CONTROLE DE LA QUALITE DES BETONS : CAS DE LA WILAYA DE TIZI OUZOU

Par
Mourad LECHANI
Ingénieur Principal, CTC (*) Tizi Ouzou
Nacer Eddine HANNACHI
Maître de Conférences, Université de Tizi Ouzou
Nadia YANTREN
Ingénieur en Génie civil, Université de Tizi Ouzou

Résumé

Cette étude a pour but de sensibiliser sur les problèmes posés par la qualité des bétons, et plus particulièrement sur les plus préoccupants d'entre eux.

Nous nous sommes assignés à étudier 4 180 résultats d'écrasement d'éprouvettes de béton à 7, 14, 21 et 28 jours issues de diverses régions de la wilaya de Tizi Ouzou, et analysées durant la décennie 1983-1993.

Notons que ces résultats sont des valeurs moyennes (de 3 éprouvettes de béton).

Des recommandations sont suggérées pour améliorer la qualité des bétons.

Mots clés : béton • contrôle • statistique.

1 METHODE DE TRAVAIL

L'étude statistique portera seulement sur la période 1988-1993 dans la mesure où nous ne disposons pas d'un éventail appréciable et fiable de résultats pour la période 1983-1987, comme indiqué sur le tableau 1.

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
7 j	6	7	15	11	64	287	241	139	193	109	88
14 j	1	5	8	4	47	223	121	86	113	85	196
21 j	0	3	7	0	39	194	76	35	84	50	102
28 j	7	11	11	10	84	351	241	188	263	169	206

Tableau 1 : Répartition du nombre d'écrasements d'éprouvettes sur la décennie 1983-1993 à 7, 14, 21 et 28 jours.

2 DISTRIBUTION DES RESISTANCES fcj

Nous donnons à la figure 1 les histrogrammes des pourcentages des résultats à 7, 14, 21 et 28 jours,

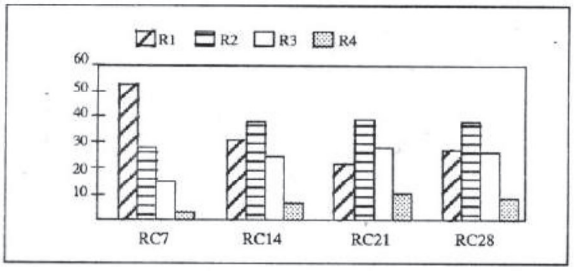


Figure 1 : Distribution des résistances dans les intervalles R1, R2, R3, et R4.

répartis en fonction des étendues des classes de normes de résistance que nous définissons au tableau 2.

Classes	I(R1) en bars	II(R2) en bars	III(R3) en bars	IV(R4) en bars
fc_{28}	R > 250	200 < R ≤ 250	150 ≤ R ≤ 200	R < 150
fc_{21}	R > 230	190 < R ≤ 230	140 ≤ R ≤ 190	R < 140
fc_{14}	R > 200	160 < R ≤ 200	120 ≤ R ≤ 160	R < 120
fc_{7}	R > 150	120 < R ≤ 150	90 ≤ R ≤ 120	R < 190

Tableau 2 : Différentes classes de résistances.

Soit :

- classe I (R1) : les bétons peuvent être considérés comme bons et l'ingénieur peut se dispenser des vérifications de calcul,
- classe II (R2) : les bétons peuvent être considérés comme acceptables à condition de procéder à des vérifications de calcul avec la nouvelle résistance,
- classe III (R3) : les résultats du béton sont inacceptables, un confortement de la structure s'impose,
- classe IV (R4) : les bétons sont très faibles, et l'ouvrage ne peut être considéré en béton armé. Une étude de faisabilité s'impose pour choisir entre le confortement et la démolition de l'ouvrage.

(*) Contrôle Technique des Constructions.

L'allure de chaque histogramme est quelconque. Nous remarquons durant les premiers âges de durcissement (à 7 jours) une forte concentration de bonnes valeurs R1 (soit 52% supérieures à 150 bars). Aux âges plus élevés 14, 21 et 28 jours, la forte concentration (37% en moyenne) se produit dans l'intervalle de la classe de résistance plutôt moyenne R2.

Remarques

a) La figure 2, illustre l'évolution de la résistance caractéristique en fonction de l'âge du béton jusqu'à 28 jours, ce que nous comparons à la formule empirique suivante donnée par le BAEL (Article A-2-1-11) :

$$fcj = 0.685\ fc_{28}\ Log\ (j + 1) \qquad j \leq 28 \text{ jours.}$$

Nous constatons la concordance satisfaisante des résultats à 7 jours, sauf pour les âges élevés où l'écart relatif à 28 jours est de 11% ; ceci est dû à une "prise" lente du ciment. Des essais à 90 jours doivent être effectués pour une conclusion fiable.

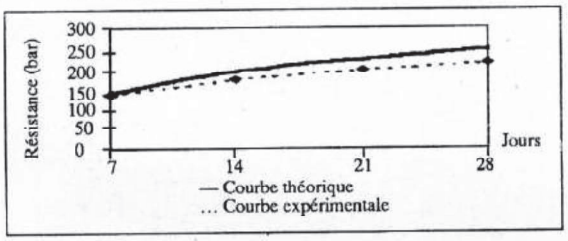


Figure 2 : Variation de la résistance du béton en fonction de l'âge.

b) Le tableau A1 (Annexe A), montre d'une part que les résistances caractéristiques moyennes à 28 jours sur la période 1988-1993 n'atteignent pas la résistance préconisée par la réglementation, et d'autre part, que ces résistances décroissent d'année en année. Cette chute de résistance semble être due à la qualité médiocre des agrégats utilisés (sable non conforme aux normes, suite à une interdiction d'extraction de sable de rivière à partir de 1991 dans un souci de protection de la nappe phréatique). Par ailleurs, il semble exagéré d'adopter dans les calculs une résistance de 270 bars sans que celle-ci puisse être atteinte, il s'impose donc :
- soit de prendre toutes les décisions techniques relatives à l'élaboration du béton, permettant d'atteindre la résistance préconisée par la réglementation,
- soit de porter des aménagements à la réglementation où nous proposons une valeur, à 28 jours, de l'ordre de 230 bars.

2.1 Distribution des résistances fcj par région

Afin d'analyser la régularité de distribution des résultats, nous avons subdisé la wilaya de Tizi Ouzou en 5 régions LNI (Larbâa Nath Irathen), Azazga, DEM (Draa El Mizan), TO (Tizi Ouzou) et Tigzirt (voir annexe C1). La répartition du nombre des résultats s'effectue comme indiqué au tableau ci après :

	LNI	Azazga	DEM	T O	Tigzirt
AJ7	104	126	120	691	47
AJ14	92	146	73	453	25
AJ21	63	71	50	352	17
AJ28	141	189	140	842	55
Pourcentage(%)	10.6	14	10	61.6	3.8

Tableau 3 : Distribution du nombre de résultats par région.

Nous remarquons que le plus grand pourcentage des valeurs est bien concentré dans la région de Tizi Ouzou soit 61.6% suivie de très loin avec 14% par la région d'Azazga. C'est Tigzirt avec 3.8% qui possède le nombre le plus faible de prélèvements en raison du nombre assez réduit de projets de construction et le nombre considérable de chantiers à l'arrêt. Ce fort pourcentage dans la région de Tizi Ouzou s'explique par le fait qu'elle est le chef lieu de wilaya.

Classe Région	R4	R3	R2	R1
LNI	2	3.7	3	1.7
Azazga	1.3	3.14	5.4	4
DEM	1.7	2.5	2.73	2.3
T O	4.1	14.8	24	18.8
Tigzirt	0.14	0.5	2.26	1.1

Tableau 4 : Pourcentage du nombre de valeurs de résistance à 28 jours suivant les régions et les intervalles de résistance R1, R2, R3 et R4.

Le tableau 4 montre le pourcentage du nombre des valeurs de résistance à 28 jours dans chaque région et selon les classes de résistances R1, R2, R3 et R4. L'histogramme correspondant est représenté à la figure 3. Il ressort que la forte concentration des valeurs se

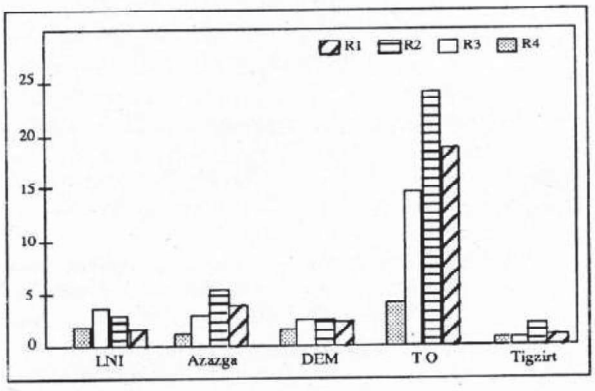


Figure 3 : Distribution des résistances en pourcentage dans les intervalles R1, R2, R3 et R4 en fonction des régions (à 28 jours).

situe dans l'intervalle de la classe de résistance moyenne R2 sauf à LNI, région particulièrement montagneuse et très accidentée où le grand nombre est situé dans la classe des ouvrages nécessitant a priori un confortement. Cela montre que la valeur de 250 bars, seuil minimum des bonnes valeurs, est rarement atteinte, très loin en l'occurrence de la résistance caractéristique de 270 bars utilisée comme référence dans le calcul des ouvrages en béton armé.

Par ailleurs, les valeurs des résistances sont très éparpillées. Comme nous le montrons (Tableau A2 annexe A), les écarts-types sont parfois très importants allant jusqu'à 85 bars. Ce qui explique comparativement aux écarts-types usuels (Tableau 5) l'irrégularité dans la fabrication et l'inefficacité si ce n'est même l'existence complète du domaine de contrôle.

	Ecart-types en (bars)	
Fabrication	par lot	global
Très régulière et bien contrôlée	< 30	< 50
Régulière et bien contrôlée	30 à 40	50 à 60
Irrégulière, contrôle inefficace ou inexistant	50 à 60	≥ 70

Tableau 5 : Valeurs usuelles de l'écart-type [1].

2.2 Distribution des résistances en fonction des conditions climatiques

Il s'agit dans cette section de voir comment agissent les paramètres climatiques sur la résistance mécanique du béton à savoir la température et les conditions hygrométriques. Les courbes des figures 4a, 4b et 4c, donnent la variation mensuelle respectivement des résistances, de la température et de la pluviométrie. Nous constatons l'influence effective des conditions climatiques sur le comportement du béton. En effet, la forte concentration des valeurs se situe dans la période allant du mois d'octobre au mois d'avril, période de forte pluviométrie et d'abaissement relatif important de la température dans le nord de l'Algérie (le maximum étant enregistré au mois de janvier où la température moyenne est de l'ordre de 8°C).

Ces aspects ont été précisés lors du séminaire international tenu à Ghardaïa (*). Les différentes communications ont porté sur l'influence réelle des conditions climatiques sur les ouvrages en béton armé réalisés en Algérie. Cela peut s'expliquer d'abord par la température qui joue un grand rôle dans la réaction d'hydratation en accélérant non seulement la réaction mais en changeant la nature des hydrates formés dans le béton. Concernant les conditions hygrométriques relatives à la pluviométrie, la cure à l'humidité est nécessaire pour maintenir le processus d'hydratation du ciment qui se fait en état de saturation d'une manière continue, et qui s'accompagne d'un remplissage des capillaires par les amas d'hydrates formés. La porosité de la pâte se voit alors réduite, garantissant ainsi une quantité satisfaisante du développement de la résistance du béton.

Kenai [2] montre que l'une des principales raisons de chute de résistance du béton dans la période estivale serait due à l'utilisation excessive d'eau de gâchage qui est généralement supérieure à 170 l/m^3, soit avec un rapport E/C supérieur à 0.5 atteignant parfois 0.74 (Kenai et al, 1994). En conséquence, les bétons à l'état frais ou durcis doivent être protégés pendant un certain temps afin d'éviter la formation des fissures suite notamment à l'évaporation d'eau, en soulignant aussi que la meilleure des cures est le maintien des coffrages.

Les principales précautions à prendre en considération lors du bétonnage sont les suivantes :

- par temps chaud : limiter à la fabrication la température du béton, limiter le dosage en eau par les adjuvants ad hoc, limiter l'évaporation du béton en cours de prise en bétonnant au petit jour même la nuit,
- par temps froid : s'assurer que les granulats ne sont pas gelés, éviter l'emploi de ciment trop faiblement exothermique, prévoir un accélérateur de prise, éviter l'excès d'eau de gâchage.

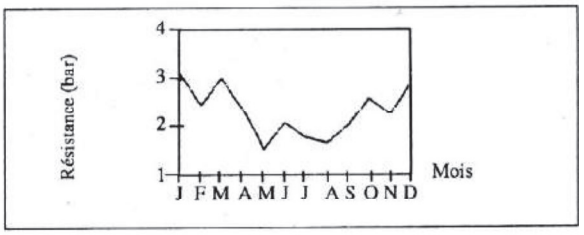


Figure 4a : Distribution mensuelle des résistances à 28 jours de classe I (R1).

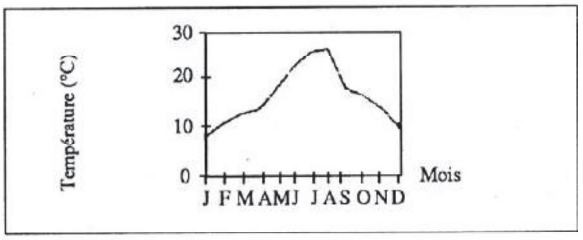


Figure 4b : Variation mensuelle de la température.

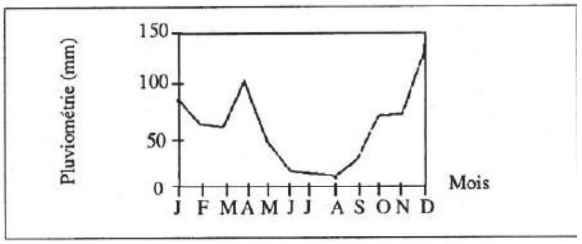


Figure 4c : Variation mensuelle de la pluviométrie.

(*) Séminaire International sur la qualité du béton en climat chaud, Ghardaïa (Algérie), Mars 1994.

2.3 Influence des conditions de transport, des moyens de fabrication et de coulage du béton

a) Transport

Mode de coulage	Nbre d'observations	Résistance caractéristique (bars)
Sur place	1 241	221
Transporté	302	205

Tableau 6 : Influence du transport.

La résistance des bétons des éléments coulés sur place est supérieure (10% environ) à ceux transportés à une distance supérieure à un rayon de 5 km. La cause plausible serait due au problème de la ségrégation du mélange suite aux sollicitations diverses (secousses, heurts, vibrations, etc) que subit le béton frais lors de son déplacement (s'effectuant habituellement par des camions malaxeurs) depuis le point de fabrication jusqu'à l'endroit où il doit être mis en place.

b) Moyens de fabrication

Provenance	Nbre d'observations	Résistance caractéristique (bars)
Bétonnière	831	228
Centrale	712	215

Tableau 7 : Influence des moyens de fabrication.

Quelle que soit la provenance du béton, la résistance des bétons reste toujours inférieure à celle préconisée par la réglementation (270 bars), ce qui s'explique par le fait que les centrales à béton ne font pas l'objet d'un contrôle régulier, et par l'absence des essais de convenance particulièrement pour les bétonnières.

c) Moyens de coulage

Moyens de coulage	Nbre d'observations	Résistance caractéristique (bars)
Grue	1 007	226
Pompe	536	215

Tableau 8 : Influence des moyens de coulage.

Le procédé de coulage à la grue donne des résultats sensiblement meilleurs (environ 5%) par rapport au coulage à la pompe, un fait que nous attribuons aux inconvénients multiples du procédé de pompage qui nécessite principalement :

- l'entretien régulier des canalisations et de la pompe après chaque usage, nettoyage bien soigné et graissage,
- la composition granulométrique bien particulière ; en effet pour être "pompable", le béton doit présenter certaines qualités :
  * avoir de préférence une courbe granulométrique assez continue,
  * présenter une bonne cohésion et un faible ressuage,
  * être bien plastique (affaissement supérieur ou égal à 12 cm).

3 ANALYSE STATISTIQUE

a) Test du Khi-2

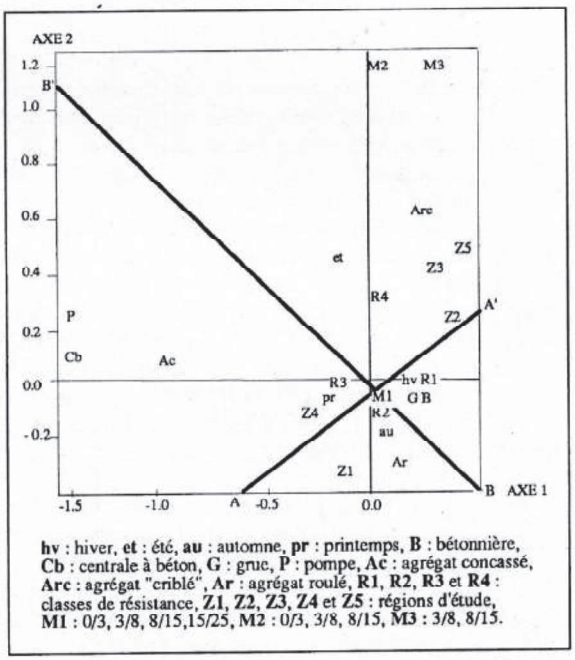
Le tableau 9, nous donne la dépendance de certains paramètres avec la résistance du béton.

Variables	χ^2 théorique	ddl	χ^2 calculé	Conclusion
Niveaux	33.40	18	28.9	Indépendant
Eléments	23.02	18	28.9	Dépendant
Saisons	31.65	33	43.8	Dépendant
Nature agrégats	10.46	6	12.6	Dépendant
Granulométrie	9.69	6	12.6	Dépendant
Provenance	7.81	3	9.65	Dépendant
Mise en œuvre	7.81	3	8.08	Dépendant

Tableau 9 : Relation entre la résistance du béton et les paramètres.

b) Analyse factorielle des correspondances multiples

La figure 5, illustre les différents paramètres influant sur la résistance du béton. Le graphe peut être décomposé en quatre plans distincts de part et d'autre des deux droites AA' et BB', où chacun des plans comporte la modalité résistance (Ri).



hv : hiver, **et** : été, **au** : automne, **pr** : printemps, **B** : bétonnière, **Cb** : centrale à béton, **G** : grue, **P** : pompe, **Ac** : agrégat concassé, **Arc** : agrégat "criblé", **Ar** : agrégat roulé, **R1, R2, R3** et **R4** : classes de résistance, **Z1, Z2, Z3, Z4** et **Z5** : régions d'étude, **M1** : 0/3, 3/8, 8/15,15/25, **M2** : 0/3, 3/8, 8/15, **M3** : 3/8, 8/15.

Figure 5 : Différents facteurs influant sur la résistance.

4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce présent travail permet de mettre en relief les différents problèmes posés par la qualité des bétons. Nous montrons notamment par le biais de la statistique, comment agissent sur la résistance mécanique du

béton, certains facteurs les plus préoccupants tels que le transport (par camion malaxeur), les moyens de fabrication (bétonnière, centrale à béton), les moyens de coulage (grue, pompe) et l'influence des conditions climatiques ou de l'environnement (température, pluviométrie). Les enseignements à tirer se résument comme suit :

- les résistances caractéristiques à 28 jours n'atteignent pas celles préconisées par les normes,
- l'irrégularité des résistances relativement à l'homogénéité du béton (pour l'ensemble des chantiers),
- le non respect des règles élémentaires de confection des éprouvettes en béton,
- l'utilisation abusive des matériaux de substitution dans la composition des bétons sans que ces derniers ne répondent aux normes,
- l'influence considérable de la température sur la chute de la résistance des bétons,
- la décroissance de la résistance des bétons en fonction de la hauteur des immeubles (pompe qui s'avère non parfaitement maîtrisable comme moyen de coulage sur chantier),
- l'influence effective du transport (emploi dans la plupart du temps de camions malaxeurs) sur la résistance des bétons à partir d'une distance supérieure à un rayon de 5 km,
- le contrôle non régulier des centrales à bétons et l'absence d'essais de convenance pour une majorité des chantiers.

Concernant les recommandations, nous mentionnons principalement :

- l'exigence d'un contrôle sévère des qualifications des entreprises,
- l'exercice du contrôle du béton à tous les niveaux de la chaîne de bétonnage à savoir : le choix des constituants, le stockage, le dosage, le malaxage, le transport et la mise en place du béton y compris la cure,
- la confection des éprouvettes de béton uniquement par un personnel qualifié,
- la généralisation de l'utilisation des adjuvants dans la composition du béton en particulier en période de chaleur et lors du transport,
- la création d'un organisme spécialisé dans le domaine des statistiques appliquées au génie civil,
- la proposition d'une fiche de synthèse d'identification comme modèle servant à relever les différentes informations techniques pour faciliter et organiser une banque de données (Annexe B),
- présentation des cartes d'identification des régions et des localités suivant les classes de résistances (Annexe C2 et C3),
- la création d'une banque de données à l'échelle nationale pour maîtriser les différents paramètres influant sur la qualité des bétons. Cette banque de données à caractère national permettrait alors à tous les intervenants dans l'acte de bâtir de se concerter pour améliorer de façon générale la qualité des bétons en apportant éventuellement certains aménagements à la réglementation en vigueur ❹

BIBLIOGRAPHIE

[1] G. Dreux : "*Nouveau guide de béton*". pp 67, Edition Eyrolles, Paris, France, 1990.

[2] S. Kenai & B. Menadi : "*Analyse de quelques cas pathologiques dans le sud algérien*". Actes du Séminaire International sur la qualité du béton en climat chaud, pp.146, Ghardaïa, Algérie, 1994.

[3] Z. Graine & N. Yantren : "*Etude statistique et contrôle de la qualité des bétons*". Cas de la wilaya de Tizi Ouzou, mémoire de fin d'études, Université de Tizi Ouzou, 1994.

ANNEXE A

	Variable	1988	1989	1990	1991	1992	1993
AJ7	nombre d'observations	287	241	139	193	109	88
	moyenne	185.01	198.39	201.65	203.75	189.09	188.62
	écart-type	60.34	47.72	54.03	53.05	71.58	43.88
	résistance caractéristique	136.73	160.21	158.42	161.31	131.82	153.51
AJ14	nombre d'observations	223	121	86	113	65	196
	moyenne	221.02	220.40	236.69	233.69	236.84	233.98
	écart-type	54.77	67.04	63.28	67.34	52.48	45.78
	résistance caractéristique	177.20	166.76	185.95	179.81	194.85	197.35
AJ21	nombre d'observations	194	76	35	84	50	102
	moyenne	262.07	242.80	254.86	252.25	240.48	251.50
	écart-type	55.51	44.64	62.13	51.19	68.70	61.65
	résistance caractéristique	217.59	207.08	205.15	211.29	185.52	292.18
AJ28	nombre d'observations	351	241	188	263	169	206
	moyenne	288.25	275.03	273.45	277.75	259.88	272.58
	écart-type	69.84	64.01	67.72	67.66	62.88	66.25
	résistance caractéristique	232.37	223.82	219.27	223.62	209.57	219.58

Tableau A1 : Ecart-type et résistance caractéristique en fonction de l'âge du béton (en bars).

Régions	Caractéristiques	Années					
		1988	1989	1990	1991	1992	1993
Larbâa Nath Irathen	n	21	22	20	8	20	32
	Fc	322.50	266.90	222.90	303.70	258.00	266.70
	S	57.40	83.50	53.30	77.50	66.20	62.00
	Fck	186.60	200.10	180.30	241.70	205.00	217.10
Azazga	n	5	21	33	45	22	48.00
	Fc	160.40	274.90	288.50	278.00	278.20	295.90
	S	47.40	69.30	76.00	65.10	39.70	59.70
	Fck	122.60	219.50	227.80	225.90	246.50	250.00
Drâa El Mizan	n	7	17	14	26	19	31
	Fc	235.60	286.60	244.50	263.00	233.60	256.70
	S	49.30	86.00	57.20	78.10	64.90	50.80
	Fck	196.20	217.80	198.80	200.60	181.80	216.00
Tizi Ouzou	n	315	169	113	174	99	82
	Fc	295.20	274.10	280.10	278.30	259.20	264.90
	S	67.40	58.40	65.80	67.00	63.50	74.25
	Fck	241.30	227.30	227.50	224.70	208.50	205.50
Tigzirt	n	3	12	8	10	9	13
	Fc	288.00	288.10	295.70	286.30	282.80	288.00
	S	40.50	44.40	16.80	39.30	69.00	52.60
	Fck	255.70	252.60	282.90	254.90	227.70	246.00

Tableau A2 : Variation des écarts-types (S) selon les régions (à 28 jours et en bars).

ANNEXE B

Fiche d'identification utilisée pour l'étude

CIMENT : Provenance : ....., Nature : ....., Classe : .....

BETON : Dosage : ..... m^3, Centrale à béton☐ Bétonnière ☐ Pompe ☐ Grue☐ ,

EAU : ..... litres Distance du lieu de coulage : ..... km

AGREGATS : Nature : Roulé ☐ Concassé ☐, Granularité : . /.,. /.,. /.

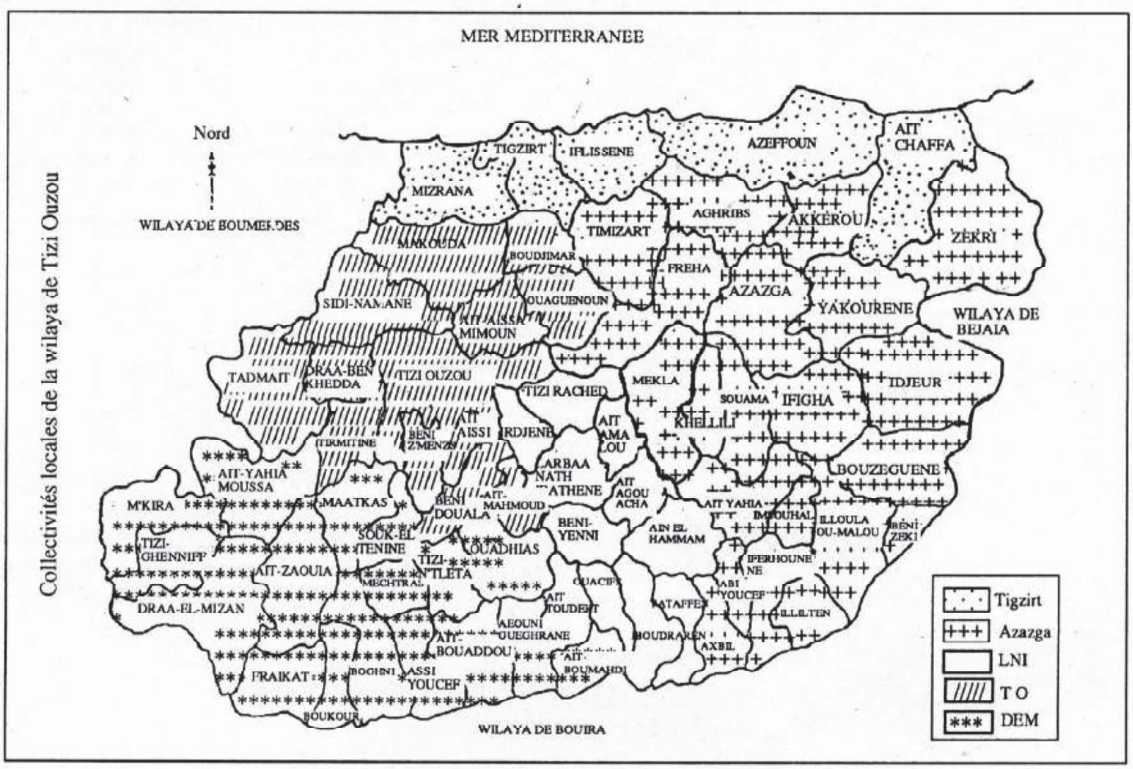
Gisement carrière : Sable : Mer ☐ Oued ☐

Chantier : ....., Dossier : ....., Entreprise : ..... B.E.T. : .....,

Maître d'ouvrage : ....., Bâtiment : ....., Bloc : .....

Eléments		Année	Mois	07 j	14 j	21 j	28 j	Essai de convenance	Température	Observation
Fondation	Semelle									
	Amorce									
	Longrine									
RdC	DPVS									
	P.Voile									
	Plancher									
Etage 1	P.Voile									
	Plancher									
Etage 2	P.Voile									
	Plancher									
Etage 3	P.Voile									
	Plancher									
Etage 4	P.Voile									
	Plancher									
Etage 5	P.Voile									
	Plancher									

ANNEXE C1 : Identification des régions.



ANNEXE C2 : Identification des régions selon les classes de résistance.



ANNEXE C3 : Identification des localités selon les classes de résistance.

