

Incorporation de la chènevotte dans les pavés drainants : une stratégie efficace pour atténuer les îlots de chaleur urbains

Bechara Haddad

ComUE Normandie Université, Builders Ecole d'Ingénieurs, Builders Lab, 1, Rue Pierre et Marie Curie, 14610 Epron, France. Tel: +33(0) 2 31 46 23 00, E-mail: bechara.haddad@builders-ingenieurs.fr

RESUME L'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) pose des défis importants à la qualité de l'environnement urbain et à la santé publique. Au cours des décennies, des efforts de recherche ont été faits pour développer diverses stratégies d'atténuation de l'ICU, y compris des matériaux de revêtement, tels que les revêtements à rétention d'eau, les revêtements rétro réfléchissants et le béton perméable. Cet article se concentre sur l'amélioration des propriétés hydriques et de rétention d'eau du béton drainant pour atténuer les phénomènes d'ICU. Les tests hydriques ont été effectués sur quatre bétons différents où les granulats naturels ont été remplacés par la chènevotte. Les résultats montrent une amélioration significative de ces propriétés en augmentant leur efficacité de plus de 100 %, ce qui classe ce béton perméable comme une solution de revêtement et de rétention d'eau pour l'atténuation de l'ICU.

Mots-clés : îlot de chaleur urbain, pavés drainants, chènevotte, propriétés hydriques

I. INTRODUCTION

L'environnement urbain et les activités humaines entraînent le développement d'îlots de chaleur urbains (ICU), qui se caractérisent par des températures plus élevées dans les zones urbaines par rapport aux régions suburbaines et rurales. Ce phénomène est le résultat de différences dans le bilan thermique entre les surfaces construites, comme les bâtiments et les routes, et les surfaces naturelles, comme le sol et la végétation (Arnfield, 2003; Oke, 1988, 1982). La forte inertie thermique et les surfaces sombres des matériaux construits ont tendance à absorber et à retenir le rayonnement solaire, ce qui entraîne une augmentation de la chaleur sensible et un réchauffement de l'atmosphère urbaine (Al-Jabri et al., 2005; Grimmond and Oke, 1999; Qin and Hiller, 2014). Les revêtements, qui représentent généralement 20 à 40 % de la surface d'une ville typique, jouent un rôle important dans la formation des ICU. Par conséquent, il existe un nombre considérable de recherches visant à atténuer les effets des ICU, en mettant l'accent sur le refroidissement des surfaces des revêtements. Une approche consiste à irriguer les surfaces avec des eaux usées, une stratégie qui a été mise en œuvre dans des villes comme Osaka et Tokyo grâce à des systèmes d'irrigation qui utilisent des tuyaux d'alimentation en eau pour diffuser de l'eau recyclée sur les surfaces (Starke et al., 2010). Une autre voie de recherche vise à améliorer la capacité de refroidissement des surfaces par l'utilisation de « pavés frais », ce qui peut être réalisé par l'utilisation de matériaux de substitution à fort pouvoir absorbant, telles que la substitution des granulats naturels par des coquillages (Nguyen et al., 2013), des granulats recyclés (Haddad et al., 2023) et cendres résiduelles (Santamouris, 2013). Par rapport aux revêtements conventionnels, les revêtements frais peuvent être conçus pour augmenter la réflectance solaire, améliorer l'évaporation et/ou réduire la chaleur sensible dans l'atmosphère urbaine (Li et al., 2013; Pomerantz et al., 1997; Santamouris, 2013). L'objectif de cette recherche est d'étudier le potentiel d'amélioration de la capacité hydrique du béton drainant par l'incorporation de la chènevotte dans le mélange. Cette étude vise à améliorer la capacité de rétention d'eau des surfaces dans le but de prolonger

l'effet de refroidissement par évaporation et de réduire le phénomène ICU. La recherche vise à optimiser la combinaison de l'augmentation de l'efficacité des solutions utilisées pour atténuer l'ICU, comme l'arrosage de surface, avec les avantages de l'utilisation du béton drainant retenant l'eau. Le béton drainant, étant un matériau perméable à l'eau avec une capacité hydrique élevée, pourrait être une solution progressive qui peut être combinée avec d'autres techniques d'atténuation telles que l'irrigation de surface pour augmenter l'efficacité globale. Par conséquent, afin de construire un béton perméable à l'eau qui atténue le phénomène d'îlot de chaleur urbain UHI, il est essentiel de considérer les compromis entre les propriétés hydriques et la capacité de drainage (Carsana et al., 2013; Deo and Neithalath, 2010; Neithalath, 2004; Qin, 2015; Rehder et al., 2014; Shabalala et al., 2017; Shu et al., 2011) ce qui peut être accompli en incorporant la proportion appropriée de chènevotte aux mélanges. Comme ce fut le cas pour d'autres substituts conduits tels que les coquillages (Nguyen et al., 2013), les granulats recyclés (Haddad et al., 2023) et les cendres résiduelles (Santamouris, 2013).

II. Matériels et méthodes

A. Composition du mélange

Dans le cadre de cette étude, un ciment Portland de type CEM I 52.5R a été sélectionné pour les mélanges (Nguyen et al., 2013). Les propriétés des granulats, telles que la taille et la proportion, ont une influence déterminante sur les caractéristiques du béton perméable. En conséquence, des granulats naturels concassés de cornéenne (2-6 mm) et de la chènevotte brute (2mm) ont été choisis pour les mélanges. D'autre part, la composition du béton drainant est une opération complexe impliquant les quantités et les proportions de chaque composant. Concernant le ciment, selon les études précédentes (Tennis et al., 2004), la quantité varie entre 270 et 415 kg/m³. Pour ce qui est de la densité des granulats, celle-ci varie entre les différentes études ; la plage optimisée est de 1190 à 1600 kg/m³ (ACI, 2010; Tennis et al., 2004). Selon ces déclarations, une dose de 363 kg/m³ a été adoptée pour le ciment et 1574 kg/m³ pour les granulats. Concernant le sable utilisé est alluvionnaire, quartzitique, de classe granulaire 0/2 mm, une dose de 110 kg/m³ a été utilisée uniformément avec plusieurs références (Tennis et al., 2004), qui ont le plus souvent utilisé une dose de 100 kg/m³. Dans cette étude, aucun adjuvant n'a été ajouté, une dose de 129 kg/m³ d'eau a été utilisée, donnant un rapport E/C de 0,35 (Tennis et al., 2004).

Quatre formulations ont été considérées dans cette étude, où le remplacement en masse des granulats naturels (2-6) par volume de chènevotte a été mis en place : la formulation témoin A (100% de granulats naturels), la formulation A2.5% (97,5% de granulats naturels et 2,5% de chènevottes), la formulation A5% (95% de granulats naturels et 5% de chènevotte) et la formulation A10% (90% de granulats naturels et 10% de chènevotte). Durant le processus de coulage des échantillons cubiques de 15x15x15 cm ont été utilisées. Ces échantillons ont été soumis à des vibrations avec une pression de 15 (kPa) pour améliorer leur densité et leur compacité. Cette pression aide à assurer que le matériau coulé se répartisse uniformément dans le moule (Haddad et al., 2023; Nguyen et al., 2013). De plus, Un volume d'eau équivalent à 90% du coefficient d'absorption de la chènevotte a été ajouté au mélange afin de compenser la quantité d'eau absorbée par la chènevotte.

B. Test de compression

Trois échantillons cubiques de 15x15x15 cm de chaque formulation ont été utilisées pour ce test (Sriravindrarajah et al., 2012). Des essais de compression ont été effectués sur trois échantillons après 28 jours, sur une presse Schenck de capacité 3000 kN avec un taux de charge imposé de 0,06 MPa.s⁻¹, conformément à la norme NF EN 12390-3.

C. Test de porosité accessible à l'eau

Cette méthode est basée sur le principe d'Archimède (Montes and Haselbach, 2006). Selon la norme NF ISO 5017, trois éprouvettes de chaque formulation ont d'abord été saturées d'eau sous vide pour 24 heures dans un dessiccateur. Ensuite, les masses des éprouvettes saturées dans l'eau et dans l'air sont prises en compte pour calculer la porosité. Le calcul est effectué en utilisant l'équation 1.

$$P_a = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \quad (1)$$

P_a représente la porosité accessible à l'eau [%], M_{air} représente la masse de l'échantillon après saturation dans l'air [kg], M_{eau} représente la masse de l'échantillon saturé immergé dans l'eau [kg], et M_{sec} représente la masse de l'échantillon sec (à 60°C avec une suivi de masse) [kg].

D. Test d'absorption d'eau

Ce test est conçu pour évaluer la capacité du béton drainant à retenir l'eau (Karasawa et al., 2006; Yamamoto, et al., 2006). Selon les protocoles établis, trois échantillons de chaque formulation sont immergés dans l'eau pendant 24 heures à une température ambiante comprise entre 23°C et 25°C dans un bac à dimension spécifique décrit dans le protocole réalisé dans la littérature (Karasawa et al., 2006; Yamamoto, et al., 2006). Les échantillons sont ensuite retirés de l'eau et une surveillance de la masse est effectuée dans des intervalles de temps pour une durée de 48 heures. A l'issue de ce protocole, la capacité en eau (w_c) des pavés est calculée par l'équation suivante (2).

$$w_c = \frac{W_{\text{eau}} - W_{\text{sec}}}{V} \quad (2)$$

W_{eau} représente la masse de l'échantillon retiré de l'eau à des intervalles de temps différents [kg], W_{sec} représente la masse sèche de l'échantillon [kg] et V représente le volume apparent de l'échantillon [m³].

E. Test de rétention capillaire

Ce test met en évidence la capacité du béton drainant à retenir l'eau (Karasawa et al., 2006; Yamamoto, et al., 2006). Il consiste à déterminer la hauteur de rétention d'eau. A cette fin, il est nécessaire de placer un échantillon (en triplicat) sec (à 60°C avec une suivi de masse) de dimension 15x15x15 cm en immergeant 5 mm de sa surface inférieure dans l'eau. Ensuite, pour connaître la quantité d'eau retenue, un suivi de la masse est effectué pour 24 heures toutes dans des intervalles de temps définie. En conséquence, la rétention capillaire (S_h) en % est calculée en utilisant l'équation 3.

$$S_h = \frac{W_h - W_{\text{sec}}}{W_{\text{eau}} - W_{\text{sec}}} \quad (3)$$

W_h représente la masse de l'échantillon en contact avec l'eau à différents moments (kg), W_{eau} représente la masse de l'échantillon saturé en eau soit la masse de l'essai d'absorption ($t=90$ minutes) (kg) et W_{sec} représente la masse sèche des échantillons (à 60°C avec une suivi de masse) (kg).

III. Résultats et discussion

A. Test de compression et test de porosité accessible à l'eau

Les résultats des tests de compression mécanique, tels que décrits dans la [Figure 1](#), indiquent que les mélanges A, A2.5%, A5% et A10% ont présenté une résistance à la compression de 18MPa, 16.5MPa, 14MPa et 12.1MPa respectivement. Cette diminution est conforme aux autres résultats (Haddad et al., 2023), qui montrent une proportion similaire de diminution lorsque des granulats naturels étaient remplacés par des substitutions tels (coquillages (Nguyen et al., 2013) et granulats recyclés (Haddad et al., 2023)). La diminution de la résistance à la compression mécanique observée dans les mélanges de béton contenant de la chènevotte peut être attribuée à l'insuffisance de l'adhérence entre la pâte de ciment et les chènevottes (Poon and Chan, 2006) (Haddad et al., 2023). Ces propriétés comprennent une densité inférieure et une porosité plus élevée, ce qui entraîne des mélanges de béton plus poreux et moins denses, et donc moins résistants. En outre, les chènevottes utilisées dans l'étude ont un coefficient d'absorption plus élevé par rapport aux agrégats naturels. Ce coefficient d'absorption plus élevé nécessite un facteur de "correction" à appliquer à la teneur en eau dans la conception du mélange. Cependant, il est difficile de contrôler précisément ce facteur, ce qui peut entraîner des variations dans le rapport eau-ciment. Ces variations peuvent perturber la distribution de l'eau dans le mélange de ciment, ce qui modifie le rapport E/C et entraîne une augmentation ou une diminution de la résistance mécanique. Ces variations peuvent perturber la distribution de l'eau dans le mélange de ciment, ce qui modifie le rapport E/C et entraîne une augmentation ou une diminution de la résistance mécanique (Haddad et al., 2023; Nguyen et al., 2013)

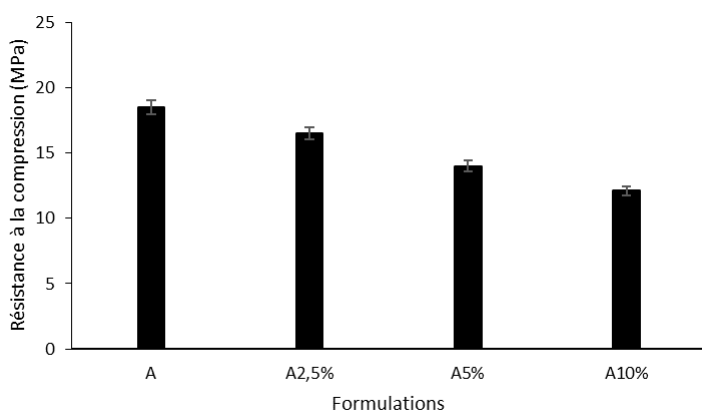


Figure 1. Résistance à la compression des pavés

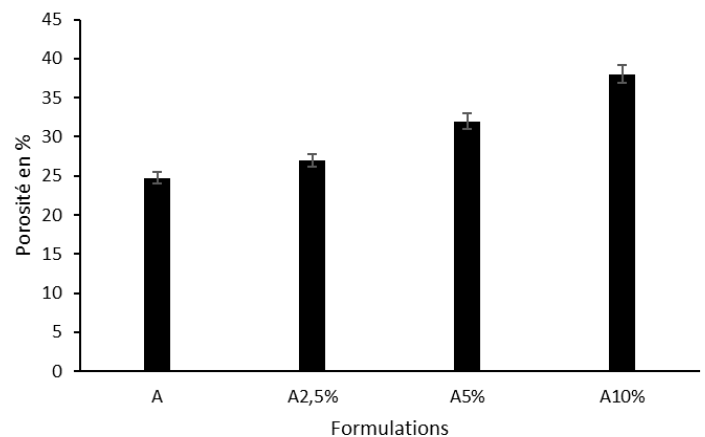


Figure 2. Porosité accessible à l'eau des pavés

Bien que les mélanges présentent une résistance mécanique inférieure au témoin, ils peuvent être utilisés pour certaines applications spécifiques. Il a été démontré que les pavés drainants ayant une résistance à la compression de 10 MPa ou plus peuvent être utilisés pour les applications de

revêtement de sols, de parkings et de produits préfabriqués en béton perméable (Poon and Chan, 2006). De même, les pavés ayant une résistance mécanique légèrement inférieure à 10 MPa peuvent être utilisés pour les trottoirs (Ibrahim and Abdul Razak, 2016; Haddad et al., 2023).

La **Figure 2** montre les résultats des mesures de porosité accessible à l'eau pour les différents échantillons de mélange utilisés. Il constate une augmentation de la porosité en passant de l'échantillon A à l'échantillon A10%, avec des valeurs respectives de 24,7%, 27%, 32% et 38%. Cette augmentation de la porosité est attribuable à l'inclusion de chènevotte dans les mélanges, ce qui réduit la surface de contact entre les granulats, entraînant ainsi une augmentation de la porosité ouverte ce qui entrainera a un pavé plus poreux et par la suite moins chauds durant les saisons chaude et humide (Haddad et al., 2023; Vujovic et al., 2021).

C. Test d'absorption d'eau

L'analyse de la capacité d'absorption d'eau des mélanges A10%, A5%, A2.5% et A (Figure 3) a été effectuée en mesurant la variation de masse de ces échantillons au cours du temps. Les résultats ont montré que le mélange A10% a connu une diminution de sa capacité d'absorption d'eau de 240 kg/m³ à 227 kg/m³ au cours des 30 premières minutes de cure, une tendance qui s'est poursuivie pour aboutir à une capacité finale de 193 kg/m³ après 48 heures. De même, le mélange A5% a présenté une capacité d'absorption d'eau inférieure à celle de l'échantillon A10%, avec une diminution de 190 kg/m³ à 175 kg/m³ observée dans les 30 premières minutes et une capacité finale de de 145 kg/m³ après 48 heures. Enfin, les échantillons A et A2.5% ont montré des performances similaires en termes de capacité d'absorption d'eau, enregistrant respectivement 148 kg/m³ et 160 kg/m³ au début du test pour atteindre 119 kg/m³ et 98 kg/m³ après 48 heures. Selon les résultats obtenus, on peut déduire que les mélanges désignés comme A10% et A5% présentent une performance hydrique significative et supérieure par rapport au contrôle A (le témoin). Ces observations s'alignent sur la classification de A10% avec une absorption d'eau supérieure à 150kg/m³ en tant que bloc de rétention d'eau comme indiqué dans les sources bibliographiques pertinentes (Karasawa et al., 2006; Yamamoto, et al., 2006).

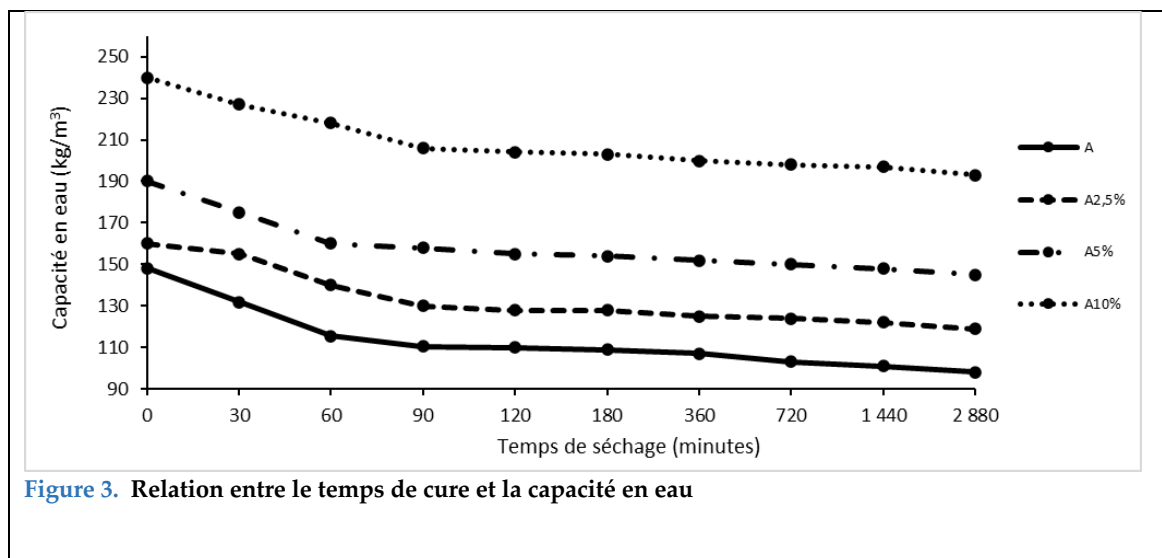


Figure 3. Relation entre le temps de cure et la capacité en eau

Par conséquent, on peut en déduire que la présence de chènevottes ayant un coefficient d'absorption élevé sert à augmenter la capacité d'absorption d'eau des pavés. Cette amélioration

permet non seulement d'améliorer la capacité des pavés à atténuer les îlots de chaleur urbains, mais aussi de renforcer l'efficacité de la solution d'arrosage (lorsqu'elle est adoptée en conditions humides) visant à irriguer artificiellement les surfaces pour rafraîchir l'air et réduire la température de surface. La présence d'un revêtement contenant de la chènevotte permet d'augmenter la capacité de stockage de l'eau. A titre d'exemple, le mélange A10%, une fois saturé en eau, a la capacité de retenir 206 kg/m^3 d'eau après 90 minutes de cure, par rapport aux 111 kg/m^3 retenus par le contrôle A. Cette capacité de rétention d'eau accrue se traduit par une solution d'irrigation plus efficace, car moins de cycles d'arrosage sont nécessaires pour atteindre la température de surface souhaitée pour atténuer le phénomène d'îlot de chaleur urbain (Qin, 2015; Santamouris, 2013; Starke et al., 2010; Vujovic et al., 2021). En conclusion, les résultats de cette étude fournissent la preuve que l'incorporation de chènevotte dans le mélange peut améliorer de manière significative la capacité de rétention d'eau dans les pavés, ce qui à son tour peut contribuer à atténuer le phénomène d'îlot de chaleur urbain dans des conditions humides. Il est également intéressant de noter que cette incorporation de chènevotte ne compromet pas la porosité des pavés, car la grande capacité de drainage de l'eau du béton est conservée, ce qui le classera simultanément comme structure perméable et fraîche.

D. Test de rétention d'eau

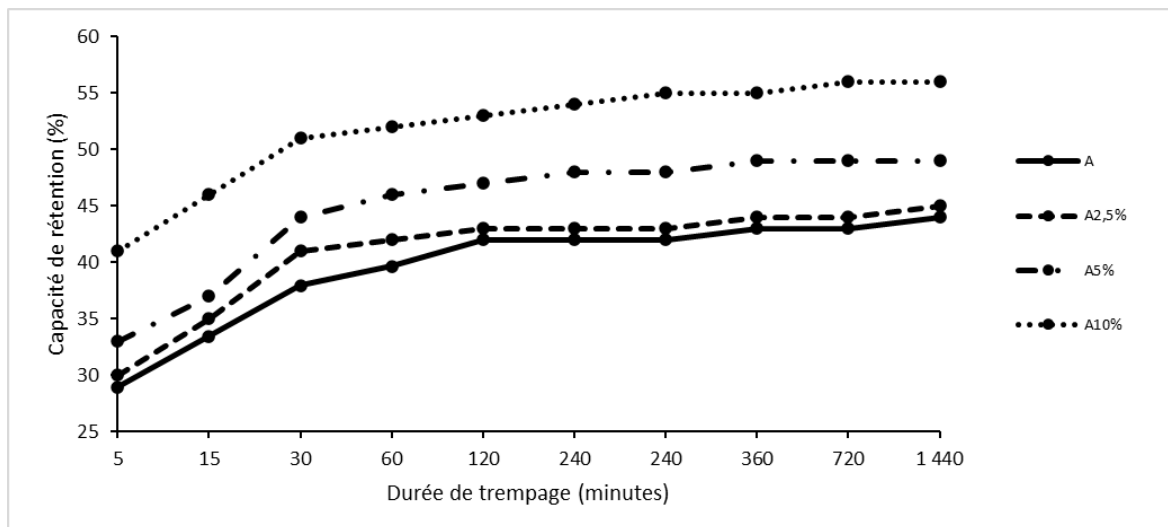


Figure 4. Relation entre le temps de trempage et la rétention capillaire

Les mélanges A et A2,5% ont montré une tendance relativement similaire dans leurs mesures de la rétention d'eau (S_h), avec une valeur initiale de 30% après 5 minutes d'immersion (Figure 4). Cette valeur a ensuite augmenté de façon presque linéaire pour atteindre 45% dans 24 heures. Pour le même horaire, le mélange A5% a enregistré 33% et 49%. En revanche, le mélange A10% a présenté une réponse plus significative à l'immersion dans l'eau, avec une capacité de rétention de 40% dans les 5 premières minutes, qui a ensuite augmenté pour atteindre une valeur de 56% en 24 heures. Cela suggère que ce mélange a connu une plus grande expansion initiale au contact de l'eau. En effet, les résultats de cette étude indiquent que l'incorporation de la chènevotte dans le mélange du béton peut améliorer de manière significative la capacité de rétention et d'absorption d'eau du pavé. Ces résultats sont utiles pour évaluer la performance potentielle de ces mélanges dans des

applications réelles, en particulier dans les systèmes visant à atténuer les défis associés aux îlots de chaleur urbains. En augmentant la capacité de la surface à retenir l'eau, la présence de la chènevotte peut améliorer la rétention d'eau et, par la suite, la remontée de l'eau de la sous couche à la surface (Qin, 2015; Santamouris, 2013; Starke et al., 2010; Vujovic et al., 2021) et contribuer à réduire la température de surface et à promouvoir des environnements urbains plus durables. Ceci est particulièrement important dans les zones où la nappe phréatique est alimentée dans les sous-couches ou dans les villes où les sous-couches sont arrosées artificiellement pour refroidir les surfaces et combattre le phénomène des îlots de chaleur urbains.

III. Conclusion

Les recherches expérimentales sur le béton perméable ont démontré l'aspect pratique de l'utilisation de la chènevotte comme substitut des granulats naturels. Les conclusions majeures de cette étude sont les suivantes :

L'étude a conclu que les mélanges de béton perméable avec de la chènevotte ont des propriétés mécaniques acceptables toujours au-dessus de 10Mpa et une et une porosité supérieure à 25 % accrue qui améliorent leurs performances hydriques.

Les résultats du test de capacité en eau indiquent le potentiel de l'incorporation de chènevotte dans le béton drainant pour améliorer les propriétés hydriques et atténuer les effets des îlots de chaleur urbains. Les résultats du test montrent qu'un mètre cube de mélange A10% peut absorber au moins 100 litres d'eau de plus que les mélanges A. Le mélange A10% démontre sa capacité à maintenir cette différence pendant plus d'une heure et demie, ce qui le classe comme un bloc retenant l'eau. Cette caractéristique fait de ce type de revêtement une solution viable dans les zones où l'irrigation artificielle est utilisée pour lutter contre les effets d'îlot de chaleur urbain.

Les tests de rétention capillaire montrent que les mélanges A10% et A5% retiennent 52% et 46% d'eau après 60 minutes, tandis que les mélanges A2.5% et A retiennent 42%. Ces résultats indiquent que l'augmentation de la proportion de chènevotte dans le béton drainant améliore ses propriétés hydriques, ce qui renforce son efficacité dans la lutte contre les effets des îlots de chaleur urbains par la méthode de l'arrosage souterrain.

En ce qui concerne mes perspectives, j'aimerais effectuer des tests à plus grande échelle pour évaluer les performances des différents mélanges en termes de propriétés thermiques et de durabilité.

REFERENCES

- ACI, 2010. Pervious Concrete. *ACI 522R-10. Report on Pervious Concrete*; American Concrete Institute: Farmington Hills, MI, USA, 2010; 38p.
- Al-Jabri, K.S., Hago, A.W., Al-Nuaimi, A.S., Al-Saidy, A.H., 2005. Concrete blocks for thermal insulation in hot climate. *Cement and Concrete Research* 35, 1472–1479. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.018>
- Arnfield, A.J., 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23, 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Carsana, M., Tittarelli, F., Bertolini, L., 2013. Use of no-fines concrete as a building material: Strength, durability properties and corrosion protection of embedded steel. *Cement and Concrete Research* 48, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.02.006>
- Deo, O., Neithalath, N., 2010. Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features. *Materials Science and Engineering: A, Special Topic Section: Local and Near Surface Structure from Diffraction* 528, 402–412. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.09.024>

- Grimmond, C.S.B., Oke, T.R., 1999. Heat Storage in Urban Areas: Local-Scale Observations and Evaluation of a Simple Model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 38, 922–940. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<0922:HSIUAL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<0922:HSIUAL>2.0.CO;2)
- Haddad, B., Karaky, H., Boutouil, M., Boudart, B., Sebaibi, N., 2023. Investigation Properties of Pervious and Water-Retaining Recycled Concrete to Mitigate Urban Heat Island Phenomena. *Sustainability* 15, 5384. <https://doi.org/10.3390/su15065384>
- Ibrahim, H.A., Abdul Razak, H., 2016. Effect of palm oil clinker incorporation on properties of pervious concrete. *Construction and Building Materials* 115, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.181>
- Karasawa, A., TORIIMINAMI, K., EZUMI, N., KAMAYA, K., 2006. Evaluation of performance of water-retentive concrete block pavements. 8th International Conference on Concrete Block Paving.
- Li, H., Harvey, J.T., Holland, T.J., Kayhanian, M., 2013. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environ. Res. Lett.* 8, 015023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015023>
- Montes, F., Haselbach, L., 2006. Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete. *Environmental Engineering Science* 23, 960–969. <https://doi.org/10.1089/ees.2006.23.960>
- Neithalath, N., 2004. Development and characterization of acoustically efficient cementitious materials. Theses and Dissertations Available from ProQuest 1–245.
- Nguyen, D.H., Boutouil, M., Sebaibi, N., Leleyter, L., Baraud, F., 2013. Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers. *Construction and Building Materials* 49, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.017>
- Okada, K., Matsui, S., Isobe, T., Kameshima, Y., Nakajima, A., 2008. Water-retention properties of porous ceramics prepared from mixtures of allophane and vermiculite for materials to counteract heat island effects. *Ceramics International* 34, 345–350. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2006.10.006>
- Okada, K., Ooyama, A., Isobe, T., Kameshima, Y., Nakajima, A., MacKenzie, K.J.D., 2009. Water retention properties of porous geopolymers for use in cooling applications. *Journal of the European Ceramic Society* 29, 1917–1923. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2008.11.006>
- Oke, T., 1988. The urban energy balance. *Prog Phys Geogr. Progress in Physical Geography* 12, 471–508. <https://doi.org/10.1177/030913338801200401>
- Oke, T.R., 1982. The energetic basis of the urban heat island. *Q.J Royal Met. Soc.* 108, 1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Pomerantz, M., Akbari, H., Chen, A., Taha, H., Rosenfeld, A.H., 1997. Paving materials for heat island mitigation (No. LBL-38074). Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, CA (United States). <https://doi.org/10.2172/291033>
- Poon, C.S., Chan, D., 2006. Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick. *Construction and Building Materials* 20, 569–577. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.01.044>
- Qin, Y., 2015. A review on the development of cool pavements to mitigate urban heat island effect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 52, 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.177>
- Qin, Y., Hiller, J.E., 2014. Understanding pavement-surface energy balance and its implications on cool pavement development. *Energy and Buildings* 85, 389–399. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.076>
- Rehder, B., Banh, K., Neithalath, N., 2014. Fracture behavior of pervious concretes: The effects of pore structure and fibers. *Engineering Fracture Mechanics* 118, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2014.01.015>
- Santamouris, M., 2013. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 224–240. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>
- Shabalala, A.N., Ekolu, S.O., Diop, S., Solomon, F., 2017. Pervious concrete reactive barrier for removal of heavy metals from acid mine drainage – column study. *Journal of Hazardous Materials* 323, 641–653. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.027>
- Shu, X., Huang, B., Wu, H., Dong, Q., Burdette, E.G., 2011. Performance comparison of laboratory and field produced pervious concrete mixtures. *Construction and Building Materials* 25, 3187–3192. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.002>
- Sriravindrarajah, R., Wang, N.D.H., Ervin, L.J.W., 2012. Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. *Int J Concr Struct Mater* 6, 239–246. <https://doi.org/10.1007/s40069-012-0024-x>
- Starke, P., Göbel, P., Coldewey, W.G., 2010. Urban evaporation rates for water-permeable pavements. *Water Science and Technology* 62, 1161–1169. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.390>
- Tennis, P.D., Leminy, M.L., Akers, D.J., 2004. Pervious Concrete Pavements.
- Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., BOUTOUIL, M., 2021. Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng* 2, 459–484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>
- Yamamoto, T., Maki, T., Honda, T., 2006. Discussions on assessment and quality standards of water-retaining concrete block. 8th International Conference on Concrete Block Paving