

MESURE DE L'ALBEDO DES MATERIAUX DE PAVAGE PAR ANALYSE NUMERIQUE D'IMAGES

Pierre Bénilde Randriamanampisoa¹, Mino Patricia Randrianarison², Bienvenue Raheliarilalao³

- 1- Docteur, École Doctorale Ingénierie et Géosciences, 101 Antananarivo, Madagascar
- 2- Professeur, Mention Science et Ingénierie des Matériaux, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Laboratoire de Recherche en Matériaux, Procédés et Génie Civil, BP 1500, 101 Antananarivo, Madagascar
- 3- Professeur Titulaire, Mention Science et Ingénierie des Matériaux, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500, 101 Antananarivo, Madagascar

Auteur correspondant : Pierre Bénilde Randriamanampisoa

Adresse : École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500, 101 Antananarivo

E-mail : leibenildex@gmail.com

Téléphone : +261 34 93 345 86

RESUME

La concentration croissante de la population dans les zones urbaines entraîne une expansion des surfaces minéralisées, provoquant des îlots de chaleur. L'albédo, qui définit la capacité des matériaux à réfléchir l'énergie solaire, joue un rôle important dans la gestion thermique de ces zones. Notre étude se focalise sur la détermination de l'albédo des quatre types des matériaux de pavage utilisés en aménagement extérieur. La méthode utilisée repose sur l'analyse numérique des images au moyen du logiciel Mesurim 2. Le but est de comparer les résultats avec les valeurs issues d'expérimentation mettant en œuvre des dispositifs classiques non numériques de la littérature. Les résultats obtenus montrent que les valeurs de l'albédo de nos pavages oscillent entre 0.05 et 0.26. Les pavés de béton ayant l'albédo le plus élevé et les pavés

de déchets plastiques le plus bas. Les écarts relatifs entre nos résultats avec ceux des mesures expérimentales in situ sont relativement faible, soit 5 %.

Mots clés : Albédo, analyse numérique d'images, îlot de chaleur urbain, mesurim 2, pavages.

ABSTRACT

The increasing concentration of the population in urban areas leads to an expansion of mineralized surfaces, causing urban heat islands. Albedo, which defines the ability of materials to reflect solar energy, plays an important role in the thermal management of these areas. Our study focuses on determining the albedo of four types of paving materials used in outdoor landscaping. The method used is based on numerical image analysis using the Mesurim 2 software. The objective is to compare the results with values obtained from experiments using conventional non-digital devices from the literature. The results show that the albedo values of our paving materials range between 0.05 and 0.26, with concrete pavers having the highest albedo and plastic waste pavers the lowest. The relative differences between our results and those of in situ experimental measurements are relatively low, at 5%.

Keywords: Albedo, numerical image analysis, urban heat island, Mesurim 2, pavements.

1. Introduction

La concentration croissante de la population dans des agglomérations de type urbain implique des aménagements et de plus en plus de construction de maisons d'habitation et de bâtiments destinés à des fonctionnalités diverses. Les espaces verts sont remplacés progressivement par des espaces minéralisés. L'absorption de chaleur par les revêtements du sol extérieurs, les toitures et les façades de bâtiment est l'un des facteurs à l'origine de l'augmentation des températures dans ces agglomérations et provoque ce qu'on appelle îlot de chaleur urbain (Oke, 1976, Akbari et al., 1992, Bouyer, 2009). Ceci est principalement dû aux propriétés thermiques des matériaux utilisés dans ces différentes infrastructures (Santamouris, 2013, Roesler et al., 2016, Hailu et al., 2020). Leur comportement par rapport au rayonnement et à la chaleur est différent de celui de la terre nue ou végétalisée que l'on trouve plus facilement à la campagne. Les principales variables de la performance thermique des matériaux sont l'albédo, la conductivité thermique et la capacité thermique (Santamouris, 2013). En 2005, Gabrielle et al a affirmé que l'albédo est un agent climatique peu étudié et mal compris. En revanche, cette propriété fait l'objet de recherches depuis de nombreuses années par de plusieurs auteurs

(Giuseppe et al., 2018). L'albédo désigne le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire totale qu'elle reçoit. Ce terme est utilisé en climatologie pour dénommer la réflectivité ou le facteur de réflexion. Il est mesuré à l'aide de plusieurs appareils dont les plus couramment sont le pyranomètre, le radiomètre solaire et l'albédomètre (Akbari et al., 2015). Ils ne sont pas facilement accessibles sur le marché malgache et leur conception nécessite une solide compréhension de l'électronique. Une autre méthode basée sur les images OLI (Operational Land Imager) a été développée par plusieurs études afin de le calculer à l'échelle locale (Bernardo et al, 2016). Dans cette étude, nous avons utilisé Mesurim 2. C'est un logiciel dédié à la détermination de l'albédo de surface par analyse numérique d'images. Notre travail vise à déterminer l'albédo des matériaux de revêtements de sol locaux utilisés en milieux extérieurs à savoir les pavés de déchets plastiques, les pavés en terre cuite, les pavés de travertin et les pavés de béton.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériaux à mesurer

Quatre types de pavages ont été destinés à la mesure, à savoir les pavés de déchets plastiques (PDP), les pavés en terre cuite (PTC), les pavés de travertin (PTC) et les pavés de béton (PB). Chaque pavage a pour dimensions 100 cm × 100 cm × 3 cm. Ils sont disposés sur une plate-forme exposée en plein soleil. Les quelques arbres et bâtiments environnants dont la hauteur ne dépasse pas 15 m, par les ombres qu'ils projettent, ne produisent pas d'effet de "masque" à aucun moment de la journée sur la plate-forme. Pour toutes les raisons mentionnées ci-dessus, le choix de ce site est pertinent pour notre étude.



Figure 1: Matériaux des pavages installés sur la plate-forme

2.2. Mesurim 2

Mesurim 2 est un logiciel pouvant être utilisé sur un PC en application exécutable ou dans un navigateur, dédié à la détermination de l'albédo de surface par analyse numérique d'images. Le traitement repose sur le contraste de luminance sur le cliché entre l'échantillon à tester et le matériau de référence. On impose comme étalon un papier de qualité de couleur blanche, présentant une surface mate et dépolie, dont l'albédo varie de 0,6 à 0,7. Les images JPEG de surface pavée au-dessus de laquelle est disposé l'étalon sont obtenues avec un appareil photo (téléphone, caméra, webcam). Ensuite, on importe cette image dans ce logiciel. La valeur de l'albédo est obtenue en cliquant sur la surface à mesurer. Il est important de noter que la précision de la mesure dépend de la qualité de l'image, de la calibration de l'appareil photo et de la méthode de mesure utilisée.

La figure 1 représente une fenêtre de ce logiciel qui contient l'image des pavés de déchets plastiques et de papier blanc

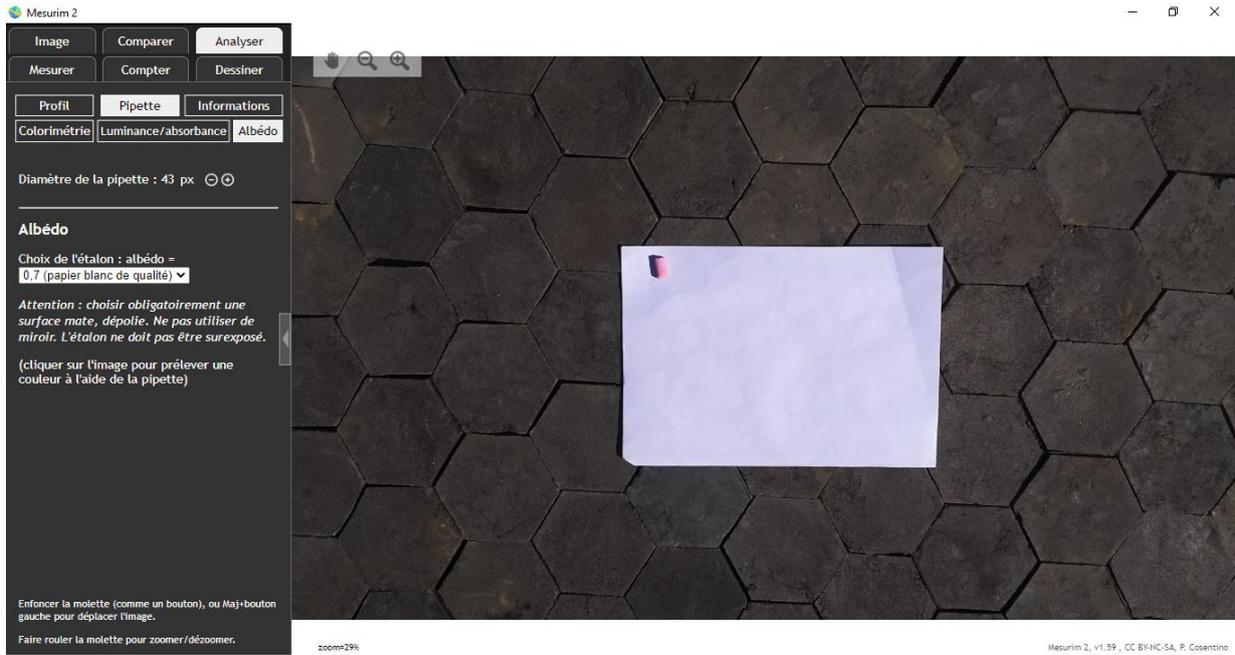


Figure 2: Fenêtre de logiciel mesurim 2

3. Résultats

L'utilisation de logiciel Mesurim 2 nous a permis de déterminer les albédos de nos pavages.

Les courbes de variation de l'albédo pendant une journée sont représentées par la figure 3.

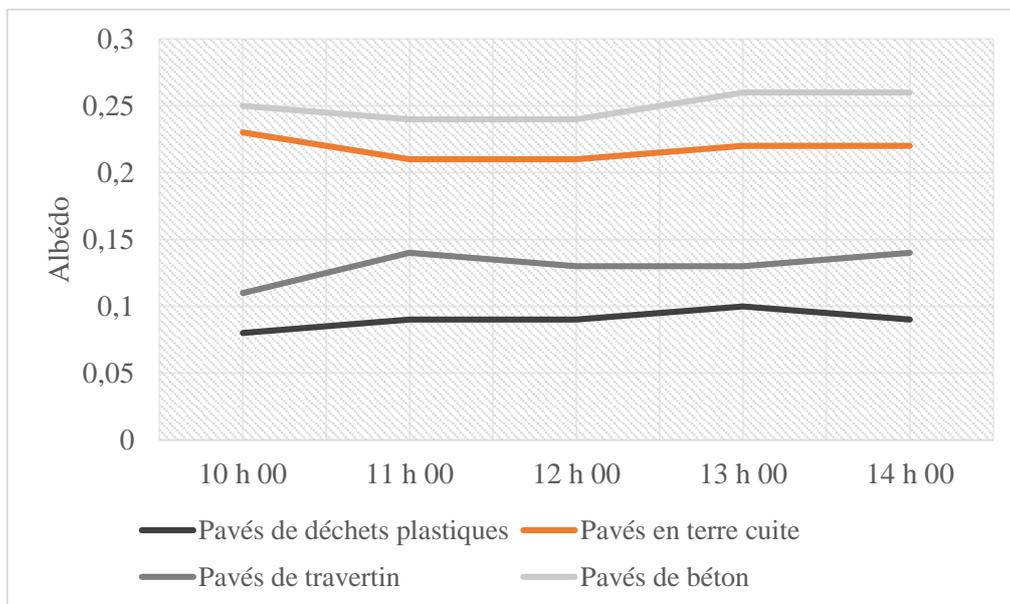


Figure 3: Variation journalière de l'albédo de chaque pavage

Les valeurs de l'albédo de chaque type de pavé connaissent des fluctuations au cours de la journée. Ces variations pourraient être attribuées à des passages nuageux ou des éclaircies intermittentes occasionnant un changement de la luminosité qui peut affecter les images. Cependant, ces fluctuations s'avèrent très faibles. On peut alors par la suite adopter des valeurs moyennes (Tableau 1) sans qu'il y ait des écarts significatifs avec les valeurs réelles. On peut avancer une catégorisation des produits eu égard aux valeurs trouvées. D'une part, avec respectivement 0.09 et 0.14, les pavés de déchets plastiques et les pavés de travertin sont regroupés dans la catégorie des produits à faible pouvoir réfléchissant, G1. D'autre part, nous rassemblons les pavés en terre cuite et les pavés de béton, avec des albédos très proches, présentant un écart relatif de 15%, respectivement 0.22 et 0.26, dans la classe des matériaux à forts facteurs de réflexion dénommée G2. Leurs couleurs plus claires sont probablement à l'origine de cette tendance. Les éléments de G1 réfléchissent environ la moitié de l'énergie solaire que le second dans les conditions identiques d'ensoleillement.

Tableau 1: Valeur moyenne de l'albédo de pavage

Types de pavages	Albédo
Pavés de déchets plastiques	0.09
Pavés en terre cuite	0.22
Pavés de travertin	0.14
Pavés de béton	0.26

La valeur moyenne de l'albédo montre que les pavés de béton représentent les matériaux les plus réfléchissant, suivis, dans l'ordre, par les pavés en terre cuite puis les pavés de travertin et en dernier les pavés de déchets plastique.

4. Discussion

Nous avons observé que l'albédo de nos matériaux de pavage varie de 0.05 à 0.25. La plupart des auteurs les ont mesurés sur terrain en utilisant un albédomètre sur terrain ou ils ont évalué en laboratoire (Filippo et al., 2017, Tina, 2013, Shengyang, 2015, Hendel et al., 2015, Synnefa et al., 2008, Roesler et al., 2016). En comparant nos résultats avec ceux de la littérature, nous pouvons affirmer qu'il y a une bonne concordance et ce, quelles que soient les méthodes mise en œuvre (Tableau 2). Pour les mesures en laboratoire, plusieurs références font état de valeurs d'albédo supérieures à celles déterminées in situ pour un matériau de même nature (Hendel et al., 2015, Roesler et al., 2016). Cette différence peut être expliquée par le fait que les mesures en laboratoire se déroulent dans un environnement contrôlé, excluant les variations naturelles comme les changements climatiques et les fluctuations d'ensoleillement.

L'utilisation de la méthode Mesurim 2 nous a permis de surmonter certaines difficultés liées à l'accessibilité des équipements professionnels, comme les pyranomètres ou les albédomètres. La méthode numérique basée sur l'analyse d'images constitue une alternative efficace et accessible pour déterminer l'albédo des surfaces extérieures, notamment dans des contextes où l'acquisition d'équipements coûteux n'est pas envisageable. Cette approche a montré une grande précision malgré les variations naturelles de luminosité causées par des passages nuageux.

L'étude met également en évidence la variation temporelle de l'albédo, phénomène déjà observé dans la littérature, notamment par Roesler et al. (2016), qui ont documenté les changements d'albédo en fonction de l'heure de la journée et des conditions environnementales. Ces fluctuations sont également influencées par les propriétés de vieillissement des matériaux. En effet, comme l'indique Filippo et al. (2017), l'albédo des matériaux tend à augmenter avec l'âge en raison de l'usure de leur surface, qui devient plus rugueuse et réfléchissante.

Il est à noter que, bien que nos résultats révèlent des différences entre les matériaux, toutes les surfaces étudiées présentent un faible albédo, ce qui souligne le potentiel de ces pavés pour contribuer à la gestion thermique des espaces urbains. Toutefois, les pavés de béton et les pavés en terre cuite, en raison de leur couleur plus claire et de leur capacité à réfléchir une plus grande quantité de rayonnement, pourraient être préférés pour des applications visant à limiter la chaleur dans les environnements urbains. À l'inverse, les pavés des déchets plastiques, malgré leur faible capacité de réflexion, présentent des avantages écologiques indéniables, notamment en termes de recyclage des déchets, mais pourraient nécessiter des stratégies complémentaires pour modérer l'accumulation thermique.

5. Conclusion

L'albédo est l'une de principale variable de la performance thermique des matériaux utilisés en milieu urbain. Cette étude a permis de caractériser l'albédo de différents pavages locaux. L'utilisation du logiciel Mesurim 2 s'est révélée être une méthode alternative efficace et accessible pour la mesure de l'albédo, particulièrement dans un contexte où les équipements spécialisés sont peu disponibles. Les résultats montrent que les pavés en béton et en terre cuite présentent les coefficients de réflexion les plus élevés, tandis que les pavés en déchets plastiques et en travertin affichent des valeurs d'albédo plus faibles. Cette catégorisation met en évidence l'impact des matériaux de revêtement sur l'absorption et la réflexion du rayonnement solaire.

En termes d'applications, les pavés en béton et en terre cuite apparaissent comme des choix adaptés pour limiter l'échauffement des surfaces urbaines. Cependant, l'utilisation de pavés en plastique recyclé présente un intérêt environnemental considérable, nécessitant peut-être des solutions complémentaires pour atténuer leur impact thermique.

Cette étude ouvre la voie à des recherches futures sur l'exploration de revêtements innovants ou de traitements de surface pourrait permettre d'optimiser davantage les propriétés thermiques des matériaux utilisés en milieu urbain.

6. Références

- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. USA: United States Environmental Protection Agency EPA.
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *In Solar Energy*. 70 (3): 295-310.
- Akbari H., Surabi M., Arthur R. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. *In Climatic Change*. 94 :275–286. USA.
- Bouyer, J. (2009). Modélisation et simulation des microclimats urbains : étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments (thèse de doctorat). École Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes.
- Carlos-Wilber P., Joan-Lluis Z. (2017). Technical Evaluation of an Improved Paint Coating with NIR Pigments Designed to Reduce Thermal Discomfort Caused by Incident Solar Radiation: Application in the Caribbean Area. *In Energy Procedia*. 115: 463–479.
- Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *In Solar energy*. 77(2): 231–249.
- Filippo P., Concettina M., Marinella G. (2017). Pavement albedo and sustainability: An experimental investigation. <https://www.researchgate.net/publication/284726139>
- Gabriel T., Cathérine N., Donatien K. (2020). Estimation de l'albédo de surface avec LANDSAT 8 OLI : Application sur la scène de la ville de Lubumbashi et ses environs. *In Geo-Eco-Trop*. 44 : 459-465.
- Gabrielle D., Michel E (2005). Variabilité spatio-temporelle de l'albédo. Analyse menée à la résolution métrique. *In Bulletin de la Société géographique de Liège*. 46: 27-35.

Giuseppe R., Paola I., Michele Z. (2018). Lighting implications of urban mitigation strategies though cool pavements: Energy savings and visual comfort. *In Climat.* 6,26.

Golden, J. S., Carlson, J., Kaloush, K. E., Phelan, P. (2007). A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures. *In Solar Energy.* 81: 872–883.

Hailu Y., Kai Y., Yinghao M., Linbing W., Chen Y. (2020). Comparison of potential contribution of typical pavement materials to heat island effect. *In Sustainability.* 12, 4752.

Hendel M., Morgane C., Arnaud G., Youssef D. (2015). Quel est le meilleur revêtement pour limiter la formation des îlots de chaleur urbains. France : APUR.

Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE) (2011). Choisir les matériaux de revêtement de sol en fonction de leur impact environnemental. Bruxelles.

Roesler J., Sushobhan S. (2016). Impact of pavements on the urban heat island. USA: Centre for Highway Pavement Preservation.

Rosenfeld, A.H., Romm, J.J., Akbari, H. & Pomerantz, M (1998). Cool communities: strategies for heat islands mitigation and smog reduction. *In Energy and Buildings.* 28(1): 51–62.

Santamouris M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 26: 224–240.

Shengyang W. (2015). Pavement albedo assessment: Methods, aspects, and implication. Iowa State University.

Synnefa A., Theoni K., Niki G., Santamouris M. (2008). Measurement of optical properties and thermal performance of coloured thin layer asphalt samples and evaluation of their impact on the urban environment. Greece.

Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *In Atmosphere*. 14: 268-277.

Tina P. (2013). Pavement Temperature Effects on Overall Urban Heat Island (Thèse de doctorat). University of Arizona.

Tzu-P., Andreas M., Ruey-Lung H., Ying-Che H. Effect of pavements albedo on long-term outdoor thermal comfort.

7. Tableaux

Tableau 2: Différentes valeurs d'albédo de la littérature

Matériau	Albédo	Méthode	Références
Béton d'asphalte poreux	0.11	Mesure in situ en utilisant un pyranomètre conformément à ASTM E 1918-06	Filippo et al, 2017
	0.09	Expérimentation in situ en utilisant un albédomètre	Tina, 2013
Béton d'asphalte perméable	0.08	Mesure sur terrain en utilisant un Albédomètre CMA 6	Shengyang, 2015
Béton d'asphalte imperméable	0.09	Mesure sur terrain en utilisant un Albédomètre CMA 6	Shengyang, 2015
Béton d'asphalte recyclé	0.194	Mesure in situ en utilisant un pyranomètre conformément à ASTM E 1918-06	Filippo et al, 2017
Asphalte	0.09	Mesure en laboratoire	Hendel et al, 2015
	0.05	Mesure in situ en utilisant un pyranomètre conformément à ASTM E 1918-06	Filippo et al, 2017
	0.04	Mesure dans un laboratoire à disposant un spectrophotomètre conformément à ASTM E903-96	Synnefa et al., 2008

Matériau	Albédo	Méthode	Références
Asphalte	0.05 - 0.15	-	IBGE, 2011
	0.1	Expérimentation in situ en utilisant un albédomètre	Tina, 2013
Béton de ciment poreux	0.4	Expérimentation in situ en utilisant un albédomètre	Tina, 2013
Béton de ciment perméable	0.18	Mesure sur terrain en utilisant un Albédomètre CMA 6	Shengyang, 2015
Béton de ciment	0.12	Expérimentation sur terrain en utilisant un CNR1	Tzu-Ping et al
	0.25	Expérimentation in situ en utilisant un albédometre	Tina, 2013
	0.25	Mesure sur terrain en utilisant un albédomètre conformément à la norme ASTM E1918	Roesler et al., 2016
	0.36	Mesure en laboratoire	Hendel et al, 2015
Pavés de béton	0.20 - 0.25	-	IBGE, 2011

Béton de ciment imperméable	0.29	Mesure sur terrain en utilisant un Albédomètre CMA 6	Shengyang, 2015
Pavés en terre cuite	0.21	Expérimentation sur terrain en utilisant un CNR1	Tzu-Ping et al
Pavés en pierre naturelle	0.17	-	IBGE, 2011
	0.20	Mesure en laboratoire	Hendel et al, 2015