



République Tunisienne
Ministère de la défense nationale
Armée de terre
Académie militaire Fondouk Jdid
Direction des études universitaires



Recyclage et valorisation des déchets de caoutchouc
et étude d'impact sur l'économie circulaire

Présenté par :

Slt Imen Memmi

Encadré par :

- Lt Col Oussama Atoui

- Comandant Azer Mazzoun

Année Universitaire 2024



Plan de travail

- 1- Présentation générale du projet**
- 2- Formulation et caractéristique mécanique des matériaux**
- 3- Analyse des résultats expérimentaux**
- 4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique**
- 5- Etude d'impact sur l'économie circulaire**
- 6- Conclusion et perspective**



1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux et formulation

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspective



istock
by Getty Images

Problématique :

Comment valoriser ces déchets des pneus usagé tout en réduisant leur impact environnemental, et leur intégrer dans des matériaux de construction ?



Objectifs :

Formuler un béton écologique à base de caoutchouc recyclé pour réduire l'usage de ressources naturelles et limiter l'impact environnemental.

Comparer les performances mécaniques des bétons contenant des granulats de caoutchouc à celles d'un béton témoin, afin d'évaluer leur faisabilité et leur potentiel d'application dans le domaine de la construction.

Réduire les émissions de CO₂ liées à l'incinération des pneus usagés.



1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire et Etude financière

6-Conclusion et perspectives

1. Caractéristiques du sable :



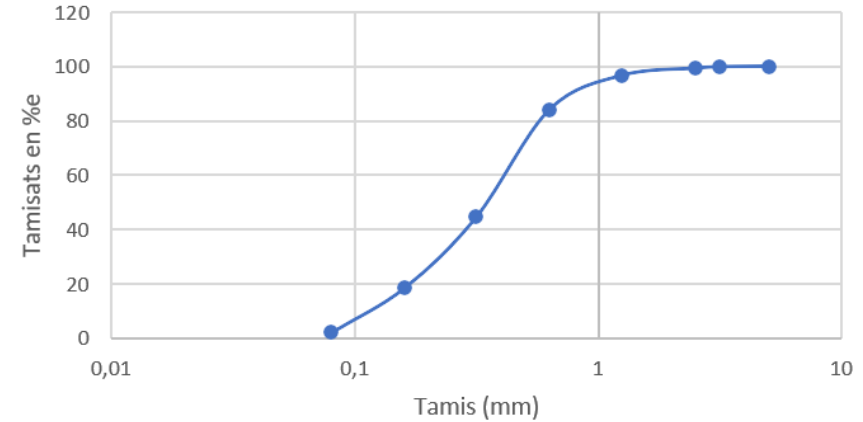
➤ **Sable provenant du Djebel Rsass**

-ES = 75,2 % < 80 %

➤ **c'est un « Sable propre »**

Masse volumique apparente (g/cm ³)	1,43
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,73

sable 0,5

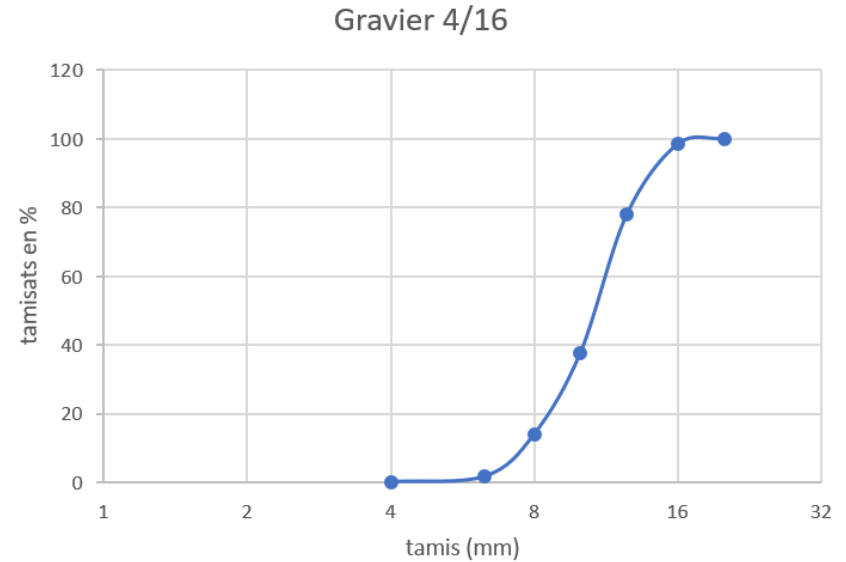


=> Granulométrie bien étalée avec une pente régulière

2. Caractéristiques du Gravier :



Masse volumique apparente (g/cm ³)	1,35
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,77



=>une bonne compacité.

3. Caractéristiques de Ciment portland :



Type	CEM I 42,5
Résistance minimale	42,5 Mpa
Caractéristiques chimiques	-minimum de 95% de clinker -de 1 a 5% de constituants secondaires.

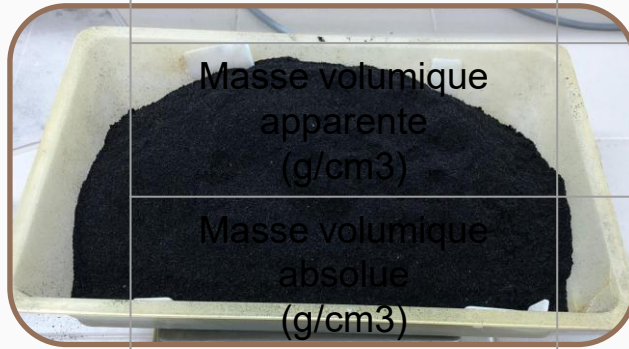
$$(E/C) = 0,5$$



4. Caractéristiques du Granulats de Caoutchouc

Ce qui reflète une structure plus ouverte mais plus stable ←

Caoutchouc1 (C1) : 0 - 0,8mm



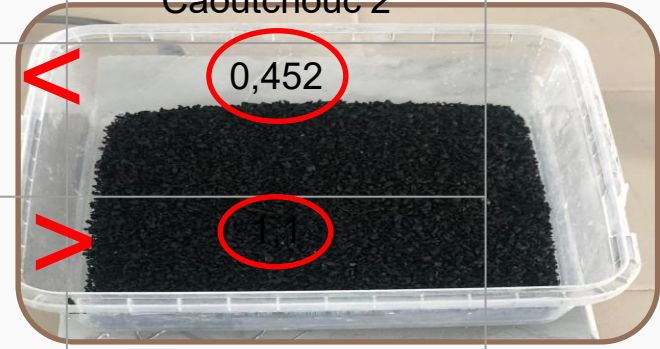
Caoutchouc 1

0,430

1,25

Caoutchouc2 (C2) : 0,5 - 2,5mm

Caoutchouc 2



0,452

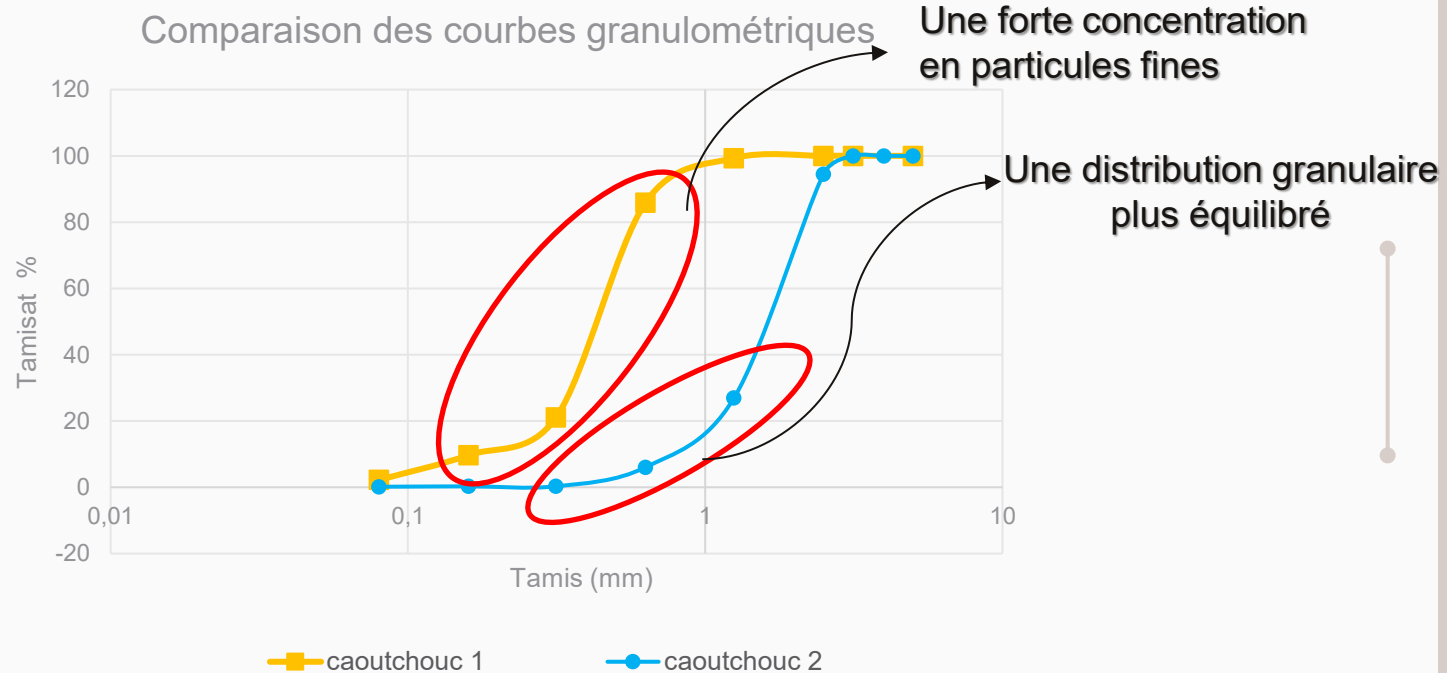
1,1

- Fourni par la Société **EL BARAKA**, située à Sfax.
- Des particules très fines.

→ Un meilleur compactage des particules fines

- Fourni par la société **GMN**, opérant sous le nom commercial GREEN11, située en Espagne.

4. Caractéristiques du Granulats de Caoutchouc





1- Présentation générale du projet

2- Formulation

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire et Etude financière

6-Conclusion et perspectives

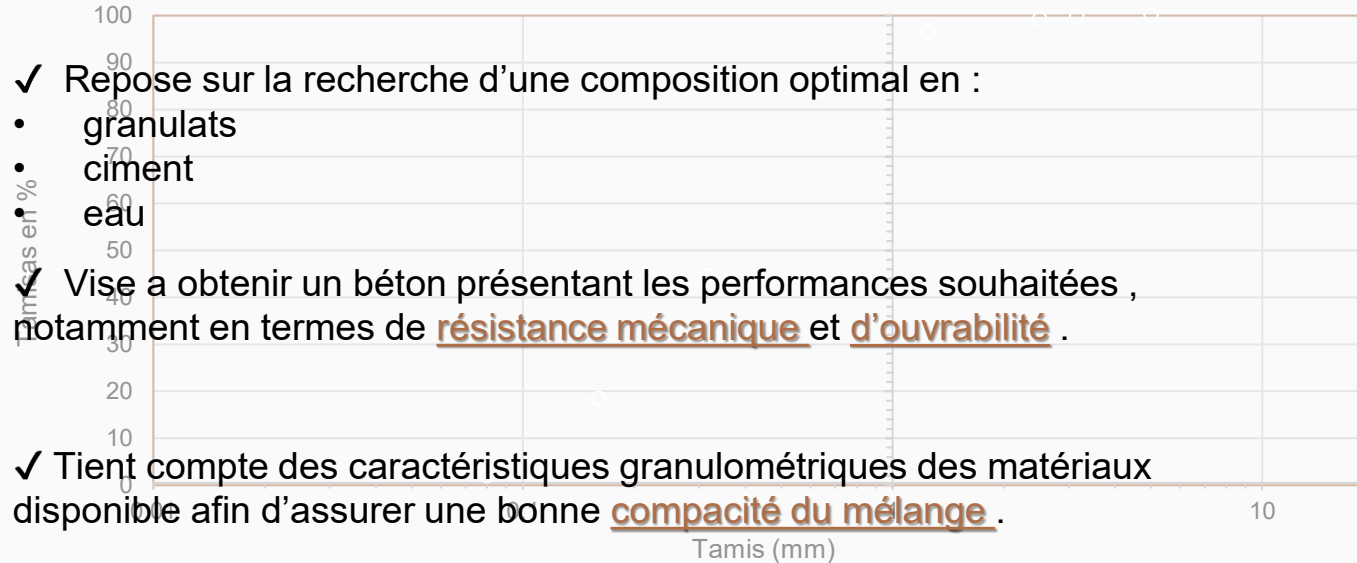
Méthode de Dreux-Gorisse

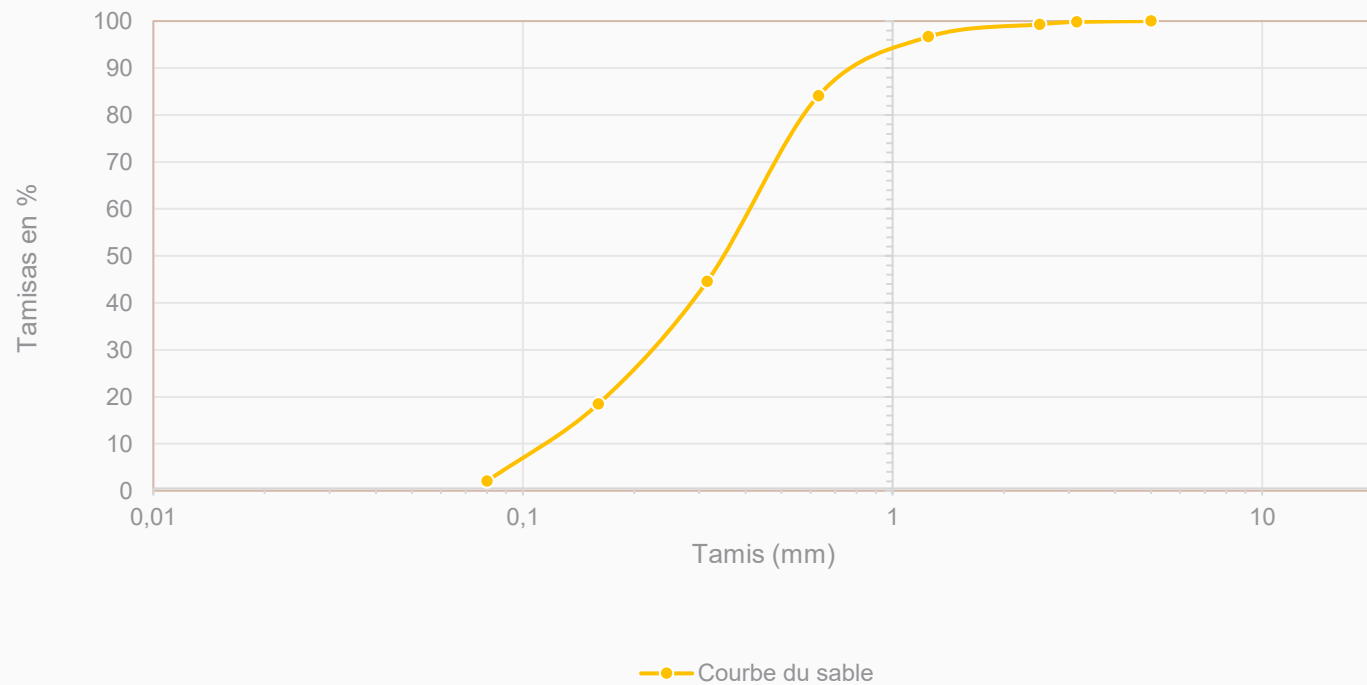
✓ Repose sur la recherche d'une composition optimal en :

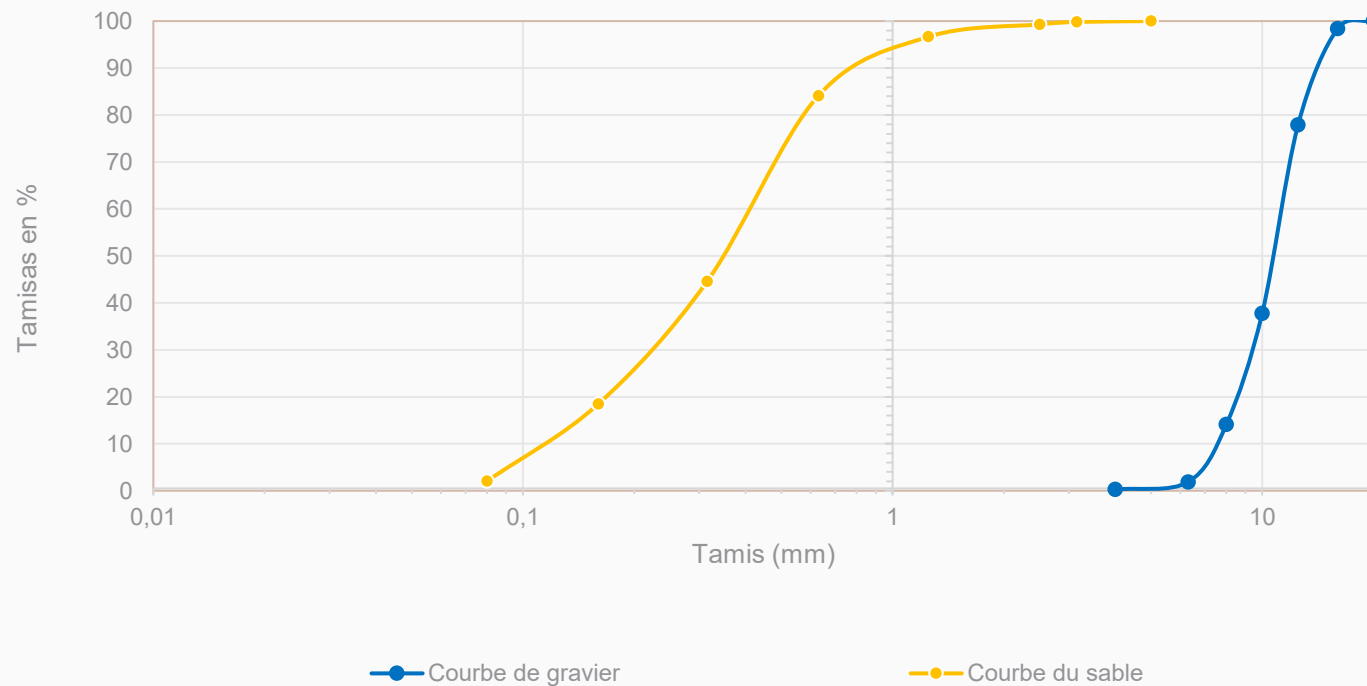
- granulats
- ciment
- eau

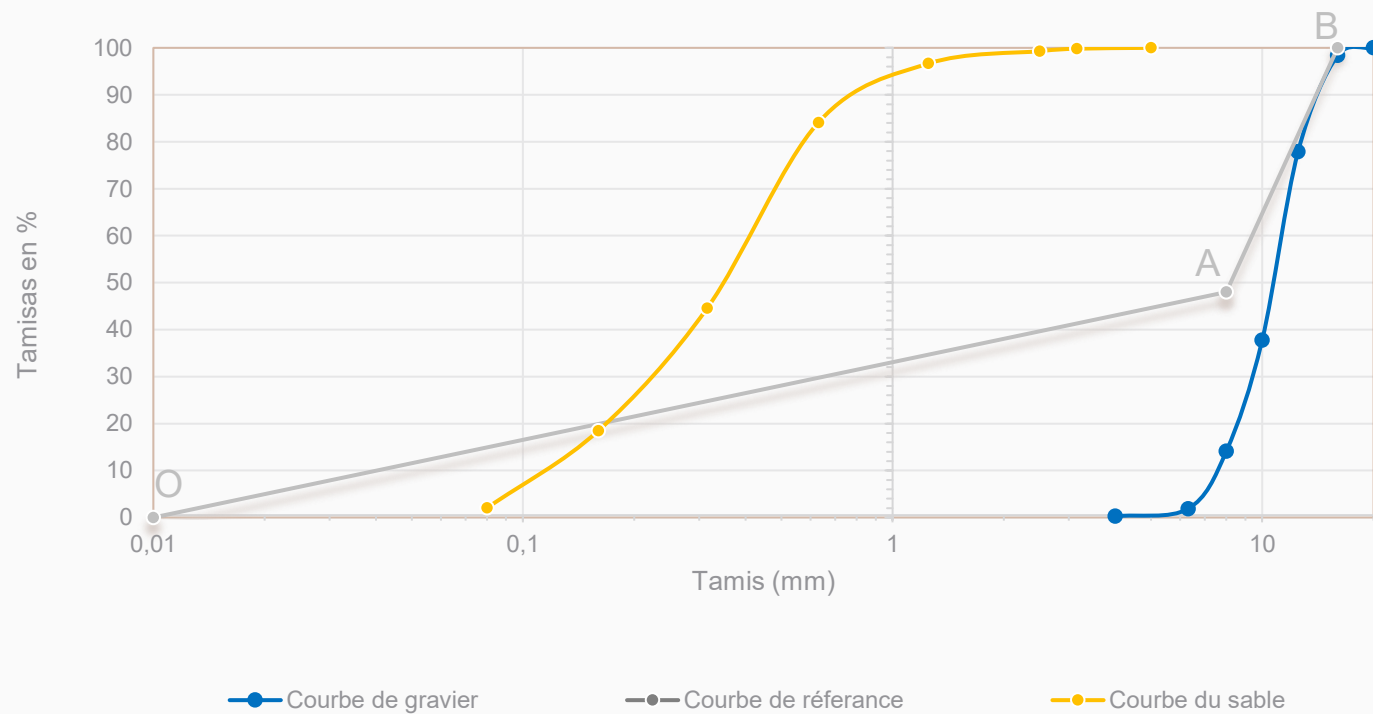
✓ Vise a obtenir un béton présentant les performances souhaitées ,
notamment en termes de résistance mécanique et d'ouvrabilité .

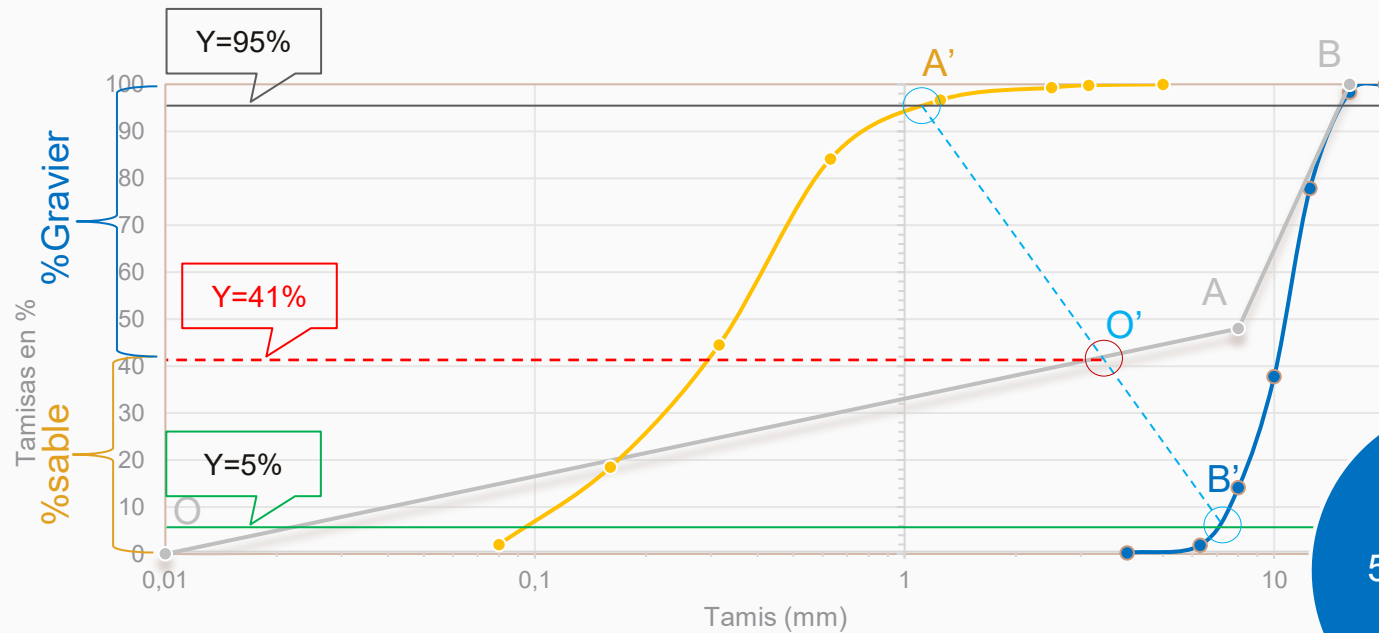
✓ Tient compte des caractéristiques granulométriques des matériaux
disponible afin d'assurer une bonne compacité du mélange .











● Courbe de gravier

● Courbe de référence

● Courbe du sable

■ SABLE

■ GRAVIER

2. Formulations :

-substitution volumique du sable



Caoutchouc1 0-0,8mm



Caoutchouc2 0,5-2,5mm

Composition	B0(0%)	B1(2% C1)	B2(2% C2)	B3(5% C1)	B4(5% C2)	B5(5%C1+ 5% C2))
Ciment (Kg)	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Eau (Kg)	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
Sable (Kg)	19,27	19,25	19,25	18,68	18,67	17,69
Caoutchouc (Kg)	0	0,188	0,165	0,405	0,396	0,801
Gravier (Kg)	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6



1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspectives





% de Caoutchouc	0%	2% C1	2% C2	5% C1	5% C2	5% C1+C2
Affaissement (mm)	71	62	58	52	45	48,5
	S2	S2	S2	S2	S1	S1



Essai d'Affaissement

NF EN 12350-2

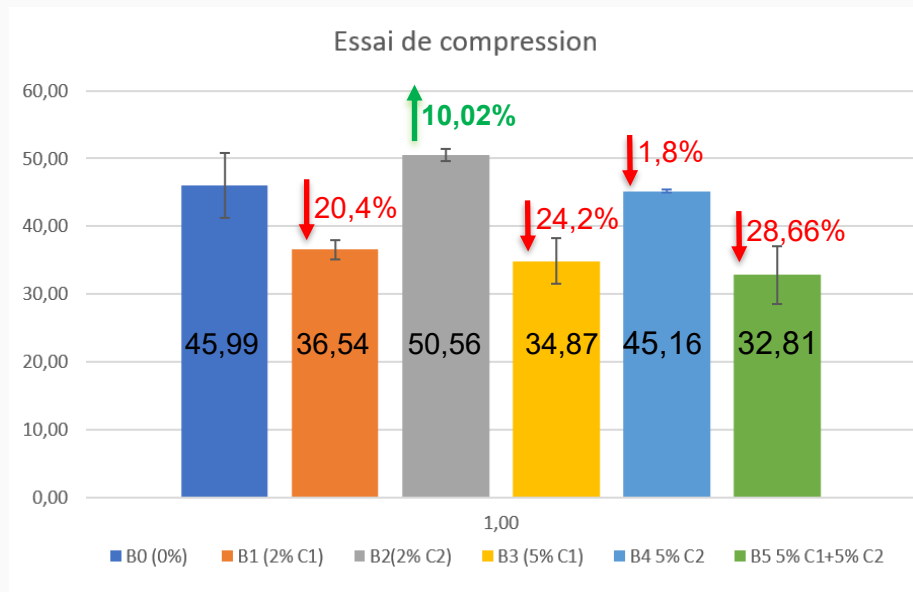
« L'augmentation du taux de substitution ainsi que la taille des particules de caoutchouc influencent négativement la fluidité du béton »

=>Le caoutchouc est **moins absorbant** que le sable et **repousse partiellement l'eau**, ce qui réduit la quantité d'eau libre disponible pour la lubrification du mélange



Classe	Affaissement	Consistance
S1	De 1 à 40 mm	Ferme
S2	50 à 90 mm	Plastique
S3	100 à 150 mm	Très plastique
S4	160 à 210 mm	Fluide
S5	>210 mm	Très fluide





-Le caoutchouc de type C2 a une **meilleure transmission des charges mécaniques**.

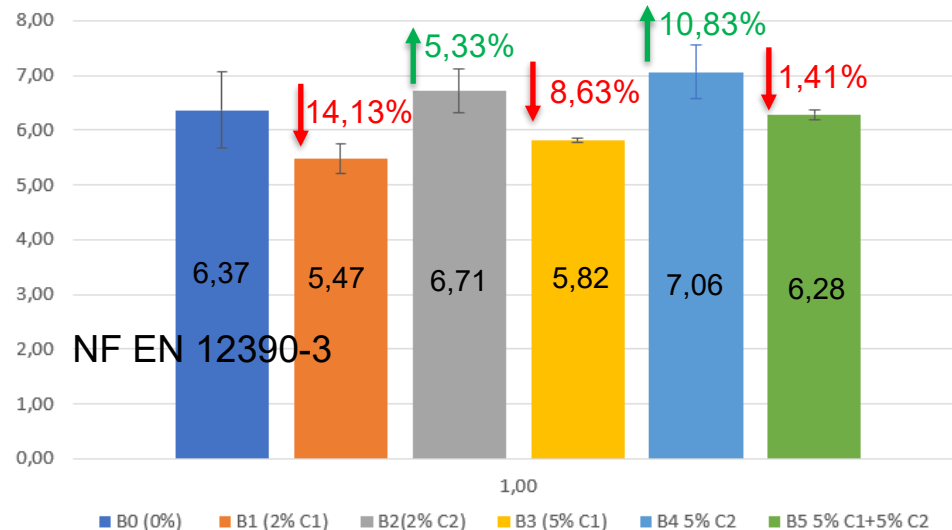
tandis que le caoutchouc de type C1 a un effet **négligeable à faible dosage** qui a une interface caoutchouc-ciment **plus sollicitée** mais **moins performante**.

=> La substitution de 2 % de C2 offre les meilleures performances..





Essai de Traction-Flexion 3 points



flexion (3 points)

-Le caoutchouc grossier améliore la résistance à la traction par flexion, tandis que le caoutchouc fin a un effet négligable à faible dose.

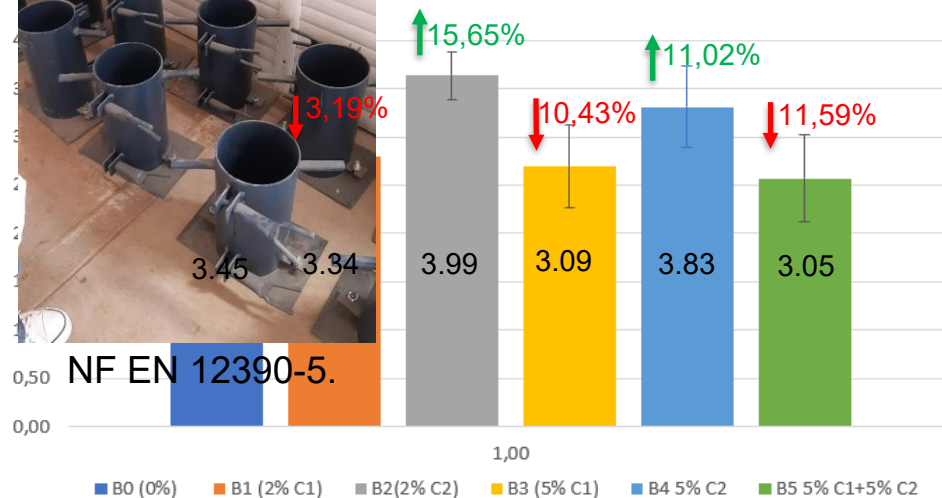
-un mélange équilibré des deux types de caoutchouc semble compenser ces effets et permet de retrouver la résistance à la traction initiale du béton témoin.

=> Les substitutions de 5 % et 2 % de C2 sont les plus importantes.





Traction par fendage



=>L'incorporation de caoutchouc **réduit la résistance à la traction par fendage**, avec une influence variable selon **le type** de caoutchouc et le dosage. Un mélange des deux types à 10% total résulte en une perte notable de résistance .

par fendage

=> L'incorporation de 2 % et 5 % de C2 donne les meilleures performances





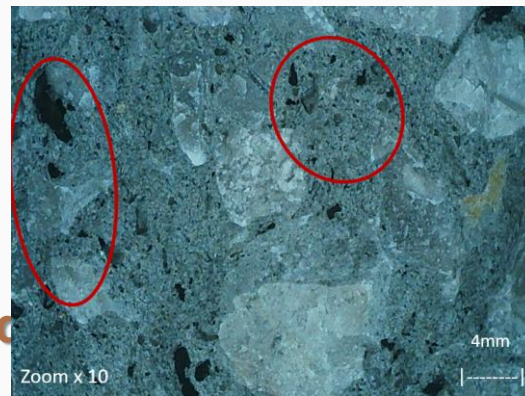
2% C1

=> Les particules fines de C1 ne parviennent pas à remplir les pores existants.



2% C2

=> L'ajout de 2 % de caoutchouc grossier améliore l'interface granulats-pâte de ciment, favorisant une meilleure compacité du béton en comblant les vides.



5% C1+ 5% C2

=> adhérence variable entre la pâte de ciment et le mélange de granulats de caoutchouc fins et gros.





Formulation	Module d'élasticité (MPa)
BO(0%)	43 617,0
B1 (2% C1) $5\% C_1 R_1$	23 558,5
B2 (2% C2) $5\% C_2 R_2$ ★	41 314,0
B3 (5% C1)	27 582,0
B4 (5% C2)	35 727,0
B5 (5% C1+5% C2)	30 974,0

=> Cela indique que les fines particules de caoutchouc réduisent fortement la rigidité du béton.

Détermination de module d'élasticité

=> la granulométrie plus importante est C2 permet une meilleure intégration dans la matrice cimentaire, limitant la perte de rigidité.

=> L'incorporation de 2 % de C2 donne les meilleures performances.

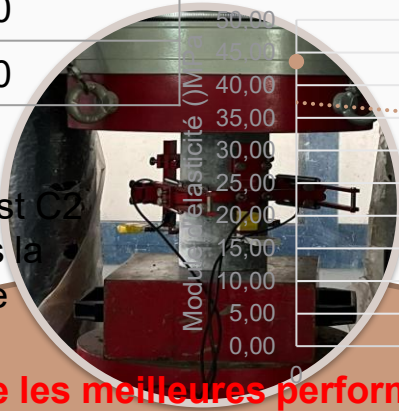
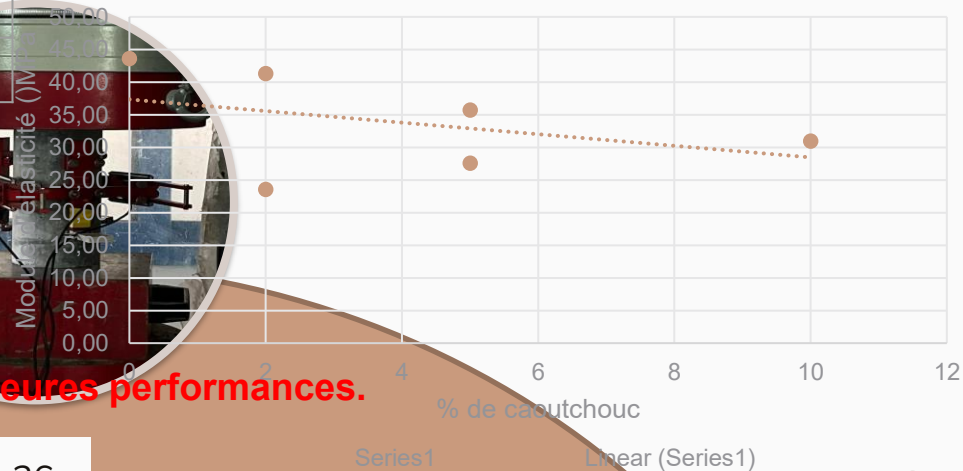


Chart Title





=>En tenant compte de l'ensemble des résultats, un dosage de 2% de caoutchouc de type C2 semble être le compromis le plus favorable.

L'essai réaliser	Affaissement	Compression	Flexion	Fendage	Module d'élasticité
Béton témoin	71 mm	45,99 MPa	6,37 MPa	3,45 MPa	43 617 MPa
2% de C2	58 mm	50,59 MPa	6,71 MPa	3,99MPa	41 319 MPa



1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

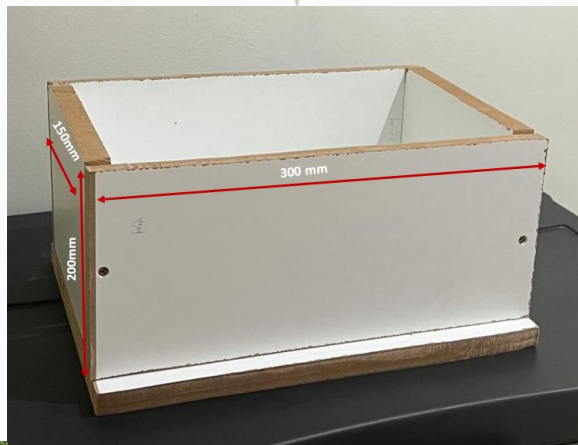
3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspective

Dimensions de bloc



Béton Témoin



Béton avec 2% de
caoutchouc 0,5-2,5mm





1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspective

Essai de
compression
en boutisse



Essai de
compression
sur chanfrein



Essai de
traction par flexion
en 3points



Les essais réalisés

Type de béton	fc28 (MPa)	fc28 (MPa)	ft28 (MPa)
Béton ordinaire	35,51	33,14	3,67
Béton au caoutchouc (2% C2)	28,78	22,24	3,85

1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspective

l'économie circulaire est un modèle de production et de consommation qui vise à réduire le gaspillage des matériaux en réutilisant, recyclant et valorisant les ressources tout au long de leur cycle de vie.



13,5Kg

Brûler 13,5 kg de pneus ≈ 34 kg de CO₂ + substances cancérigènes → risques pour la santé (cancer, maladies respiratoires) et pollution locale grave.

1- Présentation générale du projet

2- Caractéristique mécanique des matériaux

3- Analyse des résultats expérimentaux

4- Blocs de béton au Caoutchouc et caractéristique mécanique

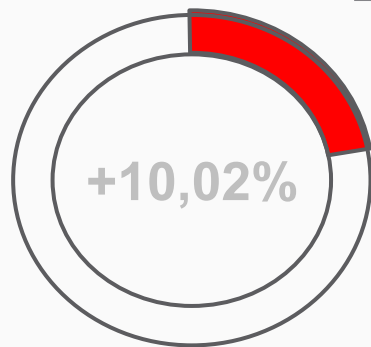
5-Etude d'impact sur l'économie circulaire

6-Conclusion et perspectives

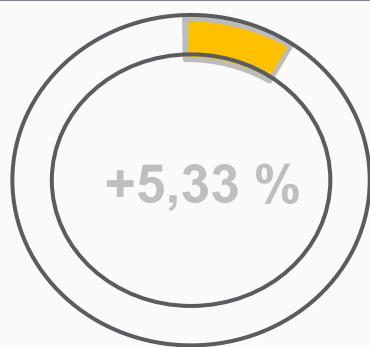
Synthèse des résultats

L'ajout de **2 % de caoutchouc de type C2** (granulométrie 0,5–2,5 mm) a montré un **équilibre optimal** entre les propriétés mécaniques :

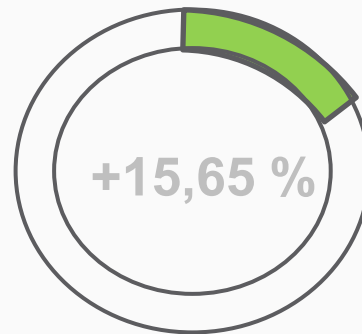
Traction par flexion



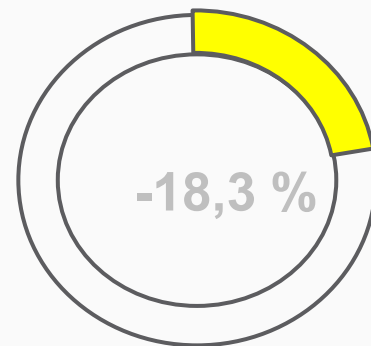
Résistance à la
compression



Essai d'Affaissement



Traction par fendage



Perspectives

Ce projet démontre que les déchets peuvent devenir une ressource précieuse si l'On OSE innove .

Réaliser des essais balistiques sur des blocs en béton à base de caoutchouc.





Ce travail a été le fruit de beaucoup d'efforts , mais aussi de belles découvertes .

Merci pour votre attention.

OAB

- La point O
- La point B
- La point A:

$$X_A = \frac{D_{max}}{2} = 10 \text{ mm} \quad \text{et} \quad Y_A = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$$

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
400+Superplastifiant	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	+2	-2	0	-4	-2
350	+2	+4	0	+2	-2	0
300	+4	+6	+2	+4	0	+2
250	+6	+7	+4	+6	+2	+4
200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Figure 10 (paragraphe 4.2) : Valeur du terme correcteur K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats [1]



Comparaison des courbes granulométriques

