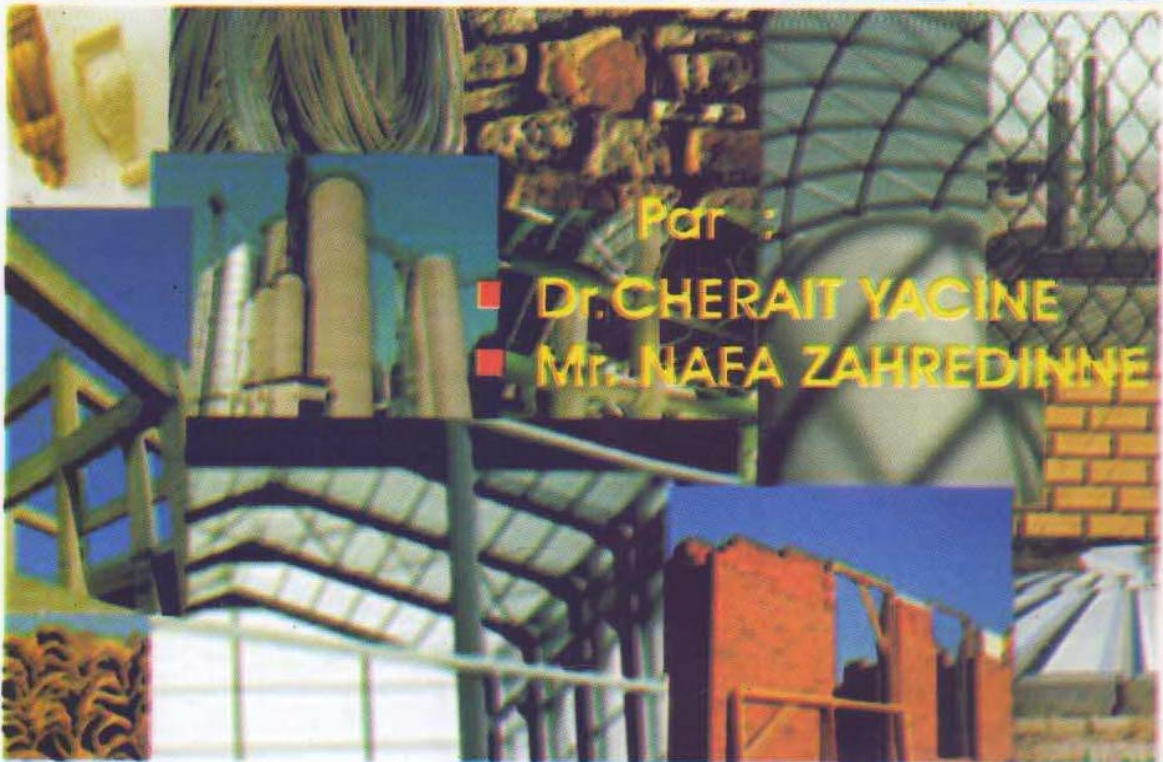




UNIVERSITE 8 MAI 45 GUELMA

Collection : Le livre de Génie Civil



Par :

- Dr. CHERAIT YACINE
- Mr. NAFA ZAHREDINNE



DIRECTION DE LA PUBLICATION UNIVERSITAIRE DE GUELMA 2007

D. P. U. G.

Table des matières

Chapitre I : LES GRANULATS

I.	ORIGINE GEOLOGIQUE DES GRANULATS.....	1
I.1.	Classement des roches.....	1
I.1.1.	<i>Les roches éruptives.....</i>	1
I.1.2.	<i>Les roches métamorphiques.....</i>	2
I.1.3.	<i>Les roches sédimentaires.....</i>	2
I.2.	Définition d'un granulats.....	3
II.	CLASSIFICATIONS DES GRANULATS.....	3
II.1.	Classification selon la provenance.....	3
II.1.1.	<i>Les granulats roulés.....</i>	3
II.1.2.	<i>Les granulats naturels d'origine industrielle.....</i>	4
II.1.3.	<i>Les granulats lourds.....</i>	4
II.1.4.	<i>Les granulats légers.....</i>	4
II.1.5.	<i>Les granulats réfractaires.....</i>	6
II.1.6.	<i>Les granulats recyclés.....</i>	6
II.2.	Classification des granulats selon leur taille.....	6
II.3.	Classification des granulats selon leur masse volumique.....	7
III.	EXTRACTION ET FABRICATION DES GRANULATS.....	7
III.1.	Granulats naturels.....	7
III.1.1.	<i>Les sables de mer.....</i>	7
III.1.2.	<i>Les granulats de rivières.....</i>	8
III.1.3.	<i>Les granulats de carrière à ciel ouvert.....</i>	8
III.2.	Les granulats concassés.....	8
III.2.1.	<i>Extraction de la roche.....</i>	8
III.2.2.	<i>Concassage et broyage de la roche.....</i>	9
III.2.3.	<i>Criblage du produit concassé.....</i>	9
III.2.4.	<i>Lavage des granulats.....</i>	9
III.2.5.	<i>Définage à sec.....</i>	9
III.3.	Fabrication des granulats légers.....	10
III.3.1.	<i>Les pouzzolanes.....</i>	12
III.3.2.	<i>Les perlites.....</i>	12
III.3.3.	<i>Les vermiculites.....</i>	13
III.3.4.	<i>L'argile expansée.....</i>	14
III.3.5.	<i>Les schistes.....</i>	16

II

III.3.6. <i>Le laitier expansé</i>	16
IV CONDITIONS REQUISES POUR L'UTILISATION DES GRANULATS EN CONSTRUCTION.....	17
IV.1. Critère de choix des granulats.....	18
V. ROLE DES GRANULATS DANS LE BETON.....	22
V.1. Les sables.....	22
V.2. Les gravillons et cailloux.....	22
V.3. Les graves.....	23
VI. ESSAIS SUR LES GRANULATS.....	23
VI.1. Caractéristiques physiques.....	23
VI.1.1. <i>Analyse granulométrique</i>	23
VI.1.2. <i>Masses volumiques</i>	34
VI.1.3. <i>Compacité et porosité d'un granulat</i>	37
VI.1.4. <i>Teneur en eau</i>	39
VI.1.5. <i>Foisonnement du sable</i>	40
VI.1.6. <i>Mesure de la propreté des granulats</i>	41
VI.1.7. <i>Absorption d'eau</i>	45
VI.1.8. <i>Détermination de la forme des granulats</i>	45
VI.2. Propriétés mécaniques.....	50
VI.2.1. <i>Dureté</i>	50
VI.2.2. <i>Recherche des impuretés dans les granulats</i>	54
VI.3. Propriétés chimiques.....	56
VI.3.1. <i>Réaction alcali-silice</i>	56

Chapitre II : LES CIMENTS

I. HISTORIQUE ET DEVELOPPEMENT.....	67
II. PRINCIPE DE FABRICATION.....	68
II.1. Procédés de fabrication du ciment.....	69
II.1.1. <i>Procédé par voie humide</i>	69
II.1.2. <i>Procédé par voie semi - humide</i>	69
II.1.3. <i>Procédé par voie sèche</i>	69
II.1.4. <i>Procédé par voie semi - sèche</i>	70
II.2 Emballage du ciment.....	73
II.3. Marquage des ciments.....	73
III. CONSTITUANTS DE BASE DU CIMENT.....	74
III.1. Le clinker.....	74
III.2. Constituants secondaires.....	76
III.2.1. <i>Le laitier de haut fourneau</i>	76
III.2.2. <i>Les cendres volantes</i>	77

112	III.2.3. Les pouzzolanes (P).....	77
117	III.2.4. Les fumées de silice (D).....	77
118	III.2.5. Les schistes calcinés.....	78
130	III.2.6. Les calcaires.....	78
151	III.2.7. Les fillers(F).....	78
152	III.2.8. Le sulfate de calcium.....	78
153	III.2.9. Les additifs.....	79
	III.3. Composition chimique potentielle d'un ciment.....	79
	III.4. Réactions d'hydratations.....	80
	III.4.1. Hydratation de l'aluminate (C3A).....	80
	III.4.2. Hydratation de la phase ferrite.....	81
	III.4.3. Hydratation des silicates.....	81
	III.5. Indice d'hydraulicité.....	82
	III.6. Dégagement de chaleur pendant la prise.....	82
	III.7. Couleur des ciments.....	83
	IV. CLASSIFICATION NORMALISEES DES CIMENTS.....	83
	IV.1. Classification d'après la composition.....	83
	VI.1.1. Ciment portland.....	84
	VI.1.2 Ciment de haut fourneau (CHF).....	84
	VI.1.3. Ciment pouzzolanique.....	84
	VI.1.4. Ciment au laitier et aux cendres.....	85
	IV.2. Classification des ciments d'après leur classe de résistance...86	
	IV.3. Spécifications chimiques.....	86
	IV.4. Ciments spéciaux.....	87
	VI.4.1. Ciment de laitier à la chaux (CLX).....	88
	VI.4.2. Ciment à maçonner (CM).....	88
	VI.4.3. Ciment prompt naturel (CNP).....	88
	VI.4.4. Ciment alumineux fondu (CA).....	89
	VI.4.5. Ciment pour travaux dans les milieux moyennement agressifs.....	90
	VI.4.6. Ciment à faible chaleur d'hydratation initiale.....	90
	VI.4.7. Chaux hydrauliques naturelles (XHN).....	91
	VI.4.8. Chaux hydraulique artificielles (XHA).....	91
	IV.5. Désignation normalisée des ciments.....	91
	IV.6. Critères de choix des ciments.....	91
	V. ESSAIS SUR LES CIMENTS.....	93
	V.1. Propriétés physiques du ciment.....	93
	V.1.1. Mesure de la masse absolue.....	93
	V.1.2. Mesure de la surface spécifique.....	96
	V.1.3. Mesure de la réactivité des ciments.....	102
	V.1.4. Retrait de la pâte de ciment.....	113
	V.1.5. Essais d'expansion des ciments.....	115

IV

V.2. Essais mécaniques sur les ciments.....	115
V.2.1. Résistance en traction.....	117
V.2.2. Résistance en compression.....	118
V.3. Essais chimiques.....	120
V.3.1. Détermination du résidu soluble dans l'acide chlorhydrique et le carbonate de sodium..	121
V.3.2. Dosage gravimétrique du sulfate.....	122
V.3.3. Détermination de la perte au feu.....	123

Chapitre III : LE PLATRE

I. INTRODUCTION.....	135
II. ORIGINE DU PLATRE.....	136
II.1. Définition.....	136
II.2. Origine du gypse.....	136
II.2.1. Exploitation du gypse.....	136
III. FABRICATION DU PLATRE.....	137
III.1. Concassage de la pierre.....	137
III.2. Cuisson du gypse.....	139
III.2.1. Procédé par voie sèche.....	139
III.2.2. Procédé par voie humide.....	141
III.3. Refroidissement.....	142
III.4. Broyage.....	143
III.5. Mélange.....	143
IV. LES DIFFERENTS PLATRES.....	143
IV.1. Le plâtre ordinaire.....	143
IV.2. Le plâtre à haute résistance.....	144
IV.3. Produits normalisés.....	144
V. UTILISATION DU PLATRE DANS LE BATIMENT.....	145
V.1. Les enduits.....	145
V.2. Les enduits spécial feu.....	146
V.2. Les éléments préfabriqués.....	147
V.2.1. Les carreaux de plâtre.....	147
V.2.2. Plaque de plâtre.....	147
V.2.3. Eléments préfabriqués pour plafond.....	148
V.2.4. Eléments à enduire pour cloisons et plafonds.....	148
V.2.4. Eléments spéciaux.....	149
VI. CARACTERISTIQUES DU PLATRE.....	149
VI. Caractéristiques physiques	149
VI.1.1. Masse volumique absolue.....	149

VI.1.2. Masse volumique apparente du plâtre en poudre.....	149
VI.1.3 surface spécifique de blaine.....	150
VI.2 Caractéristiques mécaniques.....	150
VI.1.2 Plâtre frais.....	150
VI.2.2 Plâtre durci.....	153
VI.2.3 Variations dimensionnelles.....	159

Chapitre IV : LES ADJUVANTS

I. DEFINITION.....	163
I.1. Classification des adjuvants.....	164
I.1.1. Les plastifiants.....	164
I.1.2. Les fluidifiants.....	164
I.1.3. Les entraîneurs d'air.....	167
I.1.4 Les accélérateurs de prise.....	168
I.1.5. Les retardateurs de prise.....	171
I.1.6. Les hydrofuges.....	171
I.1.7. Les adjuvants pour injection.....	172
I.1.8. Les antigels et antigélifs.....	173
I.1.9. Les produits de cure.....	173
I.1.10. Les produits de reprise.....	173
I.2. Stockage des adjuvants.....	175
I.3. Contrôle de qualité des adjuvants.....	175
I.4. Applications et problèmes généraux.....	176

Chapitre V : LES BETONS

I. INTRODUCTION.....	183
I.1. Composants du béton.....	183
I.1.1. Les ciments.....	183
I.1.2. Les granulats.....	186
I.1.3. Eau de gâchage.....	186
II. COMPOSITION DES BETONS.....	190
II.1. Facteurs agissant sur la résistance et l'ouvrabilité.....	191
II.1.1. Importance de la compacité et du rapport E/C.....	191
II.1.2. Dimension maximale des granulats.....	193

II.1.3. Dosage en ciment.....	197
II.2. Méthodes de compositions des bétons.....	197
II.2.1. Méthodes à granulométrie continue.....	198
II.2.2. Méthodes à granulométrie discontinue.....	205
II.2.3. Méthode applicable aux bétons continus et discontinus.....	206
II.2.4. Méthodes de Baron - Lesage.....	211
II.2.5. Méthode rapide de composition : méthode CES.....	226
II.2.6. Etude comparative des méthodes de compositions.....	227
III. PROPRIETES DU BETON FRAIS.....	229
III.1. Mesure de la densité réelle du béton frais.....	229
III.2. Détermination de la quantité d'eau réelle.....	230
III.3. Proportions des divers constituants.....	230
III.4. Mesure de la maniabilité.....	231
III.4.1. Essai d'affaissement.....	232
III.4.2. Essai maniabilimètre LCL.....	233
III.4.3. Essai Flow-test.....	235
III.4.4. Essai Vé.Bé.....	236
III.4.5. Essai Glanville.....	237
III.5. Mesure de la teneur en air occlus.....	238
IV. PROPRIETES DU BETON DURCI.....	239
IV.1. Résistances mécaniques.....	239
IV.1.1. Résistance en compression.....	241
IV.1.2. Résistance en traction.....	251
IV.1.3. Résistance en flexion.....	255
IV.1.4. Détermination du module d'élasticité.....	258
IV.1.5. Mesure du coefficient de poisson.....	260
IV.2. Mesure de la porosité ouverte.....	261
IV.3. Dilatation thermique.....	263
IV.4. Déformations différées du béton.....	263
IV.4.1. Le fluage.....	264
IV.4.2. Le retrait.....	267
IV.5. Autres propriétés du béton.....	270
IV.5.1. Résistance en milieu agressif.....	270
IV.5.2. Résistance au gel.....	270
IV.5.3. Résistance au feu.....	270
V. ESSAIS NON DESTRUCTIFS.....	273
V.1. Le scléromètre.....	274
V.2. Les ultra-sons.....	275
VI. COMPORTEMENT MECANIQUE DU BETON.....	279

VI.1.	Comportement du béton en traction.....	279
VI.1.1.	<i>Réponse à vitesse de chargement constante</i>	279
VI.1.2.	<i>Réponse à vitesse de déformation constante</i>	280
VI.2.	Comportement du béton en compression.....	282
VI.2.1.	<i>Réponse à vitesse de chargement constante</i>	282
VI.2.2.	<i>Réponse à vitesse de déformation constante</i>	282
VI.2.3.	<i>Loi de comportement réglementaire</i>	283
VI.3.	Comportement du béton en sollicitations bi-axiales.....	284
VI.3.1.	<i>Sollicitation compression – traction</i>	285
VI.4.	Notion de réversibilité.....	285
VI.5.	Critères de stabilité.....	286
VI.5.1.	<i>Critère du maximum de contrainte de Cisaillement</i>	287
VI.5.2.	<i>Critère de Mohr - Caquot</i>	288
VI.5.3.	<i>Critère énergétique</i>	289
VII.	LES BETONS SPECIAUX.....	290
VII.1.	Les bétons lourds.....	290
VII.1.1.	<i>Conception des bétons lourds</i>	290
VII.1.2.	<i>Formulation</i>	290
VII.2.	Les bétons légers.....	292
VII.2.1.	<i>Matériaux utilisés</i>	292
VII.2.2.	<i>Propriétés du béton frais</i>	293
VII.3.	Les bétons auto-plaçants frais.....	295
VII.3.1.	<i>Formulation des BAP</i>	295
VII.3.3.	<i>Essais sur les BAP frais</i>	297
VII.3.4.	<i>Propriétés des BAP durcis</i>	303
VII.4.	Les bétons hautes performances (BHP).....	304
VII.4.1.	<i>Classification</i>	304
VII.4.2.	<i>Composition des BHP</i>	305
VII.4.3.	<i>Augmentation de chaleur des BHP</i>	307
VII.4.4.	<i>Propriétés des BHP</i>	308
VII.4.5.	<i>Domaines d'utilisation</i>	309
VII.5.	Les bétons caverneux.....	309
VII.5.1.	<i>Utilisation</i>	310
VII.6.	Les bétons chauffés.....	310
VII.7.	Les bétons congelés.....	311
VII.8.	Les bétons colorés.....	311
VII.9.	Les bétons à base de résine.....	311
VII.9.1.	<i>Le béton imprégné de résine</i>	314
VII.9.2.	<i>Le béton additionné de résine</i>	315
VII.10.	Les bétons de fibres.....	315
VII.10.1.	<i>Nature des fibres</i>	315

VIII

	VII.10.2. Formulation.....	317
	VII.10.3. Influence des fibres sur le béton frais.....	318
	VII.10.4. Anisotropie du béton de fibres.....	319
	VII.10.5. Influence des fibres sur les propriétés mécaniques du béton.....	320
VIII.	TRAITEMENT DU BETON.....	324
VIII.1.	Introduction.....	324
VIII.1.2.	Emploi des accélérateurs de prise	324
VIII.1.3.	Essorage du béton.....	325
VIII.2.	Traitement thermique.....	326
VIII.2.1.	Chauffage du béton avant sa mise en place.....	327
VIII.2.2.	Chauffage du béton après sa mise en place.....	327
VIII.2.3.	L'autoclavage.....	328
IX.	FABRICATION DU BETON.....	329
IX.1.	Stockage des constituants.....	329
IX.1.1.	Les granulats.....	329
IX.1.2.	Le ciment.....	329
IX.1.3.	Eau de gâchage.....	331
IX.2.	Dosage et transport des matériaux.....	332
IX.3.	Malaxage du béton.....	332
IX.3.1.	Types de malaxeurs.....	333
IX.3.2.	Séquences d'introduction des composants.....	334
IX.4.	Transport du béton.....	335
IX.4.1.	Moyens de transport.....	336
IX.5.	Stockage temporaire du béton.....	337
IX.6.	Pompes à béton.....	337
IX.7.	Vibrations des bétons.....	339
IX.7.1.	Le piquage.....	340
IX.7.2.	Le damage.....	340
IX.7.3.	Les vibrations.....	340
IX.8.	Bétonnage particulier.....	343
IX.8.1.	Bétonnage par temps froid.....	343
IX.8.2.	Bétonnage par temps chaud.....	346
IX.8.3.	Bétonnage sous eau.....	346
IX.8.4.	Bétonnage en mer.....	347

Chapitre VI : LES PRODUITS FERREUX

I.	INTRODUCTION.....	353
II.	ELABORATION DE L'ACIER.....	353

II.1. Matières premières.....	354
II.1.1. <i>Le minerai de fer</i>	354
II.1.2. <i>Les fondants</i>	357
II.1.3. <i>Les ferro-alliages</i>	357
II.1.4. <i>L'oxygène</i>	358
II.1.5. <i>La ferraille</i>	358
II.1.6. <i>Les produits réfractaires</i>	359
II.2. Elaboration de l'acier à partir du minerai.....	359
II.2.1. <i>Principe général</i>	359
II.2.2. <i>Les hauts fourneaux</i>	361
II.2.3. <i>Procédés Bessemer</i>	364
II.2.4. <i>Procédés Martin</i>	365
II.3. Elaboration de l'acier dans les fours électriques.....	366
II.4. Elaboration de l'acier à partir de ferrailles.....	367
II.4.1. <i>Origine de la ferraille</i>	367
II.5. Utilisation mondiale des procédés de production.....	369
II.6. La sidérurgie mondiale.....	371
III. TRAITEMENT THERMIQUE DES ACIERS.....	372
III.1. La trempe.....	372
III.2. Le revenu.....	373
III.3. Traitement chimico-thermique.....	373
III.4. Fabrication des éléments de construction métallique.....	373
III.4.1. <i>Le laminage</i>	373
III.4.2. <i>Le forgeage</i>	374
III.4.3. <i>L'étirage</i>	374
III.5. Produits de base obtenus.....	376
III.6.1. <i>Les fontes</i>	376
III.6.2. <i>Les fers</i>	378
III.6.3. <i>Les aciers</i>	379
IV. LES PRODUITS FERREUX DE CONSTRUCTION.....	383
IV.1. Armatures pour béton armé.....	383
IV.1.1. <i>Caractéristiques géométriques</i>	383
IV.1.2. <i>Armatures à haute adhérence</i>	384
IV.1.3. <i>Les treillis soudés</i>	389
IV.1.4. <i>Tôles découpées et étirées</i>	391
IV.1.5. <i>Façonnage des armatures</i>	392
IV.1.6. <i>Jonctions des barres</i>	393
IV.1.7. <i>Nuance des armatures pour béton armé</i>	394
IV.2. Armatures à précontraintes.....	396
IV.2.1. <i>Les fils</i>	398
IV.2.2. <i>Les torons</i>	399
IV.2.3. <i>Les barres</i>	402

IV.3. Profilés et accessoires pour charpente métallique.....	407
IV.3.1. Les tôles.....	407
IV.3.2. Les laminés marchands.....	408
IV.3.3. Les rivets.....	412
IV.3.4. Les boulons.....	414
IV.4. Les rails pour chemin de fer.....	418
IV.4.1. Analyse chimique.....	418
IV.4.2. Formes du rail.....	419
V. ESSAIS ET CONTROLE DES ACIERS.....	420
V.1. Essais destructifs.....	421
V.1.1. Essai de traction.....	421
V.1.2. Essai de flexion par choc.....	424
V.1.3. Essai de torsion.....	425
V.1.4. Essai de dureté.....	426
V.1.5. Essai de résilience.....	429
V.1.5. Essai de pliage.....	430
V.2. Essai non destructifs.....	431
V.2.1. Macrographie.....	431
V.2.2. Micrographie.....	431
V.2.3. Rayons X et radiographie.....	431
VI. AUTRES PROPRIETES DE L'ACIER.....	431
VI.1. Propriétés des aciers au-delà de la limite élastique.....	431
VI.1.1. Hystérésis mécanique.....	431
VI.1.2. Accommodation et viscosité.....	432
VI.1.3. Réactivité.....	432
VI.1.4. Caractères d'adhérence.....	432
VI.2. Fatigue des aciers.....	433
VI.2.1. Diagramme de Woehler.....	434
VI.3. Comportement au feu des aciers.....	435
VI.3.1. Dilatation thermique.....	435
VI.3.2. Variation des caractéristiques mécaniques.....	436
VI.4. Corrosion de l'acier.....	439
VI.4.1. Types de corrosion.....	440
VI.4.2. Moyens de protection des aciers contre la Corrosion.....	442

Chapitre VII : LE BOIS

I. INTRODUCTION.....	445
I.1. Domaines d'utilisation du bois dans la construction.....	446

II. STRUCTURE DU BOIS	446
II.1. Macrostructure.....	446
II.2. Microstructure.....	449
II.3. Composition chimique du bois.....	450
II.4. Défauts des bois.....	451
II.4.1. Défauts d'origine végétative.....	451
II.4.2. Défauts dus à des causes extérieures.....	454
II.5. Classement des bois.....	456
III. PROPRIETES DU BOIS.....	457
III.1. L'anisotropie.....	458
III.3. L'hygroscopie.....	460
III.3. Le retrait.....	463
III.4. La rétractibilité.....	464
III.5. La densité.....	465
III.6. La dilatation thermique.....	467
III.7. Conductivité thermique.....	468
III.8. Propriétés mécaniques.....	469
III.8.1. Traction longitudinale du bois.....	470
III.8.2. Traction transversale du bois.....	471
III.8.3. Compression longitudinale du bois.....	472
III.8.4. Compression transversale du bois.....	472
III.8.5. Sollicitations obliques.....	473
III.8.6. Flexion du bois.....	476
III.8.7. Cisaillement du bois.....	475
III.8.7. Dureté du bois.....	477
III.8.8. Comportement différé : Fluage.....	478
IV. FORMES COMMERCIALES.....	480
 Liste des tableaux	 484
 Liste des figures.....	 488