

Contribution à l'évaluation des propriétés thermiques et mécaniques des constructions en béton

Abdallah Talhaoui ¹, Adel Benidir ², Naima Fezzioui ¹

¹ Université Tahri Mohamed Bechar, Département de Génie Civil et d'Hydraulique ; Laboratoire Mécanique des Structures (LMS) ; Route Kenadsa, Bp 417, Bechar, Algérie, 08000 - Algérie.

² Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) Cité nouvelle ElMokrani. Soudania, Alger, Algérie, 16097 – Algérie

RESUME

Cet article présente une étude de caractérisation thermique et mécanique du béton sous différentes conditions de cure. L'étude consiste en la préparation de plusieurs éprouvettes en béton ordinaire avec l'utilisation d'un sable de dune. Les éprouvettes sont placées dans un environnement totalement humide et ensuite retirées à des différents jours d'intervalles pour estimer à 28 jours la conductivité thermique, la vitesse de propagation des ultrasons ainsi que la résistance à la compression. Les résultats montrent que la variation de la résistance à la compression enregistrée peut atteindre 71 % entre les deux expositions extrêmes. Cette dispersion des résistances à la compression est confirmée par l'évaluation non-destructive où la différence entre les vitesses des ondes ultrasonores avoisine les 15 %. Il a été aussi remarqué l'apparition d'une corrélation positive entre le temps d'immersion dans l'eau et la conductivité thermique. En effet, l'écart de conductivité thermique peut atteindre 31 % sur la globalité de l'intervalle du temps d'immersion appliqué.

Mots-clés béton ordinaire, essai non destructif, conductivité thermique, résistance à la compression, efficacité énergétique.

I. INTRODUCTION

Le béton est un matériau composite très utilisé en construction (Nadare et al, 2018)(Mohellebi et al, 2014). Il est constitué d'éléments majoritairement puisés à un niveau de local (sable, gravier, eau et ciment) et offre une solution appréciée en termes de coût et de durabilité. Néanmoins, la préparation et la mise en œuvre des bétons varient selon les matériaux utilisés (type de sable, type de ciment, etc.) (Sidi Mohammed et al, 2009)(Moulay-Ali et al, 2021),les conditions climatiques avoisinantes (classe d'exposition, etc.) (Chennouf et al., 2018) et les conditions d'exploitation (centrale électrique, tunnel, sous-sol, etc.)(Xue et al., 2020). Cependant, et avec le contexte énergétique tendu, les propriétés mécaniques des bétons doivent être associées à d'autres paramètres (thermiques, acoustiques, etc.). En effet l'efficacité énergétique des bâtiments présente un axe de progrès prioritaire en raison de la croissance démographique et des sources d'énergie limitées. Un tiers de la consommation totale d'énergie et 30 % des émissions de gaz à effet de serre sont attribués aux bâtiments (DTR34, 1998)(Ministère de l'Habitat, 1997). De plus, le bâtiment a connu une évolution marquée notamment avec l'introduction de nouvelles méthodes de

constructions. Les méthodes conventionnelles sont de plus en plus remplacées par de nouvelles méthodes à l'instar de l'utilisation du système de coffrage tunnel (Xie et al., 2020). Avec ce procédé, la main d'œuvre et le délai de réalisation sont réduits. Cependant, et avec cette technique, les gros œuvres sont entièrement constitués de béton armé et les bilans énergétiques des constructions réalisées sont tributaires de la qualité du béton une fois durci. Parmi les paramètres importants qui peuvent constamment contribuer à disperser les propriétés intrinsèques du béton sont celui de la cure (Wang et al., 2023)(Kaboosi & Emami, 2019). L'évaluation des propriétés mécaniques du béton peut être effectuée par des méthodes destructives et non destructives (Bacharz et al., 2015)(Mohammed et al., 2021). Les propriétés thermiques du béton peuvent être réalisées à travers des essais en laboratoire. Des paramètres comme la conductivité thermique, la capacité thermique et la diffusivité thermique, peuvent être obtenus à l'aide d'un appareil de type "Isomet 2104"(Omrane et al, 2020). Une fois déterminées, les propriétés thermiques du béton, sont utilisées pour la conception et la construction des bâtiments en béton armé en assurant une performance thermique optimale.

Cet article présente les résultats d'une étude expérimentale sur l'estimation des propriétés mécanique et thermique d'un béton ordinaire en fonction des conditions de cure. Un béton ordinaire de classe C30/35 a été préparé et soumis à des conditions de conservation variables afin d'évaluer la vitesse de propagation des ondes ultrasonores, la conductivité thermique et les résistances à la compression et à la traction. L'analyse des résultats montre que les conditions de cure dispersent de manière marquée les propriétés mécaniques et thermiques du béton durci. Cette dispersion des résultats des essais destructifs a été confortée par les résultats des essais non-destructifs. De plus, cette étude met en exergue l'importance des conditions de cure pour une mise en place d'un béton d'une meilleure performance thermique.

II. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISE

A. Matériaux

Sont disponibles au niveau local :

- Le ciment utilisé: est un ciment Portland compose CPJ-CEM II /A 42,5.
- L'eau de gâchage utilisée: est l'eau potable du réseau publique de la ville.
- Le sable utilisée: est un sable de dune SD. Le sable des dunes est disponible en grande quantité dans les zones arides et couvre plus de 60 % de la superficie de l'Algérie (Moulay-Ali et al., 2021).
- Gravier : Pour la formulation du béton, deux fractions ont été choisies (3/8 et 8/15).

B. Essais d'identification des matériaux

1. Caractéristiques chimiques de ciment: Tableau1 présente les caractéristiques chimiques de ciment utilisé pour la confection du béton.

TABLEAU 1. Caractéristiques chimiques de ciment (Norme En NF 197-1,2001)

Composant	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃
valeurs	64.53	21.30	4.83	3.31	2.28
Composant	MgO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
valeurs	1.43	46.56	25.93	7.2	10.07

2. Caractéristiques physiques de sable et gravier :

Tableau 2 présente les caractéristiques physiques de sable et gravier. Les valeurs obtenues respectent les normes pour la confection du béton.

TABLEAU 2. Caractéristiques physiques de sable et de gravier

Propriétés mesurées	Sable de dune	G3/8	G8/15	Normes
Masse volumique absolue ρ_s (kg/m ³)	2.64	2.65	2.65	NF EN 12620
Masse volumique apparente ρ_a (kg/m ³)	1.48	1.52	1.47	NF P 18-554 Déc 1990
Equivalent de sable Esv, Esp (%)	92.63	88.42	/	P 18-598 Oct 1991
Module de finesse Mf	2.03	/	/	NFP 18-540
Coefficient d'absorption Ab (%)	/	0.96	1.19	NF P 18-554 Déc 1990
Coefficient de propreté P(%)	0.55	0.52	0.22	NF P 18-591 Déc1990
Coefficient d'aplatissement A (%)	/	26.16	9.44	NF P 18-561 Déc 1990
Coefficient de Los Angeles LA(%)	/	13.98	11.65	NF P 18-573 Déc 1990
Coefficient de Micro Deval MD(%)	/	24.24	19.24	NF P 18-572 Déc 1990

3. Analyse granulométrique:

Cet essai est réalisé suivant à la norme NF P18 560 (Norme NF P18 560, 1992).

Les courbes d'analyses granulométriques des sables, gravier G3/8 et G8/15.

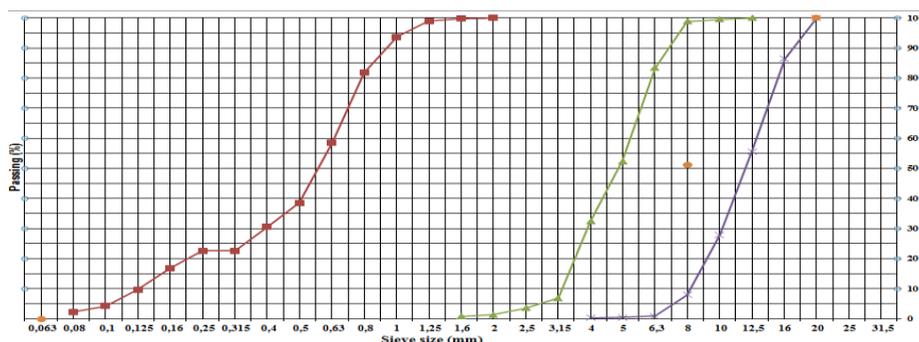


FIGURE 1. Courbes d'analyses granulométriques des sable, gravier G3/8 et G8/15

III. CONFECTION DU BETON

A. Formulation du béton

La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux – Gorisse.

Pour un béton ordinaire de classe C30/35 et un affaissement 8cm (classe de consistance S2) (Norme P18-305, 2006) et un rapport eau sur ciment (E/C) égal à 0.55, la composition de béton est donnée dans le tableau 3.

TABLEAU 3. Composition de béton

Composant	Dosage de béton kg/m ³
Ciment CPJ	350
Eau	193.46
Sable	645.46
Gravier G3/8	277.59
Gravier G8/15	625.29

B. Préparation des éprouvettes et méthode de conservation:

Pour déterminer les propriétés mécaniques du béton: la résistance en compression, la résistance en traction, la masse volumique et vitesse ultrasonore, on a utilisé des éprouvettes cylindriques de diamètres 15cm et hauteur 30cm. nous avons préparé trois éprouvettes de chaque mesure.

Pour déterminer la conductivité thermique du béton par l'instrument ISOMET 2104, on a utilisé des éprouvettes parallélépipédiques (30x30x5) cm³ et trois éprouvettes (5x5x5) cm³. Nous avons préparé trois éprouvettes de chaque mesure.

Cette expérience consiste à immerger complètement l'échantillon de béton dans l'eau à 23°C et à le maintenir dans cette position pendant des périodes donnée, 0 (signifie non émergé), 3, 7, 14, 21 et 28 jours. Après chaque période de cure on a gardé les éprouvettes dans les conditions de laboratoire avec température de 23°C et humidité de 15±5%.

C. Les essais et les appareils utilisés:

- Essais destructifs

Résistance à la compression : Les essais de résistance à la compression par écrasement ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques (30 x 15) cm² conformément à la norme (Norme NF EN P18-416,1994); (Norme NF 12390-4,2000).

Résistance à la traction : Les essais de résistance à la traction par fendage ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques (30 x 15) cm² conformément à la norme (AFNOR NF EN 12390-6, 2001).

- Essais non destructif (ultrason)

Pour mesurer de la vitesse des ondes de compression dans le béton on a utilisé l'appareil à ultrason "Entec" (Figure 2) selon [NF EN 12504-2] , avec deux méthodes directe et semi-directe sur des éprouvettes à l'âge de 28 jours (Norme NF EN 12504-2, 2004).

- La conductivité thermique:

L'appareil dédié à ces tests thermiques est l'ISOMET 2104 (Figure 3) qui est un instrument de mesure servant à mesurer directement les propriétés thermo-physique suivant la norme [ISO 8302]. Il est équipé de diverses sondes selon la nature du matériau, leurs dimension de cubique est de 50mm et elles sont destinées aux matériaux solides (Omrane et al, 2020).



FIGURE 2. Appareil ultrason "Entec"



FIGURE 3. Appareil de mesure de conductivité thermique (ISOMET 2104)

IV. RESULTATS ET INTERPRETATION

A. Propriétés mécaniques

- *Résistance à la compression:*

La Figure 4 présente la variation de la résistance à la compression en fonction du temps d'immersion dans l'eau. Elle est fortement influencée par le temps de cure: on remarque que plus le temps de cure est long, plus la résistance en compression du béton est élevée (environ 22.21 à 38.03 MPa). Au début de la prise du béton, la résistance à la compression augmente rapidement, et de nouveaux cristaux de ciment commencent à se former plus lentement. Ainsi, le temps de cure doit être suffisamment long pour permettre la formation complète de ces cristaux. Toutes les valeurs de la résistance à la compression en fonction de temps de cure respectent les documents techniques à béton ordinaire à partir 20 MPa.

- *Résistance à la traction:*

La Figure 5 présente la variation de résistance à la traction en fonction du temps d'immersion dans l'eau. Elle est également influencée par le temps de cure (environ 1.93 à 2.88MPa). En effet, le béton est un matériau très résistant en compression, mais relativement faible à la traction. Pendant le temps de cure, les cristaux de ciment continuent de se former et de se renforcer, ce qui augmente la résistance en traction du béton. Cependant, cette augmentation est moins importante que celle de la résistance en compression.

- *Essais non destructif (ultrason)*

La Figure 6 présente la variation de la vitesse ultrasonore en fonction du temps d'immersion dans l'eau pour les éprouvettes cylindrique, elle est corrélée à la résistance et à la densité du matériau, et donc influencée par le temps de cure du béton. Pendant le temps de cure, les cristaux de ciment continuent de se former et de se renforcer, ce qui augmente la densité et la résistance du béton. Cela se traduit par une augmentation de la vitesse ultrasonore du béton (environ 3.29 km/s et 4.04 km/s).

La Figure 7 présente la variation de la vitesse ultrasonore en fonction du temps d'immersion dans l'eau, pour les éprouvettes parallélépipédiques (30x30x5) cm³, on remarque également une augmentation de la vitesse ultrasonore du béton (environ 3.98km/s et 4.57km/s).

Les Figures 6 et 7, présentent des valeurs relativement différentes, qu'on peut justifier par le changement de la géométrie des éprouvettes et de la teneur en eau.

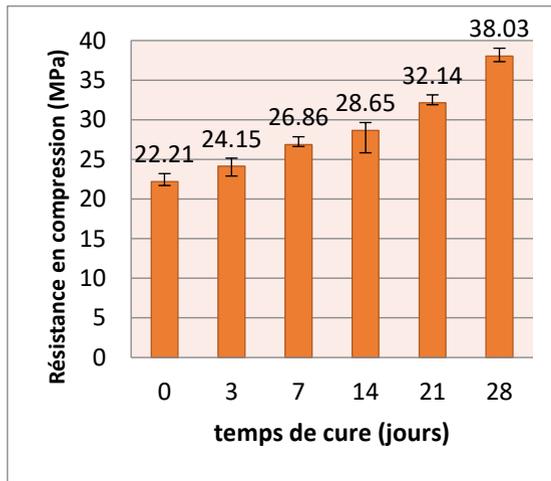


FIGURE 4. Résistance à la compression en fonction du temps de cure.

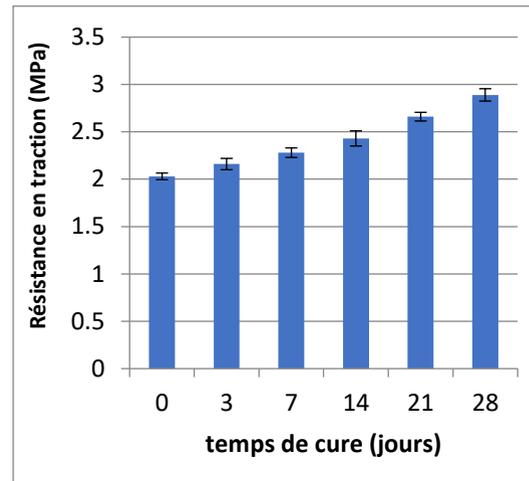


FIGURE 5. Résistance à la traction en fonction du temps de cure.

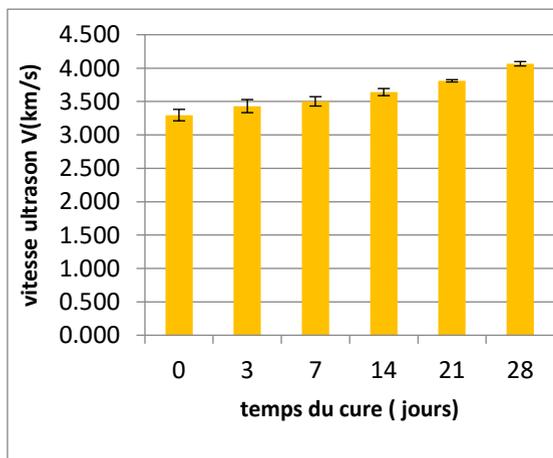


FIGURE 6. vitesse ultrasonore (30x15) en fonction du temps de cure

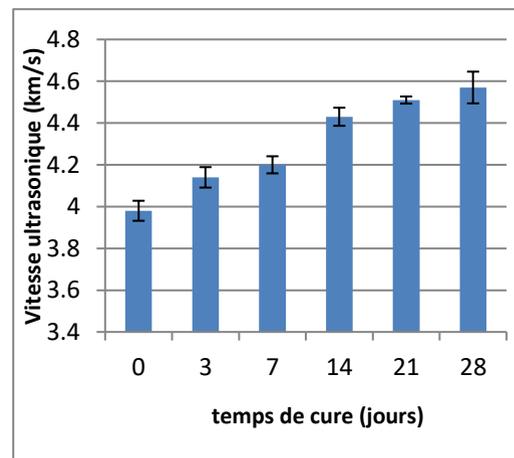


FIGURE 7. vitesse ultrasonore (30x30x5) cm³ en fonction du temps de cure.

B. Propriétés thermiques

La Figure 8 présente la variation de la conductivité thermique en fonction du temps d'immersion dans l'eau, Pendant le processus de cure, on constate une augmentation de la conductivité thermique du béton, en raison de la diminution de sa porosité (de 1.81W/(m.k) à 2.38 W/(m.k)).

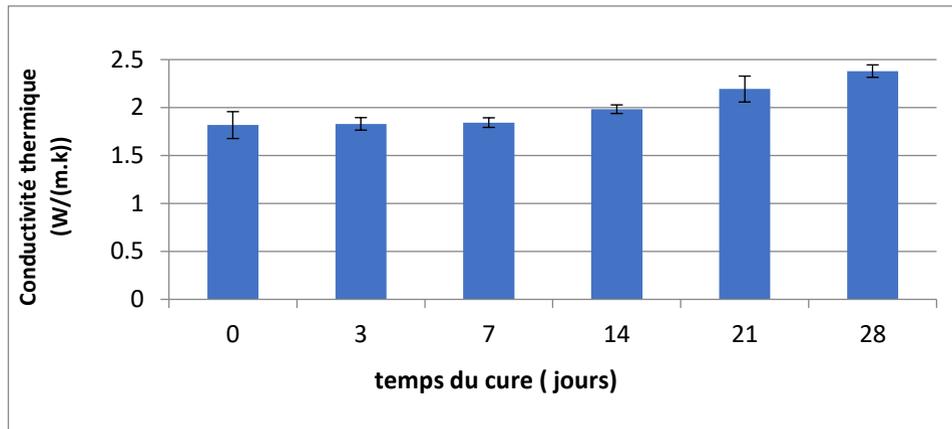


FIGURE 8. La conductivité thermique en fonction du temps de cure.

V. CONCLUSION

Cette étude expérimentale a été réalisée sur du béton fabriqué à partir de matériaux locaux sans adjuvants sous différentes conditions de cure. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Le temps de la cure a un impact très important sur les performances mécaniques du béton, la résistance à la compression, la résistance à la traction et vitesse ultrasonore ont été améliorées en fonction de temps de cure.
- La durée de cure et la conductivité thermique du béton son corrélées, pour certains systèmes constructifs, une conductivité thermique plus élevée du béton peut influencer les déperditions énergétiques d'un bâtiment.

Enfin, connaître les propriétés mécaniques et thermiques du béton dans différentes conditions de cure, nous permet de mieux comprendre son comportement pour l'adapter au domaine d'utilisation prévu.

REFERENCES

Norme EN NF 197-1,2001. *Partie 1 : " Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants "*.

Sidi Mohammed El Amine, Boukli hacene, "Contribution à L'Etude De La Resistance Caracteristique Des Betons De La Region De Tlemcen," pp. 60–70, 2009.

<https://dokumen.tips/documents/these-de-doctoratboukli-hacene-smapdf.html?Page=1>

AFNOR. (2001). *NF EN 12390-6 Testing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens*. 33(0), 8.

Bacharz, M., Goszczyńska, B., & Trąmpczyński, W. (2015). Analysis of destructive processes in unloaded early-age concrete with the acoustic emission method. *Procedia Engineering*, 108, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.144>

Chennouf, N., Agoudjil, B., Boudenne, A., Benzarti, K., & Bouras, F. (2018). Hygrothermal characterization of a new bio-based construction material: Concrete reinforced with date palm fibers. *Construction and Building Materials*, 192, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.089>

DTR34. (1998). Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments. *Document Technique Règlementaire, Ministère de l'habitat, Algérie*, 57. <http://civil-dz.com/uploads/files/public/files-ccDjBHH7nK.pdf>

Norme NF 12390-4 "essai pour beton durci résistance en compression" , P18 441 Aout 2000 .

Kaboosi, K., & Emami, K. (2019). Interaction of treated industrial wastewater and zeolite on compressive strength of plain concrete in different cement contents and curing ages. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00308. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00308>

[Lieferbedingungen, T. \(1999\). XP P 18-540. 1–36.](#)

Mekki, B. (2014). *Maître assistant Classe A Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites.*

Ministère de l'Habitat. (1997). Réglementation thermique des bâtiments d'habitation : règles de calcul des déperditions calorifiques DTR C 3-2. *Document Technique Règlementaire, Ministère de l'habitat, Algérie*, 72.

Mohammed, Rafiq, S. K., & Hamid, N. A. (2021). The assessment of concrete subjected to preloading using non destructive testing methods. *Case Studies in Construction Materials*, 15(July), e00705. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00705>

Moulay-Ali, A., Abdeldjalil, M., & Khelafi, H. (2021). An experimental study on the optimal compositions of ordinary concrete based on corrected dune sand—Case of granular range of 25 mm. *Case Studies in Construction Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00521>

[N, E. C. D. O., & Tahan, G. \(2018\). Hese de doctorat de. 1–129.](#)

Norme, A., & Technique, I. (1992). *Granulats Mesure du coefficient d'aplatissement analyse modifications corrections. 1, 1–7.*

Norme, *Sandgleichwert. (1993). Granulats Équivalent de sable analyse descripteurs. 1, 1–8.*

Norme, *Siebanalyse, & Technique, I. (1992). P 18-560 Granulats Analyse granulométrique par tamisage analyse descripteurs modifications corrections. 1, 1–9.*

Omrane, M., & Rabehi, M. (2020). *Effect of natural pozzolan and recycled concrete aggregates on thermal and physico-mechanical characteristics of self-compacting concrete. Construction and Building Materials*, 247, 118576. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118576>

Norme NF EN P18-554, "mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des gravillons et cailloux", December 1990.

Norme NF EN P18-555, "mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de la teneur en eau des sables", December 1990.

Norme NF EN IP18-572. "Gravillons Essai micro-Deval", December 1990

Norme NF EN P18-573, "Gravillons Essai los Angeles", December 1990.

Norme NF EN P18-591, gravillons, "Détermination de la propriété superficielle", Septembre 1990.

Norme NF EN P18-416, "Béton Surfacement au soufre des éprouvettes cylindriques", Septembre 1994.

Wang, Y., Xiao, R., Lu, H., Hu, W., Jiang, X., & Huang, B. (2023). *Effect of curing conditions on the strength and durability of air entrained concrete with and without fly ash. Cleaner Materials*, 7(January), 100170. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100170>

Xie, S. rong, Pan, H., Chen, D. dong, Zeng, J. chao, Song, H. zheng, Cheng, Q., Xiao, H. bin, Yan, Z. qiang, & Li, Y. hui. (2020). *Stability analysis of integral load-bearing structure of surrounding rock of gob-side entry retention with flexible concrete formwork. Tunnelling and Underground Space Technology*, 103(June), 103492. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103492>

Norme Xp P 18-305, "Béton prêt à l'emploi" (2006).

Xue, F., Xu, C., Shen, W., & Li, L. (2020). *Ventilation in pumped storage power stations: Influence of dehumidifiers in an underground tunnel. Applied Thermal Engineering*, 172(July 2019), 115162. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115162>

NF EN, "norme européenne. Essais des bétons. Essais non destructif" vol. 33, no. 0, 2004.