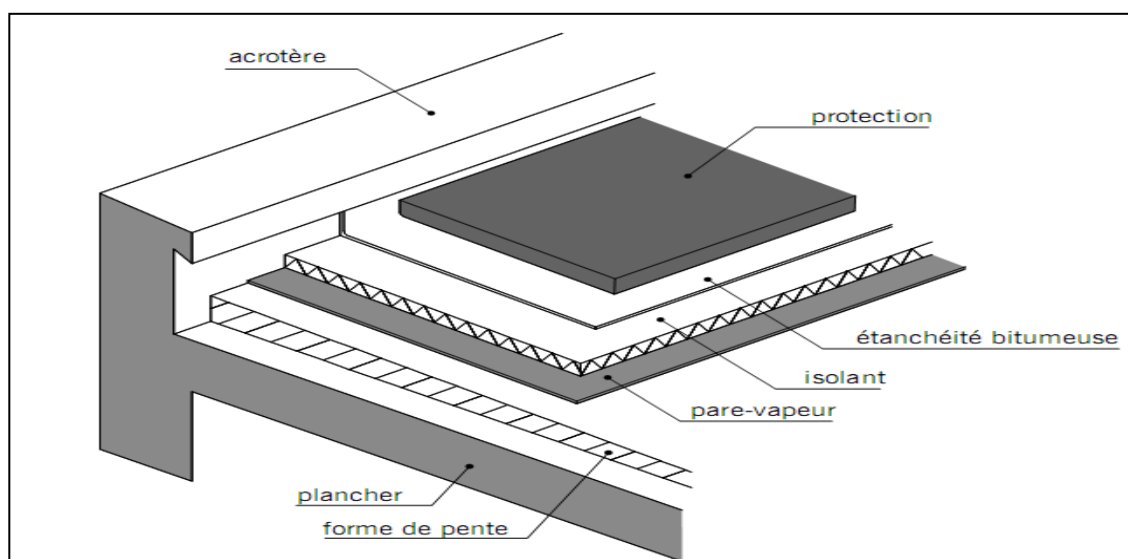
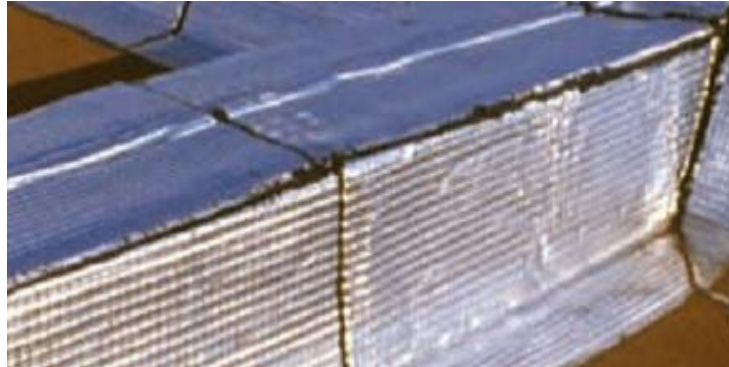


Figure 6.18 : Les éléments de protection d'une toiture terrasse.



### 6.10.5.5. Protection des joints de dilatation

Dans le cas où des joints de dilatation ou de fractionnement existent, il faut les entretenir pour éviter le passage de l'eau et empêcher que des débris viennent bloquer leur fonctionnement.



**Figure 6.19** : Protection du joint de dilatation par une armature en feutre bitumé.

## 6.11. Réparation ou remplacement de la menuiserie

### 6.11.1. Remplacement de la menuiserie

Dans notre bâtiment il ya des portes et fenêtres qui sont soit perdu ou déformé complètement nécessite un remplacement complet avec le respect des recommandations suivant :

- Ne changez que les portes et les fenêtres vraiment abîmées ou mal intégrées.
- Prenez soin de préserver les encadrements et les détails architecturaux autour des portes et des fenêtres (moultures, volets, cadrages, etc.).
- Remplacez par des modèles identiques ou similaires aux originaux. Respectez le style et l'époque de construction du bâtiment. Conservez les mêmes proportions de vitrage.
- Conservez les dimensions, les formes, l'alignement et la disposition des portes et des fenêtres car elles contribuent à l'harmonie des façades d'un bâtiment.
- Choisissez des produits durables et de bonne qualité. Privilégiez le bois plutôt que l'aluminium ou le PVC. Ne négligez pas l'étanchéité, la durabilité, l'efficacité énergétique, les exigences d'entretien et l'apparence du modèle choisi.

### 6.11.2. Réparation de la menuiserie

Il est souvent plus économique et avantageux de réparer les parties endommagées que de remplacer totalement les portes et les fenêtres anciennes. Les portes et les fenêtres doivent isoler correctement, être étanches à l'eau et à l'air, fermer et ouvrir facilement et être sécurisées.

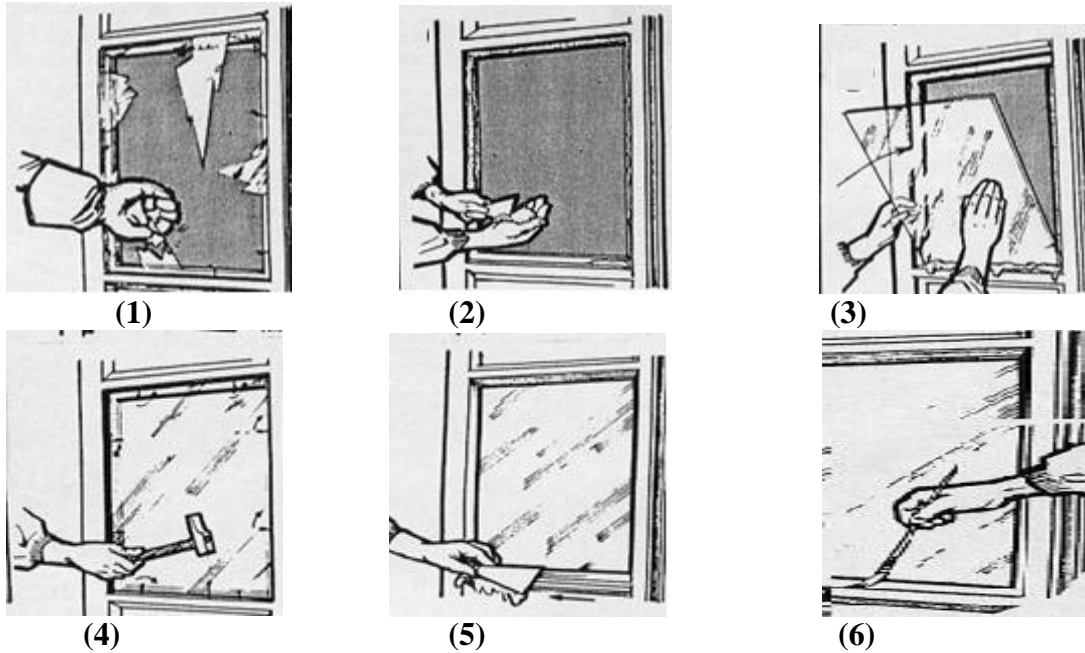
Les étapes de réparation sont comme suit :

- Remplacez des sections de bois endommagées.
- Boucher les fissures par le mastic pour éviter l'infiltration des eaux.
- Remplacer le vitrage cassé par un vitrage plus performant.
- Remplacé le mastique dégradé.



-la peinture protège des intempéries et assure la longévité de la menuiserie.

Il est primordial de respecter l'aspect original des portes et des fenêtres pour maintenir l'harmonie du bâtiment. Les portes, les fenêtres et leur ornementation reflètent l'époque de construction et les influences architecturales du bâtiment. Elles sont parfois le seul élément distinctif d'une façade.

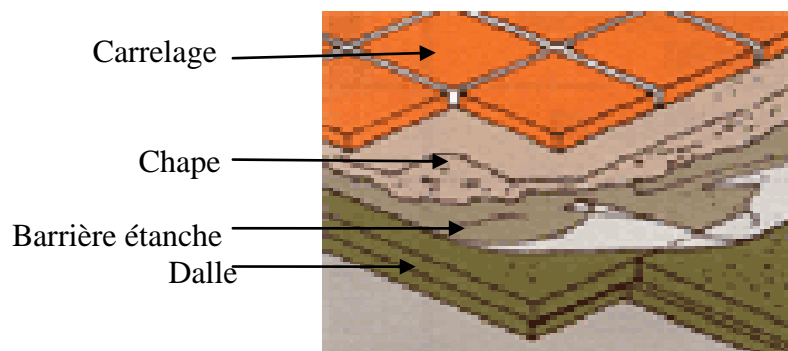


**Figure 6.20 :** Etape de réparation des fenêtres.

### 6.12. Revêtement de sol

L'opération consiste à remplacer l'ancien carrelage pour éviter l'infiltration des eaux de condensation au plancher.

La méthode de remplacement consiste à la mise en place d'un film de polyéthylène ou un caoutchouc liquide pour former une barrière étanche. On coule ensuite une chape - éventuellement armée - sur le film, puis on pose le revêtement de sol (carrelage) et jointé. Isolation et ventilation combinées éviteront l'apparition de condensation au sol.



**Figure 6.21 :** Technique de revêtement de sol.

### **6.13. Le traitement des façades**

Le traitement des façades doit passer par les étapes de réparation précédent (traitement des fissures, enduits, fenêtrés) plus lavage à l'eau sous pression et l'application d'une peinture à base d'eau pour assurer la respiration des murs.

### **6.14. Réparation des équipements**

#### **6.14.1. Eau et assainissement**

- Remplacement de réseaux d'alimentation en eau.
- Installation des nouveaux réservoirs d'eau.
- Remplacement du réseau d'assainissement et d'évacuation des eaux usées.

#### **6.14.2. Electricité**

- Révision d'installation électrique.
- Prévoir un matériel électrique adapté (interrupteurs, prises, éclairage...) au caractère du bâtiment et rechercher avant tout la discrétion et la sobriété.
- Installation de distribution.

### **6.15. Conclusion**

On conclut que d'après le diagnostic établi, il est possible d'appliquer le traitement le plus adéquat à la solution afin de garantir la pérennité de l'ouvrage.

Dans ce chapitre nous avons vu les différentes méthodes de réparation et de confortement. Quelle que soit la méthode, le principe est de rendre les éléments de l'ouvrage (structuraux, non structuraux) à un état parfait et efficace.

Dans tous les cas, le but est de faire en sorte que la structure puisse reprendre à nouveau les charges qui lui sont appliquées voir de pouvoir reprendre un supplément de charge si cela s'avère nécessaire pour que l'ouvrage réponde aux attentes et à l'évolution des besoins des utilisateurs.

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail fut très enrichissant pour nous, car il nous a donné une occasion pour appliquer et approfondir toutes nos connaissances acquises durant le cursus de formation et permet d'atteint l'objectif fixé au départ.

Les missions menées dans le cadre de ce projet de fin d'études ont permis de recenser les principales techniques d'investigation d'ouvrages, il a été souligné l'importance du diagnostic dans le processus de réhabilitation d'un ouvrages, c'est à ce moment que l'on détermine les pathologies présentes ainsi que leur intensité. Cela est nécessaire afin de prodiguer les réparations les plus adaptées ainsi que les protections à mettre en œuvre afin de donner les défenses nécessaires à l'ouvrage.

Ces missions sont structurées dans une méthodologie bien ordonnée, commencée par une recherche bibliographique basé sur les pathologies et la méthodologie d'un bon diagnostic relié avec une description générale du lycée Dr BENZERDJEB qui nous à donné des informations (historique, situation, caractéristiques de sol, matériaux,...) sur le site de projet. Ensuite on a fait une évaluation de l'état actuel du bâtiment qui nous a aidait pour consulté les causes éventuelles des désordres.

Concernant les différentes techniques de réparation, nous appuyons sur les diverses connaissances que nous avons estimé dans les étapes précédentes au cours de l'étude de bâtiment (diagnostic, pathologie). Ces techniques ont pour buts principaux de redonner à chaque élément ses caractéristiques géométriques et également de redonner à la structure ses capacités à reprendre les efforts qui lui sont appliqués. Dans tous les cas de figure il est impératif de préserver l'esthétique de l'ouvrage qui est d'une simple et belle architecture.

On a pu voir les différents modes de protection, leurs utilités, leur mode d'action ainsi que le principe de leur mise en œuvre. Cependant, il est nécessaire de souligner le fait que ce n'est pas suffisant de simplement protéger l'ouvrage, il faut avant tout travailler sur l'origine des désordres, afin d'arrêter le problème à la source.

Enfin, ce travail est une étude intéressante sur un ancien bâtiment de la période coloniale qui a subi des désordres importants. D'autre part, nous souhaitons que après l'exécution de ces travaux de réhabilitation, le bloc peut avoir une nouvelle possibilité de vie et réponde aux attentes et à l'évolution des besoins des utilisateurs.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Carpentier C. (2011)**, L'humidité dans les bâtiments, Mutuelle des Architectes Français [<http://www.pim.be/telechargement/humidite>], consulté le 12/6/2012.
- **Debbal M.Z. & Boumechra N. (1988)**, *Etude géotechnique des désordres de trois établissements de l'éducation à Tlemcen*, Projet de fin d'étude Ingénieur, USTO, 1988.
- **De Nehou L.(2003)**, *La protection des infrastructures et les drainages* [[http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/CoursFond3\\_PROTECTION\\_DRAINAGE-procedes-geraux-de-construction](http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/CoursFond3_PROTECTION_DRAINAGE-procedes-geraux-de-construction)], consulté le 27/06/2012.
- **Djemaa R & Hadj Adda H. (2009)**, *Pathologie de lycée Dr BENZERDJEB*, compte rendu d'expertise de CTC CHLEF.
- **Ministre de l'habitat**. document technique réglementaire DTR B.C. 2.2 *charges permanentes et charges d'exploitations*, Mellak Hachmi ingénieur d'état génie civil.
- Document technique Systèmes d'enduit GREUTOL (2006), Assainissement de fissures [[www.groutol.ch/fileadmin/user\\_upload/pdf/produkte/PDF Assainissement de fissures F\\_05](http://www.groutol.ch/fileadmin/user_upload/pdf/produkte/PDF_Assainissement_de_fissures_F_05)], consulté le 13/05/2012.
- Document réalisé (2008), *Analyse synthétique de l'état du bâti de la cite COLAIRE de TRINITE après le séisme du 29 novembre 2007*, Rédigé par une équipe de professeurs (ingénieurs, architectes).
- **Ghozali F.C. & Tabet Aoul F. (1991)**, *Contribution à l'élaboration de la carte des désordres de la ville de Tlemcen*. Projet de Fin d'Etude . Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur , Université A. Belkaid, Tlemcen (Algérie).
- **Lagier F. (2006)**, *Les murs en maçonnerie*, Lycée de bâtiment et des travaux publics « Saint-Lambert » [[http://www.saintlambert.org/fichiers/cours\\_doc\\_prof\\_corrige](http://www.saintlambert.org/fichiers/cours_doc_prof_corrige)], consulté le 22/05/2012.
- *Le Règlement Parasismiques Algériennes RPA99 version 2003*. Centre national de recherche appliquée en Génie parasismique CGS.
- **Mehadji H. (2003)**, *Expertise géotechnique de pôle « El kiffane »( Université Aboubekr Belkaid Tlemcen)*, Projet de Fin d'Etude sous la direction de Bekkouche A et Djedid A, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur , Université A. Belkaid, Tlemcen (Algérie).

- **Meriah T. & Senoudi K . (1991)**, *Réflexion sur deux cas pathologiques a Tlemcen (bloc dral / MG Wilaya et lycée Dr BENZERDJEB)*, Projet de Fin d'Etude sous la direction de Allal A et Baghli A, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur , Université A. Belkaid, Tlemcen (Algérie).
  
- **Merouane F. (1991)**, *Cas pathologiques (restaurant cité univercitaire - lycée Dr BENZERDJEB)*, Projet de Fin d'Etude sous la direction de Bekkouche A et Mahi M, Département de génie civil, Faculté des Science de l'Ingénieur , Université A. Belkaid, Tlemcen (Algérie).
  
- **Moalic L.A. (2011)**, *Réhabilitation d'ouvrages en béton armé du diagnostic au confortement*, Insa de Strasbourg [[Eprints2.insa-strasbourg.fr/828/4/ANNEXE](http://eprints2.insa-strasbourg.fr/828/4/ANNEXE)], consulté le 17/03/2012.
  
- **Rabah S & Lehmar A.E.K. (05/03/1995)**, *Pathologie de lycée Dr BENZERDJEB*, Rapport d'expertise de CTC CHLEF.
  
- Rapport du laboratoire national de l'habita et de construction LNHC. (1987), *étude géotechnique sur les sites instables a Tlemcen (lycée Dr BENZERDJEB, lycée Commandant Ferradj et l'ITE)*.
  
- Rapport technique / domaine du génie civil et bâtiment, *Réparation du béton due à la carbonatation*, Broquet Raphaël Etudiant conducteur de travaux 3<sup>e</sup> année.
  
- **Renauld H. & Lamirault J. (1993)**, *Béton Armé : Guide de calcul*, Paris (France).
  
- **Rincker V.(2009)**, *Diagnostic de structures existantes du relevé visuel au confortement des ouvrages en passant par les moyens d'investigations des structures en béton*, Insa de Strasbourg [<http://eprints2.insa-strasbourg.fr/509/1/M%C3%A9moire de PFE>], consulté le 05/04/2012.

## Résumé

Une opération de réhabilitation réclame une pensée spécifique et nécessite l'emploi de formules, de mécanismes et des techniques adaptées au site et aux exigences particulières des occupants.

Le présent travail concerne une étude de réhabilitation menée sur l'un des blocs touchés par des désordres au lycée « Dr. BENZERDJEB » à Tlemcen. Cette étude a été débutée par une recherche bibliographique pour recueillir le maximum des informations et techniques concernant la réhabilitation des ouvrages. La description et le diagnostic du lycée nous a offert des informations importantes sur le site du projet étudié. Une autre étape importante du travail présentée concerne l'évaluation de l'état actuel de bâtiment et l'installation du bilan des désordres avec interprétation des mesures effectuées sur place pour détecter et évaluer les causes éventuelles des désordres.

Enfin, ce travail a été finalisé par des propositions concernant les différentes techniques de réhabilitation les plus adaptées au projet.

**Mots clés :** Réhabilitation, pathologie, diagnostic.

## Abstract

A rehabilitation operation requires a specific thought and requires the use of forms, mechanisms, adapted site techniques and specific requirements of the occupants.

The present work concerns a rehabilitation study made on one of the blocks touched by disorders at "Dr. BENZERDJEB" high school in Tlemcen. This study has been begun by a literature review search to collect the maximum of information related to pathologies, disorders and methodology of a correct diagnosis. General description of the school has been then exposed in order to give information on the studied site project. Another important step of the presented work concern the evaluation of the current state of the building and the establishment of disorders plan with interpretation of measurements carried out on site to view the possible causes of disorders.

Finally, this work has been concluded by proposals of the most suitable rehabilitation techniques.

**Key words :** Rehabilitation, pathology, diagnosis.

## ملخص :

عملية إعادة التأهيل تتطلب فكريا محددًا وتتطلب استخدام آليات وأشكال وتقنيات تتكيف مع الموقع والمتطلبات المحددة للمستخدمين.

هذا العمل يتعلق بدراسة تخص واحدة من البنايات تلك المتضررة من اضطرابات في المدرسة الثانوية الدكتور ابن زرجب بتلمسان .

هذه الدراسة بدأت بالبحث لجمع أقصى قدر من المعلومات والتقنيات ذات الصلة بالأمراض والاضطرابات ومنهجية التشخيص الصحيح. الوصف العام للمدرسة أعطى معلومات عن موقع المشروع .

مرحلة اخرى مهمة من العمل أعطت الوصف العام و التشخيص للمدرسة التي أعطت معلومات عن موقع المشروع . ثم تقييم ، إنشاء المبنى الحالي بين اضطرابات التوازن ومع تفسير القياسات التي أجريت من قبل لعرض الأسباب المحتملة للاضطرابات.

انهينا عملنا بمقترحات لإعادة التأهيل وتقنيات مختلفة أكثر ملائمة.

**الكلمات المفتاحية :** عملية إعادة التأهيل , الأمراض , التشخيص.