



# LES GRANULATS DE PRÉMÉLANGE : TOUT CE QUE VOUS DEVEZ SAVOIR

**BÉTON MALIN**



## **ALI MAOLIDA**

### **GÉRANT DE BÉTON MALIN**

Je propose aux professionnels du BTP des solutions durables, innovantes pour optimiser l'utilisation du béton, en réduisant leurs coûts et en conservant leur compétitivité tout en respectant les réglementations environnementales.

Vous avez envie d'en savoir plus sur les granulats de prémélange ? Votre ebook est là pour vous aider ! Découvrez les taux maximum d'incorporation de granulats recyclés, les différentes classes de béton avec granulats recyclés ou de prémélange, ainsi que tous les avantages de l'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication de béton. Nous sommes ravis de pouvoir vous aider à mieux comprendre ce sujet passionnant !"

# CONTENTS

**1**  
INTRODUCTION

**2**  
CARACTÉRISTIQUES DES SABLES ET GRAVILLONS  
DE PRÉMÉLANGE

**3**  
CONTRÔLE DU POURCENTAGE MASSIQUE DE  
GRANULATS DE PRÉMÉLANGE

**4**  
TAUX MAXIMUM D'INCORPORATION DES  
GRANULATS RECYCLÉS

**5**  
CLASSES DE BÉTONS DE GRANULATS RECYCLÉS  
OU DE PRÉMÉLANGE

**6**  
CONCLUSION



# 1

CHAPITRE

## INTRODUCTION

# DÉFINITION DES GRANULATS DE PRÉMÉLANGE

Les granulats de prémélange sont des granulats pour béton obtenus par mélange de granulats recyclés et de granulats naturels selon des pourcentages définis. Ils sont constitués soit de gravillons naturels et recyclés, soit de sables naturels et recyclés, soit de graves naturelles et recyclées.

Le pourcentage massique de granulats recyclés dans le granulat de prémélange est désigné par les lettres "Tx" suivies d'un nombre, représentant la valeur de référence du pourcentage massique de granulat recyclé dans le granulat de prémélange. Les caractéristiques des sables et des gravillons recyclés entrant dans la composition des granulats de prémélange doivent être communiquées au producteur de béton, conformément aux fréquences et caractéristiques mentionnées dans les tableaux de contrôle.



# IMPORTANCE DU CONTRÔLE QUALITÉ DES GRANULATS DE PRÉMÉLANGE

Le contrôle qualité des granulats de prémélange est crucial pour la production de béton de qualité. Les caractéristiques des sables et gravillons recyclés utilisés pour les granulats de prémélange doivent être communiquées au producteur de béton, de même que les essais réalisés sur les granulats de prémélange eux-mêmes. Certaines caractéristiques des gravillons, comme les alcalins libérables, les chlorures solubles dans l'eau et le coefficient d'aplatissement, ne peuvent être mesurées que sur le granulats de prémélange. D'autres caractéristiques, telles que la masse volumique, le coefficient d'absorption d'eau et le Los Angeles, peuvent être calculées à partir des caractéristiques des gravillons naturels et recyclés.

Le pourcentage massique de granulats recyclés dans le granulats de prémélange doit être contrôlé par le producteur de béton selon des fréquences et des caractéristiques mentionnées dans un tableau. La teneur en constituant Rc (béton, produits en béton, mortier, éléments de maçonnerie en béton) du gravillon recyclé et la teneur en sulfates solubles dans l'eau du sable recyclé doivent être communiquées au producteur de béton pour la vérification du pourcentage massique de recyclé dans le prémélange. Enfin, un critère d'acceptation doit être respecté selon lequel le taux de substitution mesuré doit se situer entre le taux du producteur plus ou moins 10



# 2

CHAPITRE

## CARACTÉRISTIQUES DES SABLES ET GRAVILLONS RECYCLÉS

# COMMUNICATION DES CARACTÉRISTIQUES AUX PRODUCTEURS DE BÉTON

Dans le cadre des contrôles sur les pré-mélanges, il est important de communiquer les caractéristiques des sables et gravillons recyclés aux producteurs de béton de la même manière que les essais sur le granulats de pré-mélange lui-même. Les caractéristiques qui peuvent être mesurées uniquement sur le granulats de pré-mélange incluent les alcalins libérables, les chlorures solubles dans l'eau et le coefficient d'aplatissement. Pour d'autres caractéristiques, comme la masse volumique, le coefficient d'absorption d'eau, le coefficient d'aplatissement, le Los Angeles et donc ceux du granulats de pré-mélange, ceux-ci peuvent être calculés en ayant au départ les caractéristiques des gravillons naturels et des gravillons recyclés. On va donc appliquer une moyenne pondérée en fonction de la proportion massique respective des gravillons naturels et des gravillons recyclés dans le pré-mélange, puisque ces essais présentent une linéarité en fait des résultats.

Le pourcentage massique de granulats recyclés est calculé selon la formule :  $T_x = 100 * (M_r / (M_n + M_r))$ . Le pourcentage de taux massique devra être contrôlé par le producteur de béton. Pour les gravillons, le  $T_x$  mesuré sera égal au pourcentage de béton dans le pré-mélange divisé par le pourcentage de béton dans le granulats recyclé. Le RC du pré-mélange sera déterminé par le producteur de béton selon la norme de tri NF EN 933-11. Pour les sables, le  $T_x$  mesuré est mesuré à partir des sulfates solubles dans l'eau et est égal au sulfate soluble dans l'eau du pré-mélange divisé par les sulfates solubles dans l'eau du granulats recyclé. La teneur en sulfate soluble dans l'eau du pré-mélange sera là aussi déterminée par le producteur de béton.

Il y aura enfin un critère d'acceptation pour lequel le  $T_x$  mesuré devra se situer entre le  $T_x$  du producteur plus ou moins 10. Les fréquences de contrôle suivantes doivent être respectées pour les sables et gravillons de prémélange :

- Sulfates solubles dans l'eau : NF EN 1744-1 (§10.2)
- Masse volumique : NF EN 1097-6
- Influence sur le temps de prise : NF EN 1744-6
- Coefficient d'aplatissement : NF EN 933-3
- Los Angeles : NF EN 1097-2
- Chlorures solubles dans l'eau : NF EN 1744-1
- Absorption d'eau : NF EN 1097-6 et FD P 18-663
- Alcalins libérables : XP P 18-544

# COMMUNICATION DES CARACTÉRISTIQUES AUX PRODUCTEURS DE BÉTON

Les fréquences de contrôle des caractéristiques des sables et gravillons recyclés entrant dans la constitution des granulats de prémélange doivent être respectées en fonction des caractéristiques mentionnées dans le tableau des fréquences de contrôle du granulat recyclé. Les sables et gravillons recyclés de type 3 ne sont pas autorisés pour la reconstitution de granulats de prémélange.

Le béton contenant des granulats recyclés est classé en fonction de son taux massique total de granulats recyclés et du type de gravillons recyclés. La classe de taux de substitution en granulats recyclés qui en résulte est prise en compte par les normes Eurocode EC2 pour les calculs de dimensionnement.



# FRÉQUENCES ET CARACTÉRISTIQUES DES ESSAIS À RÉALISER

Afin de contrôler les pré-mélanges, les caractéristiques des sables et gravillons recyclés doivent être communiquées aux producteurs de béton de la même manière que les essais réalisés sur le granulats de pré-mélange lui-même. Les fréquences et les caractéristiques des essais sont mentionnées dans le tableau suivant :

Caractéristique	Norme	Sable	Gravillon	Fréquence temporelle	Fréquence quantitative (en tonnes)
Sulfates solubles dans l'eau	NF EN 1744-1 (§10.2)	X	X	1/semaine	1/2000
Masse volumique	NF EN 1097-6	X	X	1/semaine	1/2000
Influence sur le temps de prise	NF EN 1744-6	X	X	2/mois	1/4000
Coefficient d'aplatissement	NF EN 933-3		X	1/mois	1/8000
Los Angeles	NF EN 1097-2		X	1/2 mois	1/16000
Chlorures solubles dans l'eau	NF EN 1744-1	X	X	2/mois	1/4000
Absorption d'eau	NF EN 1097-6 et FD P 18-663	X	X	1/semaine	1/2000
Alcalins libérables	XP P 18-544		X	2/mois	1/4000

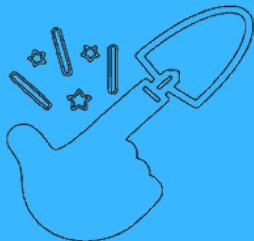
SUITE AUX CONCLUSIONS DU PN RECYBETON, LA MÉTHODE POUR LA MESURE DES CHLORURES SOLUBLES EST DÉSORMAIS CELLE DE LA NORME NF EN 1744-1 (CHLORURE SOLUBLES DANS L'EAU) ET PLUS LES CHLORURES SOLUBLES DANS L'ACIDE (NF EN 1744-5)

# FRÉQUENCES ET CARACTÉRISTIQUES DES ESSAIS À RÉALISER

Cependant, il est important de noter que pour les gravillons, certaines caractéristiques ne peuvent être mesurées que sur le granulats de prémélange. C'est le cas des alcalins libérables, des chlorures solubles dans l'eau et du coefficient d'aplatissement. Pour d'autres caractéristiques, telles que la masse volumique, le coefficient d'absorption d'eau, le coefficient d'aplatissement, le Los Angeles, et donc ceux du granulats de prémélange, peuvent être calculés en utilisant les caractéristiques des gravillons naturels et des gravillons recyclés. On applique donc une moyenne pondérée en fonction de la proportion massique respective des gravillons naturels et des gravillons recyclés dans le pré-mélange, puisque ces essais présentent une linéarité en fonction des résultats.

Il est également important de mentionner que le producteur de granulats de prémélange doit communiquer spécifiquement au producteur de béton la teneur en constituant  $R_c$  (béton, produits en béton, mortier, éléments de maçonnerie en béton) du gravillon recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange. De même, la teneur en sulfates solubles dans l'eau du sable recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange doit être communiquée au producteur de béton. Ces valeurs seront utilisées par le producteur de béton pour vérifier le pourcentage massique de recyclé dans le prémélange.

**!** C'est la fréquence qui donne le plus grand nombre d'échantillons analysés qui s'applique, avec un minimum d'un essai pour chacune des caractéristiques. Les fréquences de la norme NF EN 206/CN+A2 sont plus élevées que celles de la norme granulats NF EN 12620, qui sert de base au marquage CE des granulats. Il convient donc soit que le producteur de granulats accepte d'appliquer des fréquences d'essai plus élevées, dans ce cas-là, cela devra être négocié dans le cadre de la relation contractuelle, soit que le complément d'essai à réaliser sur les granulats recyclés, soit réalisé par le producteur de BPE lui-même.



# 3

CHAPITRE

## CONTRÔLE DU POURCENTAGE MASSIQUE DE GRANULATS DE PRÉMÉLANGE

# FORMULE DE CALCUL DU POURCENTAGE MASSIQUE

Voilà comment on calcule le pourcentage de granulats recyclés dans le mélange : on utilise cette formule :  $Tx = 100 * (Mr / (Mn + Mr))$ . C'est facile ! Mr et Mn, c'est juste les poids des granulats recyclés (Mr) et naturels (Mn) qu'on utilise pour faire le mélange.

## Pour les gravillons :

$Tx \text{ mesuré} = Rc \text{ prémélange} / Rc \text{ recyclé}$

Le Rc du prémélange sera déterminé par le producteur de béton selon la norme NF EN 933-Note : Il s'agit bien du Rc seul et non du Rcu (Ru exclu)

**Rappel :** Rc, Ru et Rcu sont les éléments que contiennent les granulats recyclés

Rc : béton, produits en béton, mortier, élément de maçonnerie en béton

Ru : granulats non liés, pierre naturelle, granulats traités aux liants hydrauliques

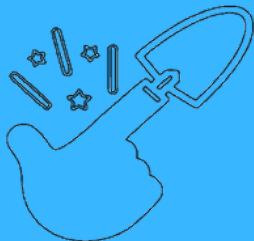
$Rcu = Rc + Ru$

## Pour les sables :

$Tx \text{ mesuré} = SS \text{ prémélange} / SS \text{ recyclé}$

La teneur en sulfates solubles dans l'eau du prémélange (SS prémélange) sera déterminé par le producteur de béton selon la norme NF EN 1744-1 § 8.21 En gros, le producteur de béton doit juste vérifier que le producteur de granulats a fait son travail correctement en utilisant les normes NF EN 933-11 et NF EN 1744-1 § 8.21 pour mesurer le Rc du mélange et la teneur en sulfates solubles dans l'eau du mélange. Si la valeur de Tx mesurée est dans la fourchette du producteur plus ou moins 10, ( $Tx - 10 \leq Tx, \text{ mesuré} \leq Tx + 10$ ) alors tout va bien.





# CHAPITRE

# 4

## TAUX MAXIMUM D'INCORPORATION DES GRANULATS RECYCLÉS ET DE PRÉMÉLANGE

# SEUILS DE SUBSTITUTION POUR CERTAINES CLASSES D'EXPOSITION

Les seuils de substitution pour certaines classes d'exposition sont présentés dans les tableaux ci dessous.

Pour les gravillons recyclés de type 1, le taux maximum de substitution varie de 20% à 60%, tandis que pour les gravillons recyclés de type 2, le taux maximum de substitution varie de 10% à 40%.

Pour les sables recyclés, le taux maximum de substitution varie de 5% à 30%. Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au pourcentage le plus proche.

	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1	XD1, XS1	XF2, XD2, XD3	XS2, XS3	XF3, XF4	XA						
Gravillon recyclé type 1	60	40	60	30	50	30	50	20	40	10	30	10 a	30 a	0b
Sable recyclé	30	10	20	10	20	10	20	10	15	10	15	0b	15	0b
Règles de formulation complémentaire		/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	

a Gravillons résistants au gel au sens de la norme NF P18-545.

b A l'exception des granulats récupérés qui restent utilisables dans les conditions du 5.2.3.3 et NA.5.2.3.3.

c Par rapport aux préconisations des tableaux NA F

NOTE Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au pourcentage le plus proche.

	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1	XD1, XS1	XF2, XD2, XD3	XS2, XS3	XF3, XF4	XA						
Gravillon recyclé type 2	40	20	30	15	25	15	25	10	20	5	15	5 a	15 a	0 b
Sable recyclé	15	5	10	5	10	5	10	5	5	0b	5	0b	5	0b
Règles de formulation complémentaire		/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	/	$E_{\text{eff}}/L_{\text{eq}}$ max abaissé de 0,05 <sub>c</sub>	

a Gravillons résistants au gel au sens de la norme NF P18-545.

b A l'exception des granulats récupérés qui restent utilisables dans les conditions du 5.2.3.3 et NA.5.2.3.3.

c Par rapport aux préconisations des tableaux NA F

NOTE Ces taux sont vérifiés en arrondissant le taux de substitution au pourcentage le plus proche.



# 5

CHAPITRE

## CLASSES DE BÉTONS DE GRANULATS RECYCLÉS OU DE PRÉMÉLANGE

# CLASSEMENT EN FONCTION DU TAUX MASSIQUE DE GRANULATS RECYCLÉS

Le béton contenant des granulats recyclés est classé en fonction de son taux massique\* total de granulats recyclés, et du type de gravillons recyclés. La classe de taux de substitution en granulats recyclés qui en résulte est prise en compte par les normes Eurocode EC2 pour les calculs de dimensionnement

! Le taux massique est différent du % massique Tx

Note : Ceci ne s'applique qu'aux bétons contenant plus de 1 % de granulats recyclés, les bétons contenant moins de 1 % de recyclés étant considérés comme des bétons de granulats naturels.

\*taux massique total de granulats recyclés = masse de granulats recyclés (sables + gravillons) / masse totale de granulats (sables + gravillons) (arrondi à 0.01 près)

Classe de taux de substitution en granulats recyclés	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Plage de taux massique total de granulats recyclés (sable recyclé + gravillon Type 1)	0,01-0,05	0,06 – 0,15	0,16 -0,25	0,26 -0,40	0,41 -0,55	0,56 -0,70	0,71 -0,85	0,86 -1,00
Plage de taux massique total de granulats recyclés (Sable recyclé + gravillons de type 2)	0,01-0,02	0,03 – 0,07	0,08 -0,12	0,13 -0,20	0,21 -0,27	0,28 -0,35	0,36 -0,42	0,43 -0,50

# CAS DE GRANULATS DE PRÉMÉLANGE

Dans le cas d'utilisation de granulats de prémélange, la masse de granulat recyclé à prendre en compte pour le calcul du taux massique total de granulats recyclés dans le béton est égal à  $T_x$  \* (Masse de granulats de prémélange)/100. Dans le cas où le sable recyclé est utilisé sans gravillons recyclés, la ligne concernant les gravillons de type 1 s'applique.

Dans le cas d'utilisation de granulats de prémélange, la masse de granulat recyclé à prendre en compte pour le calcul du taux massique total de granulats recyclés dans le béton est égal à  $(T_x * (\text{Masse de granulats de prémélange}))/100$

Note : L'utilisation d'un béton de classe R2 et au-delà dans le cas de béton armé (R1 et au-delà pour le béton précontraint) entraîne une prise en compte particulière au niveau des règles de dimensionnement (cf. NF EN 1992-1-1/CN et NF EN 1992-1-2/CN), il est important d'attirer l'attention du prescripteur sur ce fait.

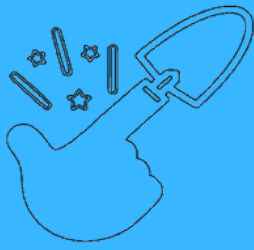
Tableau NA 2 : Classes de taux de substitution de granulats recyclés dans le béton

Classe de taux de substitution (à mentionner sur BL du béton cf. NA7.3)	R0	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Plage de taux massique total (sable recyclé + gravillon Type 1)	0,01 - 0,05	0,06 - 0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,40	0,41 - 0,55	0,56 - 0,70	0,71 - 0,85	0,86 - 1,00
Plage de taux massique total (sable recyclé + gravillon Type 2)	0,01 - 0,02	0,03 - 0,07	0,08 - 0,12	0,13 - 0,20	0,21 - 0,27	0,28 - 0,35	0,36 - ,42	0,43 - 0,50

Uniquement dans le cas des bétons précontraints

Règles particulières pour le calcul du dimensionnement Eurocode 2.

Durabilité à justifier par approche performantielle



# 6

CHAPITRE

## CONCLUSION

# IMPORTANCE DU RESPECT DES NORMES ET DES FRÉQUENCES DE CONTRÔLE

Dans le cadre des contrôles sur les pré-mélanges, il est important de respecter les normes et les fréquences de contrôle pour les sables et gravillons recyclés entrant dans la composition du granulat de prémélange.

Les caractéristiques des sables et gravillons recyclés doivent être communiquées au producteur de béton pour l'ensemble des caractéristiques mentionnées dans le tableau, et pour les gravillons, un certain nombre de caractéristiques ne peuvent être mesurées que sur le granulat de pré-mélange.

Il est donc essentiel que le producteur de granulats de prémélange communique au producteur de béton la teneur en constituant Rc du gravillon recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange, ainsi que la teneur en sulfates solubles dans l'eau du sable recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange.

En ce qui concerne les fréquences de contrôle, celles-ci doivent être respectées pour les sables et gravillons de prémélange conformément au tableau des fréquences de contrôle du granulat recyclé.

# AVANTAGES DE LA MISE À JOUR DE LA NORME NF EN 206/CN+A2 SUR LES GRANULATS RECYCLÉS

L'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication du béton peut avoir un impact sur la qualité du béton et la sécurité des constructions. Le taux de substitution en granulats recyclés doit être contrôlé et respecter les normes Eurocode EC2 pour les calculs de dimensionnement. Les caractéristiques des sables et gravillons recyclés entrant dans la composition du granulats de prémélange doivent être communiquées au producteur de béton et contrôlées selon les fréquences et les caractéristiques mentionnées dans cet ebook.

Des essais doivent également être réalisés sur le granulats de prémélange lui-même pour mesurer certaines caractéristiques telles que les alcalins libérables, les chlorures solubles dans l'eau et le coefficient d'aplatissement.

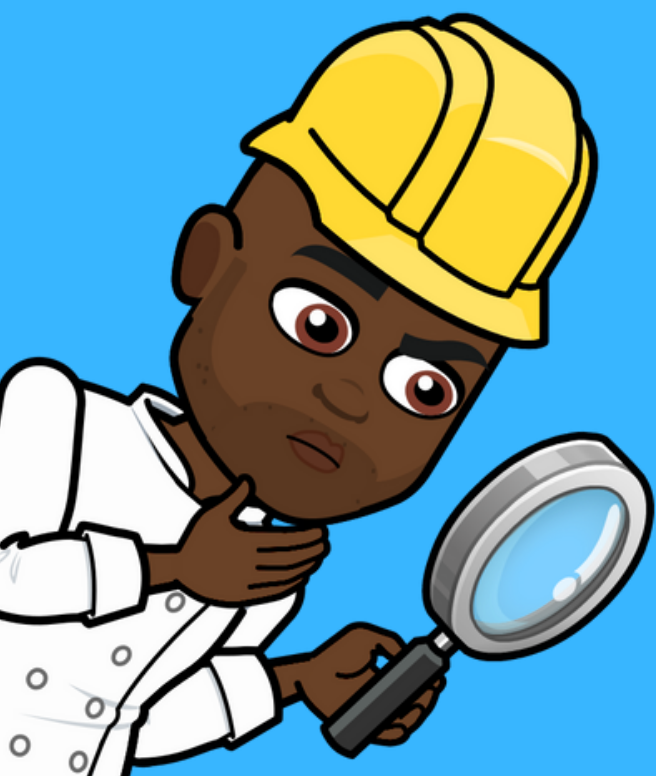
Les producteurs de granulats de prémélange doivent communiquer les teneurs en constituant Rc (béton, produits en béton, mortier, éléments de maçonnerie en béton) du gravillon recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange et la teneur en sulfates solubles dans l'eau du sable recyclé utilisé pour la fabrication du prémélange.

En conclusion, la mise à jour de la norme NF EN 206/CN+A2 sur les granulats recyclés apporte plusieurs avantages. Tout d'abord, grâce aux travaux du Projet National RECYBETON (PN RECYBETON), elle permet de fabriquer des bétons de meilleure qualité.

Ensuite, elle favorise une collaboration plus étroite entre les producteurs de béton, les producteurs de granulats et les autres acteurs du secteur de la construction (les prescripteurs, les bureaux d'étude entre autres).

Cela devrait permettre d'améliorer la qualité des granulats recyclés utilisés dans la fabrication des bétons et de réduire l'impact environnemental de cette industrie.

En effet, il est maintenant possible de substituer davantage de granulats naturels par des granulats recyclés, ce qui réduit la quantité de déchets produits et permet une meilleure utilisation des ressources naturelles.



# SOURCES ET DEFINITIONS

## Données et tableaux : SNBPE

$E_{eff}/L_{eq}$  : Le rapport eau efficace ( $E_{eff}$ ) sur liant équivalent ( $L_{eq}$ ) est une mesure qui permet de savoir si la quantité d'eau dans un mélange de béton est bien dosée par rapport à la quantité de liant utilisée. Si le rapport est trop élevé, cela signifie qu'il y a trop d'eau par rapport à la quantité de liant, ce qui peut rendre le béton moins résistant. En revanche, si le rapport est trop faible, cela signifie qu'il n'y a pas assez d'eau, ce qui peut rendre le béton trop sec et difficile à travailler. Il est donc important de trouver le bon rapport pour obtenir un béton de qualité.

X0, XCl ..... : Ce sont les classes environnementales du béton sont des critères pour évaluer la performance environnementale des bâtiments et des ouvrages de génie civil. Elles permettent de choisir le béton le plus adapté en fonction de l'environnement dans lequel il sera utilisé, afin de s'assurer qu'il sera durable et résistant aux agressions extérieures



# MERCI D'AVOIR TÉLÉCHARGER VOTRE EBOOK

Prenez soin de vous et de vos proches



Si vous voulez en savoir plus :  
[alimaolida@betonmalin.fr](mailto:alimaolida@betonmalin.fr)