

# *Remerciements*

Avant tout nous remercions Allah le tout puissant qui nous a donné la force pour réaliser cet ouvrage que nous souhaitons qu'il atteigne nos espérances.

Ce travail a été réalisé à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Je tiens à remercier mon encadreur M. BOUDLAL Omar de m'avoir accueillie et de m'avoir très vite encouragé à participer à des échanges scientifiques. Sa grandes disponibilités sa rigueurs scientifiques son enthousiasme sa patience et ses précieux conseils m'ont permis de travailler dans les meilleures conditions.

## **SOMMAIRE :**

1. **Remerciements**
2. **SOMMAIRE**
3. **Liste des figures**
4. **Liste des tableaux**
5. **Introduction générale**

-Importance du béton dans la construction

-Problématique environnementale et recyclage

-Objectifs de l'étude

6. **Chapitre 1 : Généralités sur les bétons**

- 1.1 Introduction
- 1.2 Les types de béton
- 1.3 Propriétés et bénéfices du béton
- 1.4 Fabrication du béton
- 1.5 Effets des granulats sur les propriétés du béton
- 1.6 Conclusion

7. **Chapitre 2 : Les granulats de caoutchouc**

- 2.1 Introduction
- 2.2 Propriétés physiques, mécaniques et chimiques
- 2.3 Effets sur le béton
- 2.4 Limites et défis
- 2.5 Conclusion

8. **Chapitre 3 : Résultats et interprétation**

- 3.1 Matériels utilisés
- 3.2 Composition des bétons étudiés
- 3.3 Confection des éprouvettes et procédures d'essais
- 3.4 Résultats des essais (compression, flexion)
- 3.5 Analyse des résultats

9. **Conclusion générale**

10. **Références bibliographiques**

## Liste de figure :

Figure 1-0 : Béton.

Figure 1-1 : Les granulats de caoutchouc.

Figure 1-2 : Résultats en graphes.

Figure 1-3 : histogrammes (Contraintes de résistance).

Figure 1-4 : courbes Force/Déplacement 10% de Grains de Caoutchouc.

Figure 1-5 : courbes Force/Déplacement 20% de Grains de Caoutchouc.

Figure 1-6 : courbes Force/Déplacement 30% de Grains de Caoutchouc.

Figure 1-7 : Comparaison des résultats (10% - 20% - 30%).

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Composition du béton pour 1 m<sup>3</sup>.

Tableau 2 : Composition du béton pour 1 cylindre.

Tableau 3 : Quantités de GC et de sable selon le taux de substitution pour 1 cylindre.

Tableau 4 : Quantités finales.

Tableau 5 Essais a la Flexion.

## **- Introduction générale :**

Le béton est aujourd'hui le matériau de construction par excellence. Il est irremplaçable dans le domaine de la construction pour des raisons économiques et techniques. Le compromis trouvé entre la résistance mécanique, économique, esthétique et sa facilité de mise en œuvre offre à ce matériau la première place dans la construction au niveau mondial. Dans le souci de la protection de l'environnement et de la préservation de la nature, le secteur de la construction, grand consommateur de granulats doit s'aligner à cette démarche, et trouver des ressources alternatives aux granulats de carrière et de rivière qui par leur extraction on nuit à la nature. L'emploi des granulats de recyclage semble être une solution qui répond à ces soucis.

Le recyclage des déchets des pneus d'automobiles semble être une source de matériaux intéressante pour produire des bétons à propriétés spécifiques qu'il y a lieu de caractériser. Le caoutchouc par sa nature présente des propriétés assez différentes de celles des granulats naturels, donc si on souhaite les utiliser dans le secteur de la construction c'est pour produire des bétons spécifiques (bétons légers, bétons à propriétés d'isolations thermique et phonique, etc.). . C'est dans cet esprit que s'inscrit l'objectif de cette étude.

Le présent travail a pour but d'étudier les potentialités de l'incorporation des particules de caoutchouc, dans des bétons en vue de l'utilisation du composite élaboré dans le domaine d'application diverses. Pour atteindre cet objectif, nous avons envisagé d'introduire dans le béton des quantités de granulats de caoutchouc suivant des pourcentages de substitutions volumiques différentes. On s'est alors intéressé à trois aspects des bétons : Résistance à la compression à 28 jours sur des bétons;

Vitesse de propagation des ondes ultrasoniques dans les bétons composés de granulats en caoutchouc Etude de déformations des bétons sous des sollicitations de compression pure. Les essais sont menés sur plusieurs compositions formulées avec différents pourcentages de substitutions volumiques des granulats naturels par des granulats en caoutchouc.

# **CHAPITRE 1:**

## **Généralités sur les bétons**

## 1.1. INTRODUCTION :

La résistance mécanique et la déformation sont des propriétés importantes des bétons, car elles jouent un grand rôle prépondérant sur la stabilité et la durabilité des ouvrages. Les propriétés du béton changent en fonction de la composition du béton de la nature de ces différents composants, notamment de la quantité et nature du ciment et de la quantité d'eau. Les autres paramètres qui influencent les propriétés des bétons peuvent être résumés en plusieurs catégories :

- Nature et dosage de ses composants (ciment, granulats, adjuvants...);
- Conditions de son murissement au jeune âge (climat chaud, climat froid) ;
- Conditions de mise en œuvre (malaxage, vibration, protection ...)
- Conditions d'exposition du béton durci (environnements agressifs ou pas) ;
- Sollicitations auxquelles il sera soumis.

Ainsi, en prêtant une grande importance à ces aspects on peut produire des bétons avec des propriétés très variables : en résistances, isolation thermique, résistance au feu, isolation phonique, durabilité. On peut également se permettre avec le béton des réalisations de formes très complexes, de différentes teintes et textures.



Figure 1-0 : Béton

## 1.2. Les Types de Béton :

Il existe différents types de béton, chacun étant formulé pour répondre à des besoins spécifiques en fonction des conditions de mise en œuvre et des exigences des projets. Voici quelques types courants de béton :

- **Béton ordinaire** : Utilisé dans les constructions classiques telles que les bâtiments, les routes, les ponts. Il a une résistance modérée et est facile à fabriquer.
- **Béton haute résistance** : Ce béton est conçu pour des applications où la résistance mécanique est primordiale, comme dans les structures hautes ou les ponts soumis à de lourdes charges.

- **Béton léger** : Il utilise des granulats légers, comme le polystyrène expansé ou le caoutchouc, ce qui réduit la masse volumique du béton et améliore son isolation thermique et phonique.
- **Béton à haute performance** : Il se distingue par sa durabilité, sa résistance à l'usure et sa faible perméabilité, idéal pour des environnements sévères, comme les structures maritimes.
- **Béton auto compactant** : Ce béton a la capacité de se couler de manière fluide dans des formes complexes sans avoir besoin de vibration mécanique, ce qui facilite la mise en œuvre dans des espaces confinés.
- **Béton avec granulats recyclés** : Ce béton utilise des granulats provenant de déchets de construction ou d'autres sources recyclées, réduisant ainsi l'empreinte écologique de la construction.

### 1.3. Propriétés des Bénéfices du Béton :

Les propriétés du béton sont diverses et influencent son comportement dans différentes conditions. Certaines des propriétés les plus importantes comprennent :

- **Résistance à la compression** : Il s'agit de la capacité du béton à résister à des forces de compression. La résistance varie en fonction du type de ciment, du dosage des matériaux et des conditions de durcissement.
- **Durabilité** : La durabilité fait référence à la capacité du béton à résister à l'usure, à la corrosion, aux attaques chimiques et aux conditions climatiques extrêmes.
- **Plasticité** : La plasticité détermine la facilité avec laquelle le béton peut être manipulé, coulé et moulé. Elle est fonction du rapport eau/ciment et des adjuvants utilisés.
- **Résistance au feu** : Le béton est généralement un matériau incombustible. Cette propriété est cruciale pour assurer la sécurité des structures face aux incendies.
- **Isolation thermique et phonique** : Le béton peut être formulé pour avoir de bonnes propriétés d'isolation thermique et phonique, ce qui est important dans des applications résidentielles et commerciales.
- **Ductilité** : Traditionnellement, le béton est peu ductile, mais l'ajout de granulats spécifiques, tels que le caoutchouc, peut améliorer sa capacité à se déformer sans se fissurer.

### 1.4. Fabrication du Béton :

La fabrication du béton suit un processus structuré qui influe directement sur ses propriétés finales. Les étapes clés incluent :

1. **Préparation des matériaux** : Les granulats (sable, gravier), le ciment, et l'eau doivent être soigneusement dosés. Des tests de contrôle qualité peuvent être réalisés pour vérifier la pureté et la taille des granulats.
2. **Malaxage** : Cette étape consiste à mélanger les composants dans un malaxeur afin d'obtenir une pâte homogène. Un bon malaxage est essentiel pour garantir une bonne distribution des matériaux.
3. **Mise en œuvre** : Le béton est transporté et coulé dans des coffrages pour lui donner sa forme finale. Cette phase implique souvent l'utilisation de vibrations pour assurer une bonne compaction et éliminer les poches d'air.

4. **Durcissement** : Le béton durcit par réaction chimique avec l'eau. Le durcissement est influencé par des facteurs externes, comme la température et l'humidité. Le processus peut être accéléré par l'ajout d'adjuvants.

### 1.5. Effets des Granulats sur les Propriétés du Béton :

Les granulats jouent un rôle essentiel dans la définition des propriétés du béton. Leur nature, leur taille, leur forme et leur résistance affectent les performances du béton. Voici quelques effets des granulats sur les propriétés du béton :

- **Granulats naturels** : Ces matériaux, tels que le sable et le gravier, sont les plus couramment utilisés dans la production de béton. Ils sont responsables de la résistance à la compression et de la durabilité du béton.
- **Granulats recyclés** : L'utilisation de granulats recyclés permet de réduire les déchets et l'impact environnemental. Cependant, leur utilisation peut affecter légèrement la résistance à la compression et la durabilité du béton.
- **Granulats de caoutchouc** : L'incorporation de granulats de caoutchouc issus de pneus recyclés dans le béton présente plusieurs avantages, notamment la réduction de la densité, l'amélioration des propriétés d'isolation thermique et phonique, et une meilleure ductilité. Toutefois, cela peut entraîner une diminution de la résistance à la compression, ce qui doit être pris en compte pour les applications spécifiques où des charges élevées sont présentes.

### 1.6. Conclusion :

En conclusion, le béton est un matériau de construction extrêmement polyvalent, et ses propriétés peuvent être adaptées en fonction des exigences spécifiques du projet. L'étude des différents types de bétons et de l'effet des granulats sur leurs performances est cruciale pour concevoir des matériaux adaptés aux besoins modernes de la construction. L'utilisation de granulats de caoutchouc, bien que présentant certains défis, offre une solution intéressante pour la production de bétons ayant des propriétés spécifiques, notamment en matière d'isolation et de durabilité.



## **CHAPITRE 2 :**

### **Les granulats de caoutchouc**

## Introduction :

Les granulats de caoutchouc, issus du recyclage des pneus usagés, constituent une alternative prometteuse aux granulats naturels dans le secteur de la construction. Grâce à leurs propriétés uniques, telles que leur légèreté, leur élasticité, et leur inertie chimique, ils sont utilisés pour produire des bétons spécifiques. Cette approche contribue à la valorisation des déchets tout en réduisant l'empreinte écologique du secteur, répondant ainsi aux besoins croissants en matériaux durables et innovants.

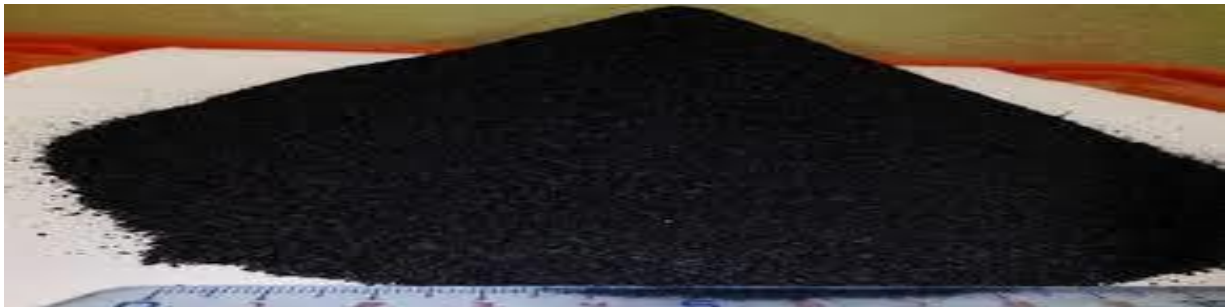


Figure 1-1 : Les granulats de caoutchouc.

## Étude des Propriétés des Granulats de Caoutchouc :

Les granulats de caoutchouc, obtenus principalement par le recyclage des pneus usagés, possèdent des caractéristiques spécifiques qui influencent leurs performances lorsqu'ils sont intégrés dans des matériaux tels que le béton. Leur étude détaillée est essentielle pour comprendre leur comportement et leur interaction avec les autres composants du béton.

### 1. Propriétés Physiques :

- **Granulométrie** : Les granulats de caoutchouc présentent des tailles variées allant de particules fines ( $<1$  mm) à des particules plus grossières ( $>10$  mm). La granulométrie influence la compacité du mélange et ses propriétés mécaniques.
- **Masse volumique** : Elle est significativement inférieure à celle des granulats naturels, autour de  $0,5$  à  $0,7$  g/cm<sup>3</sup>, ce qui contribue à alléger les matériaux dans lesquels ils sont intégrés.
- **Porosité et Absorption d'eau** : Les granulats de caoutchouc ont une faible capacité d'absorption d'eau en raison de leur nature hydrophobe. Cela peut affecter la maniabilité du béton frais.

## 2. Propriétés Mécaniques :

- **Résistance à la compression** : Les granulats de caoutchouc sont moins rigides que les granulats naturels, ce qui réduit la résistance globale du béton mais augmente sa ductilité.
- **Élasticité** : Leur élasticité confère au béton des capacités accrues d'absorption d'énergie, réduisant ainsi le risque de fissuration fragile.
- **Adhérence avec le liant** : Les granulats de caoutchouc ont une adhérence limitée avec la pâte de ciment, en raison de leur surface lisse et hydrophobe. Cela peut nécessiter l'utilisation d'adjuvants pour améliorer leur compatibilité.

## 3. Propriétés Chimiques :

- **Stabilité chimique** : Le caoutchouc est résistant à la dégradation chimique et à la corrosion, ce qui prolonge la durabilité des matériaux composites.
- **Interaction avec les liants** : Les granulats de caoutchouc ne réagissent pas chimiquement avec les liants hydrauliques, ce qui en fait un matériau stable dans des environnements variés.

## 4. Effets sur le Béton :

Les granulats de caoutchouc influencent directement les propriétés du béton, notamment :

- **Diminution de la masse volumique** : Leur incorporation réduit la densité globale, ce qui est utile pour les bétons légers.
- **Comportement mécanique** : Les bétons contenant des granulats de caoutchouc montrent une diminution de la résistance à la compression (jusqu'à 50 % selon le taux de substitution) mais une meilleure ductilité.
- **Isolation thermique et phonique** : Les granulats de caoutchouc améliorent les capacités isolantes du béton, le rendant adapté pour des structures nécessitant ces propriétés.

## 6. Limites et Défis :

- **Perte de résistance mécanique** : Compromet l'utilisation dans des structures où la résistance est critique.
- **Compatibilité limitée avec le liant** : Exige des recherches pour améliorer l'adhérence avec la pâte de ciment.
- **Durabilité** : Bien que stable chimiquement, la dégradation mécanique due à des contraintes prolongées reste à étudier.

## Conclusion :

L'étude des propriétés des granulats de caoutchouc met en lumière leur potentiel pour des applications spécifiques dans le génie civil, tout en soulignant la nécessité de recherches supplémentaires pour surmonter leurs limitations. Ces granulats représentent une solution innovante et durable pour valoriser les déchets tout en répondant aux exigences techniques des matériaux de construction.

## **Chapitre 03 :**

### **Résultats et interprétation**

### 1-1 Matériels utilisés

- Main écope,
- Truelles,
- Tamis pour tamisage/criblage des agrégats
- Eprouvette graduée,
- Balance électrique,
- Eprouvettes prismatiques (Moules prismatiques),
- Eprouvettes cylindriques (Moules Cylindriques),
- Table vibrante,
- Machines pour les essais de résistance à la flexion,
- Logiciels d'analyse

de données sur PC 2-2- Matériaux utilisés

- Ciment,
- Sable,
- Gravier 3/8,
- Gravier 8/15,
- Eau propre,
- Granulats de Caoutchouc

### 2-3- Composition de béton :

Composant	Masse (Kg)
Ciment (C)	350
Sable(S)	824.4
Gravier 3/8	240
Gravier 8/15	784.4
Eau(E)	200

Tableau 1 : Composition du béton pour 1 m3

Composant	Masse (Kg)
Ciment (C)	0.53
Sable(S)	1.24
Gravier 3/8	0.36
Gravier 8/15	1.18
Eau(E)	0.3

Tableau 2 : Composition du béton pour 1 cylindre

Pourcentage	GC	Sable
10%	0.24	1.116
20%	0.248	0.992
30%	0.372	0.868

**Tableau 3:**Quantités de GC et de sable selon le taux de substitution pour 01cylindre

**Tableau 4 :** Quantités Finales :

Composant	10%	20%	30%
Ciment(C)	2.226	2.226	2.226
Sable (S)	4.6872	4.1664	3.6456
GC	0.5208	1.0416	1.5624
Gravier3/8	1.512	1.512	1.512
Gravier8/15	4.956	4.956	4.956
Eau(E)	1.26	1.26	1.26

#### 2-4- **Confection des éprouvettes**

- Mesurer les quantités nécessaires des matériaux (ciment, agrégats, eau, Granulats de Caoutchouc), en fonction du mélange de béton spécifié,
- Placer les matériaux dans un bac de malaxage du béton,
- Mélanger à l'aide d'une truelle jusqu'à obtenir une consistance homogène,
- Préparation des moules (Eprouvettes prismatiques & Cylindriques) en les Graissant de l'intérieur afin de faciliter le démoulage,
- Remplir les moules avec le béton et les placer sur la table vibrante,
- Activez la table vibrante pour compacter le béton, éliminer les bulles d'air, et assurer une distribution uniforme des matériaux,
- Nivelez la surface du béton avec une truelle afin d'avoir une surface lisse et homogène
- Décoffrer les éprouvettes dans 24h et les plonger dans un bassin d'eau pour une durée de 28 jours.

#### 2-4- **Procédure d'essai**

##### a) Essais à la Compression (Eprouvettes Cylindriques):

Placer l'éprouvette dans la presse (machine à compression), la positionner parfaitement au centre marqué sur l'assise de la machine afin d'assurer une descente/répartition uniforme de la charge (force à appliquer), Appliquer progressivement la charge sur l'éprouvette jusqu'à la rupture, Prendre note concernant les données d'entrées et de sortie.

##### b) Essais à la Flexion (Eprouvettes Prismatiques):

Tracer les éprouvettes suivant les dimensions de la machine d'essai (Supports d'assise de 240 mm, et l'axe face supérieure pour la tête d'application de charge), Positionner et aligner l'éprouvette dans la machine de flexion.

Appliquer une charge définie par le logiciel de control de la machine,

### 3-1- Résultats (tableaux et graphes)

#### 3-1-1 Essais à la Compression (Eprouvettes Cylindriques) :

07 éprouvettes cylindriques ont été préparées afin de mener cette expérience.

Remarque : seulement une éprouvette de G.C été remplie due à l'endommagement de l'autre lors de démoulage.

Granulats de Caoutchouc	Essai 01		Essai 02	
	Fmax	$\sigma$ max (MPa)	Fmax (KN)	$\sigma$ max (MPa)
G.C à 10%	150,4	19,15	158	20,12
G.C à 20%	63,2	8,047	106,4	13,55
G.C à 30%	43,7	5,688	-	-

Granulats de Caoutchouc	Moyenne	
	Fmax	$\sigma$ max (MPa)
G.C à 10%	154,2	19,635
G.C à 20%	84,8	10,7985
G.C à 30%	43,7	5,688

Figure 1-2 : Résultats en graphes :

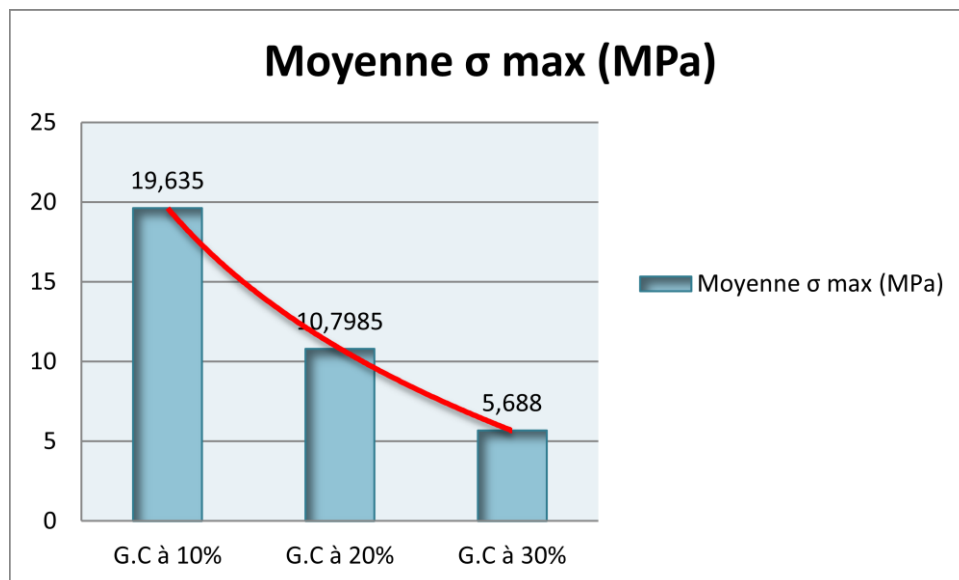


Tableau 5 : Essais à la Flexion (Eprouvettes Prismatiques):

Granulats de Caoutchouc	Essai 01		Essai 02	
	Fmax	$\sigma$ max (MPa)	Fmax (KN)	$\sigma$ max (MPa)
G.C à 10%	4,055	4,255	5,053	5,304
G.C à 20%	3,81	4,007	4,003	4,201
G.C à 30%	2,795	2,934	3,608	3,787

Granulats de Caoutchouc	Moyenne	
	Fmax	$\sigma$ max (MPa)
G.C à 10%	154,2	19,635
G.C à 20%	84,8	10,7985
G.C à 30%	43,7	5,688

Figure 1-3 :Histogrammes (Contraintes de résistance) :

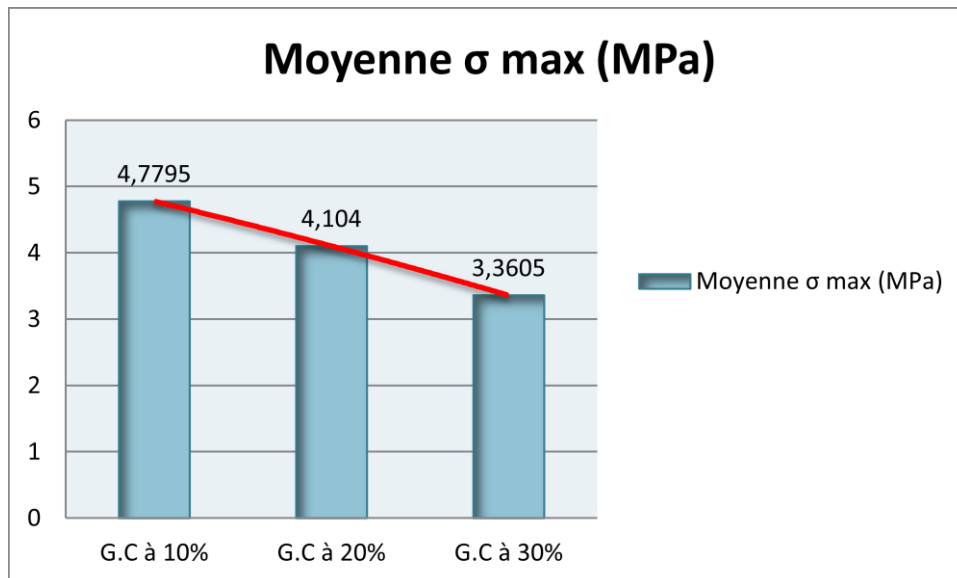


Figure 1-4 : Courbes Force/Déplacement (Flexion) :

a). 10% de Grains de Caoutchouc :

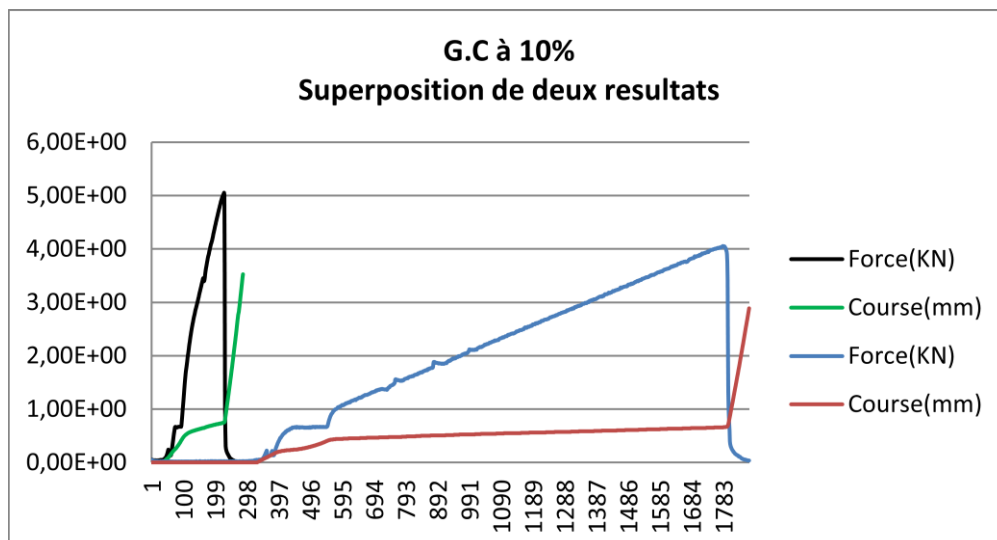




Figure 1-5 : Courbes Force/Déplacement (Flexion) :

c) 20% de Grains de Caoutchouc :

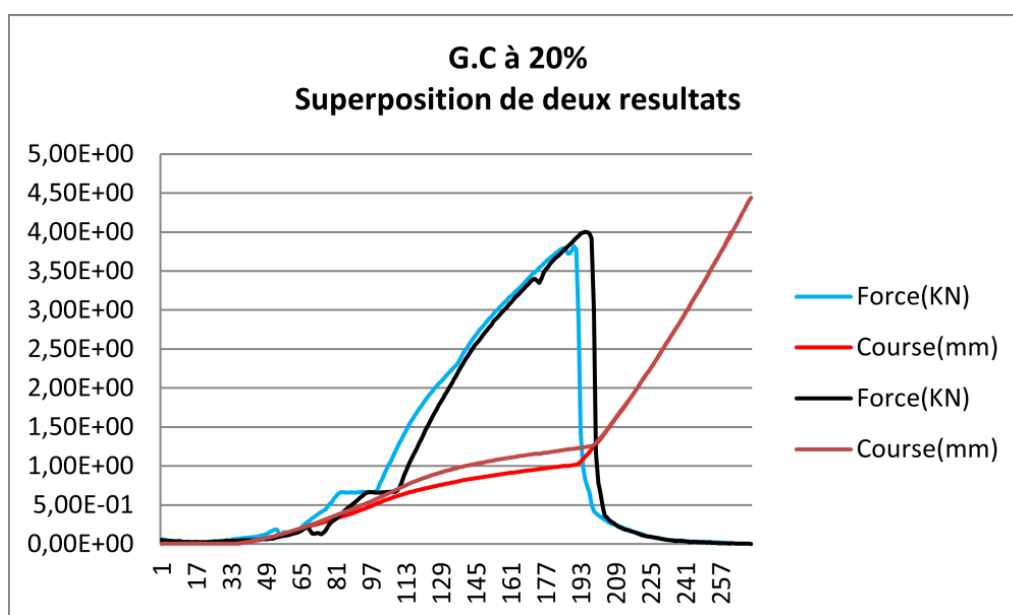


Figure 1-6 : Courbes Force/Déplacement (Flexion) :

d) 30% de Grains de Caoutchouc :

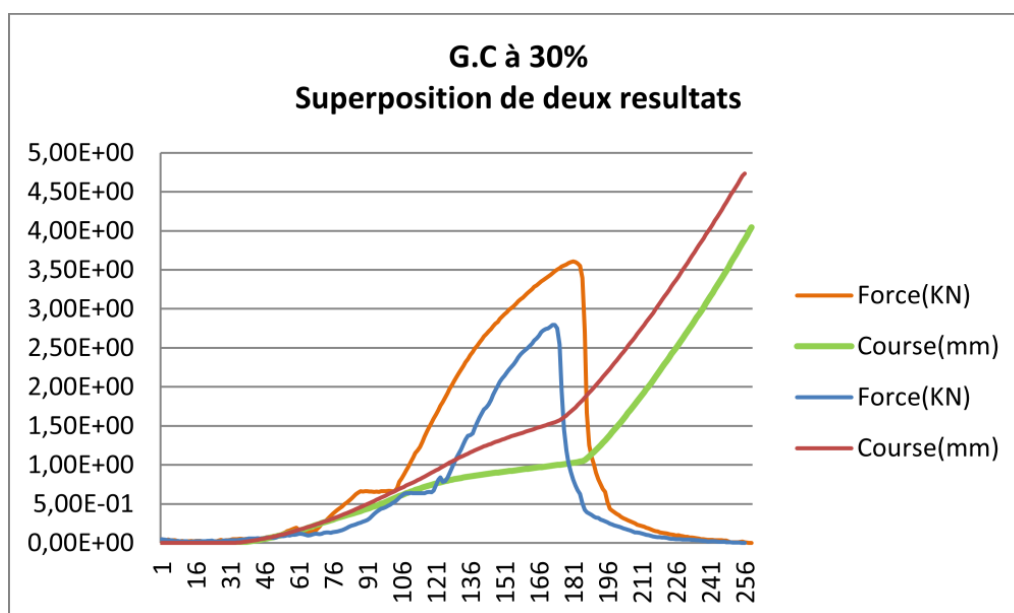
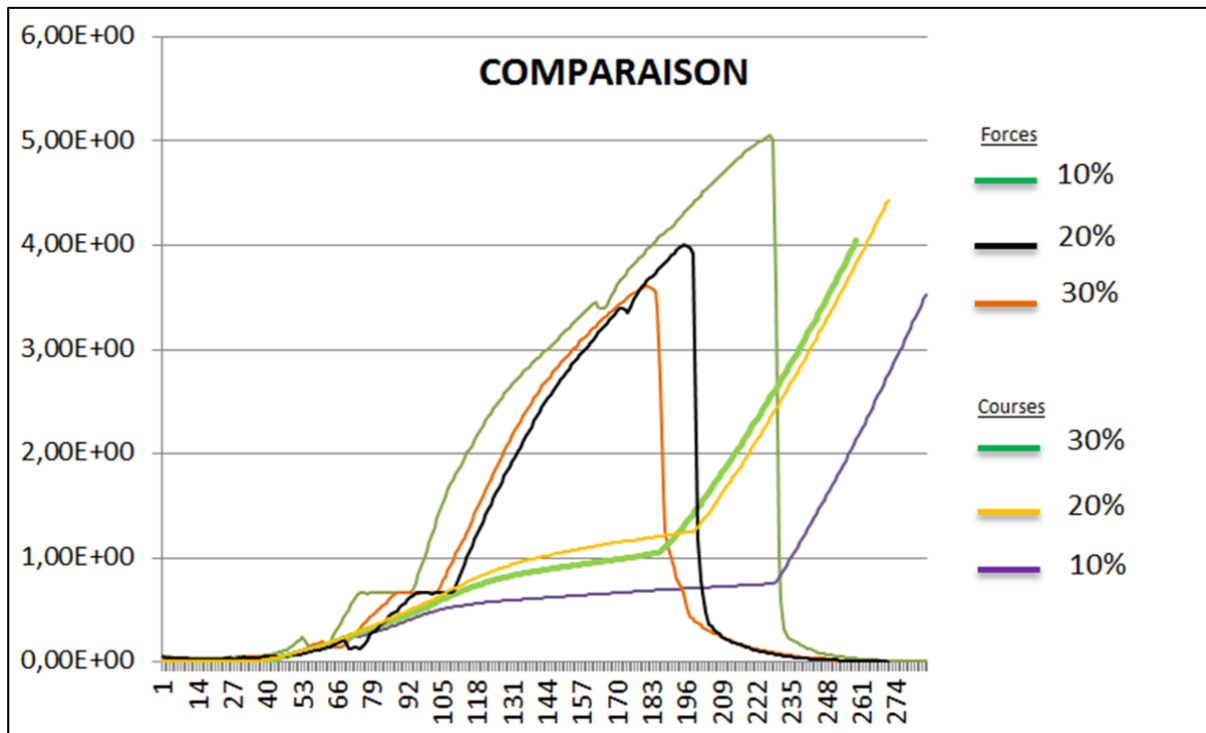


Figure 1-7 : Comparaison des résultats (10% - 20% - 30%) :



- Interprétation des résultats (comparaisons, interprétation par rapport aux travaux de recherche existants : articles, thèses, etc.).

#### Essais de Compression :

Les résultats montrent une tendance à la baisse de la résistance à la compression du béton à mesure que le pourcentage de granulats de caoutchouc augmente.

Pour les éprouvettes à 10% de G.C, les résistances à la compression sont de 19.15 MPa et 20.12 MPa respectivement pour l'éprouvette 1 et l'éprouvette 2.

À 20% de G.C, la résistance à la compression diminue à 8.047 MPa pour l'éprouvette 1 et augmente à 13.55 MPa pour l'éprouvette 2.

À 30% de G.C, la résistance à la compression chute davantage, atteignant 5.688 MPa pour l'éprouvette 1.

### Essais de Flexion :

Les résultats des essais de flexion montrent également une diminution de la résistance à la flexion du béton avec l'augmentation du pourcentage de granulats de caoutchouc.

Pour les éprouvettes à 10% de G.C, les résistances à la flexion sont de 4.255 MPa pour l'éprouvette 1 et 5.304MPa pour l'éprouvette 2.

À 20% de G.C, les résistances à la flexion sont de 4.007 MPa pour l'éprouvette 1 et 4.201 MPa pour l'éprouvette 2.

À 30% de G.C, les résistances à la flexion diminuent à 2.934 MPa pour l'éprouvette 1 et 3.787 MPa pour l'éprouvette 2.

Donc, L'incorporation de granulats de caoutchouc dans le béton semble avoir un effet négatif sur ses propriétés mécaniques, à la fois en compression et en flexion.

Les résultats montrent une diminution progressive de la résistance à la compression et à la flexion avec l'augmentation du pourcentage de granulats de caoutchouc.

Cependant, la résistance à la compression peut varier selon les proportions de mélange et d'autres facteurs de fabrication.

Reference:

Siddique, R., & Naik, T.R. (2004). "Effect of Rubber Tyre Particles on Properties of Concrete." Cement and Concrete Research, 34(1), 183-189, Cette étude a montré aussi la réduction de la résistance mécanique avec l'incorporation de granulats de caoutchouc dans le béton.

### **Conclusion**

Les résultats suggèrent que l'incorporation de granulats de caoutchouc dans le béton peut entraîner une réduction de sa résistance mécanique, notamment en compression et en flexion.

## Conclusion Générale :

L'intégration de granulats de caoutchouc dans le béton a montré une diminution des performances mécaniques, mais a également offert des avantages tels que la légèreté, la ductilité et de meilleures propriétés d'isolation. Cette approche constitue une solution innovante et durable pour valoriser les déchets tout en répondant aux exigences de certaines applications spécifiques dans le domaine de la construction.

## Référence :

- 1- **ACI Committee 555 (2001).** *"Recycled Materials in Concrete Industry."* ACI Materials Journal, 98(3), 239-252.
- 2- **Topçu, I.B. (1995).** *"The Properties of Rubberized Concretes."* Cement and Concrete Research, 25(2), 304-310.
- 3- **Thomas, B.S., & Gupta, R.C. (2016).** *"A Comprehensive Review on the Applications of Waste Tire Rubber in Cement Concrete."* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54, 1323-1333.
- 4- **Gupta, T., Chaudhary, S., & Sharma, R.K. (2014).** *"Mechanical and Durability Properties of Waste Rubber Fiber Concrete with and Without Silica Fume."* Journal of Cleaner Production, 112, 702-711.
- 5- **Li, X. (2008).** *"Recycling Waste Tires in Civil Engineering Applications."* Waste Management, 28(11), 2081-2091.