

DÉTERMINATION ET ANALYSE DE L'ALBÉDO DE MATÉRIAUX UTILISÉS EN TOITURE

¹L. K. RAHERINJAKANIRINA, ¹P. B. RANDRIAMANAMPISOA, ²B. RAHELIARILALAO

¹ Doctorants « Ingénierie et Géosciences » de l'Université d'Antananarivo

²Professeur titulaire de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo

Mail de correspondant : raherinjakanirina@gmail.com

Résumé

Cet article traite de la détermination et de l'analyse comparative de l'albédo de matériaux de construction utilisés en toiture. Cette propriété radiative joue un rôle capital dans le confort thermique du bâtiment pendant la saison chaude. L'objectif est d'identifier les meilleurs matériaux dans ce sens. Le choix a porté sur de la tôle galvanisée revêtue de peinture de différentes couleurs, des tuiles en argile cuite, neuves, ou ayant déjà servi trois décennies, matériaux couramment utilisés à Madagascar. La méthode de mesure est l'analyse numérique des images au moyen du logiciel Mesurim 2. La valeur moyenne de l'albédo est 0.25 pour les tôles de couleur claire et les tuiles. Pour les tôles de couleur foncée la valeur moyenne de l'albédo est 0.05. Un écart 0.20 de l'albédo est observé entre les nuances de couleur.

Mots clés : rayonnement solaire, toiture, albédo, tôle, tuile d'argile cuite

Abstract

This article deals with the determination and comparative analysis of the albedo of construction materials used in roofing. This radiative property plays a capital role in the thermal comfort of the building during the hot season. The objective is to identify the best materials in this sense. The choice fell on galvanized sheet metal coated with paint of different colors, clay tiles, new, or having already served three decades, materials commonly used in Madagascar. The measurement method is the digital analysis of the images using the Mesurim 2 software. The average albedo value is 0.25 for light-colored sheets and tiles. For dark colored plates the average albedo value is 0.05. A 0.20 difference in albedo is observed between color shades.

Keywords: solar radiation, roof, albedo, sheet metal, fired clay tile

1 Introduction

Afin d'assurer un meilleur confort thermique à l'intérieur d'un bâtiment pendant la saison chaude, il est indispensable de réduire le plus possible l'absorption de chaleur des revêtements de bâtiment sous l'effet du rayonnement solaire. Olivier PERROT (2010-2011) a défini, lorsqu'un rayonnement arrive sur un corps quelconque, celui-ci peut être : transmis, absorbé, réfléchi, dans des proportions variables selon la nature du corps. Le comportement radiatif des matériaux est déterminé par leur capacité à transmettre, absorber et réfléchir le rayonnement incident. Dans le

cas du rayonnement solaire, le coefficient de réflexion, la fraction du rayonnement global (direct et diffus) réfléchi est dénommé albédo. On entend par effet d'albédo la capacité du matériau à renvoyer les rayonnements du soleil sans les stocker. Plus il est important, moins la température augmente, la chaleur étant immédiatement renvoyée vers l'atmosphère. Il est influencé par la couleur, l'état de la surface, l'orientation et l'inclinaison du matériau. Notre travail de recherche est consacré aux mesures d'albédo de surface de matériaux utilisés en toiture. Le but est d'identifier ceux qui présentent les meilleures performances et ceci, en tenant compte des facteurs d'influence. La surface des tôles est lisse tandis que les tuiles sont plutôt rugueuses. Les échantillons sont orientés vers nord et l'inclinaison varie de 30° à 45° par rapport à l'horizontal.

2 Facteurs influençant l'albédo

2.1 État de surface

Les études menées par Pierre KASTENDEUCH et al., (2006), Maxime DOYA (2010), Mike COULSON (2018) et Yassine MAANANE (2020), ont montré que l'état de surface influence l'albédo des matériaux. Le rayonnement réfléchi d'une surface rugueuse est inférieur à 20 % par rapport à celui d'une surface lisse. La rugosité entraîne donc une diminution de l'albédo des matériaux.

2.2 Couleurs de la surface

Les études menées par Antoine HUPELIER et al., Maxime DOYA (2010) ; JEF COSYLCO (2012) ont montré que les couleurs de surface influencent l'albédo des matériaux. Il s'agit des couleurs de revêtement type peinture. La couleur est classée par sa clarté et sa saturation.

- Clarté : on peut distinguer des couleurs claires et des couleurs sombres. Celles qui sont claires et brillantes, c'est-à-dire proche de la couleur blanche, elles réfléchissent comme un miroir les rayons solaires. L'albédo est alors proche de 1. En revanche, celles qui sont sombres et mates, la couleur tend vers le noir, elles absorbent davantage d'énergie solaire. Les valeurs de l'albédo sont alors plus faibles.
- La saturation est complètement indépendante de la teinte et de la clarté : on parle des couleurs vives et des couleurs ternes. La couleur vive (pure : composé d'une seule teinte) reflète plus du rayonnement solaire que la couleur terne (composé au moins deux teintes).

3 Les différentes méthodes de mesures de l'albédo

3.1 Mesure par Albédomètre

L'Albédomètre est le dispositif le plus couramment utilisé FREYDIER C. (2012) Guillaume TOURASSE (2017). Il est constitué de deux pyranomètres identiques opposées. Le premier orienté vers le haut mesure le rayonnement global incident. Le second dirigé vers l'échantillon à tester mesure le rayonnement qu'il réfléchit.

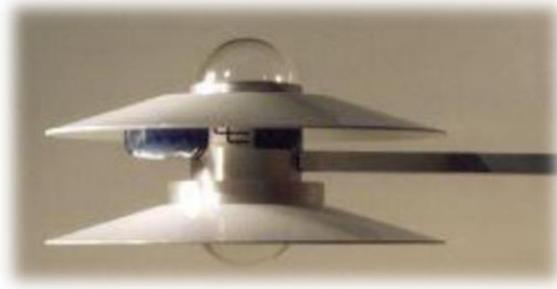


Figure 1 : Albédomètre

3.2 Mesure par Spectromètre

Maxime DOYA (2010) ; Patrick ECHEGUT, et al., (2017) ont présentés, la méthode de mesure de l'albédo par un spectrophotomètre de la modèle CARY5000, La mesure commence nécessairement par une étape de calibration de l'appareil. Une sphère intégrante recouverte du même matériel doit maintenir la mesure de sa réflectivité. Le disque en PTFE (Polytetrafluoroethylene) est monté sur le port de réflectivité, un rayon de 1000 W/m^2 est dirigé vers l'échantillon et le flux réfléchi par sa surface est collecté par la sphère intégrante placée en amont. Afin de bien réaliser les mesures, il nous faut aussi une base pour la réflectivité nulle, celle-ci est obtenue par une mesure de la réflectivité de la sphère intégrante en bloquant le rayonnement direct avant son entrée dans celle-ci. Après la calibration, on monte les échantillons sur le même port. Leurs réflectivités seront donc mesurées relativement à celle du disque PTFE qui est nulle. On appelle cela méthode de substitution. La valeur mesurée dans ce cas est la réflectivité totale composée de la réflectivité diffuse et spéculaire.



Figure 2 : Spectromètres infrarouges VERTEX 70 et 80v

4 Matériels et Méthodes

4.1 Présentations des matériaux étudiés

Parmi les différents types des matériaux de toiture, nous avons choisis les matériaux les plus utilisés à Madagascar : la tôle présente le 70 % du toit résidentiel, ainsi que 5 % pour la tuile artisanale.

4.1.1 Les tuiles en terre cuite

Deux différents types de tuiles sont présentés dans cette expérience : les tuiles artisanales neuves, et les tuiles déjà servi. Les caractéristiques de ces deux matériaux sont identiques, sauf leur couleur grâce à l'ancienneté.

- Dimensions : Longueur 22 cm, Largeur 13.5 cm, Épaisseur 1.5 cm
- Etat de la surface (rugosité) : plutôt rugueux
- Couleurs : rouge brun pour la tuile neuf et rouge vieilli pour la tuile déjà servi

Les photos ci-dessous présentes l'inégalité de la couleur entre ces deux matériaux, la photo 1 représente la tuile neuf, ainsi que la photo 2 celle de la tuile déjà servi.



Figure 3 : Présentation des tuiles neuves



Figure 4 : Présentation des tuiles déjà servi

4.1.2 Les tôles

Les tôles retenues sont du type « tôle galvanisé alu zinc », dont leurs caractéristiques des échantillons sont les suivants :

- Dimensions : Longueur 100 cm soit 1m, Largeur 90 cm, Epaisseur 0.20 mm
- Etat de la surface : Lisse et de forme galvabac
- Les couleurs : les tôles peintes en sept couleurs différents sont étudiées.



Couleur vert kaki ou vert foncé



Couleur vert



Couleur rouge vif



Couleur grenat ou rouge foncé



Couleur bleu



Couleur orange



Couleur brillante (sans peinture)

Figure 5 : Présentations des différentes couleurs des tôles

4.2 Mesure des albédos

La valeur de l'albédo est mesurée à partir du logiciel appelé « Mesurim 2 ». Mesurim 2 est un programme pouvant être utilisé sur un ordinateur en application exécutable ou dans un navigateur, destiné à la détermination de l'albédo de surface par analyse numérique d'images. 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. Le traitement repose sur le contraste de luminosité sur la photo entre l'échantillon à tester et le matériau de référence. Les images JPEG de surface de toiture au-dessus de laquelle est disposé l'étalon sont obtenues avec un appareil photo de 13 Mpx d'un téléphone Android. Elles sont ensuite importées dans le logiciel enfin de calculé la valeur de l'albédo des toitures. Le principe de mesure de l'albédo par Mesurim 2 est équivalent à celle du spectromètre. Afin de bien réaliser la mesure, ils nécessitent d'une référence pour calibrer l'instrument. La figure 4 représente une fenêtre où est visible l'image des tuiles avec le papier blanc.



Figure 6 : Exemple de photographie prise afin de déterminer l'albédo d'une tuile

5 Résultats des mesures

Les valeurs des albédos obtenus sont représentées sur les courbes ci-dessous :

- La figure 7 présente la variation des albédos en fonction du temps. A la date du 03 Juillet 2022, l'état du ciel est très nuageux. En tenant compte le positionnement des échantillons : l'orientation vers le nord et inclinés à 45° par rapport à l'horizontale selon la norme 232/1.

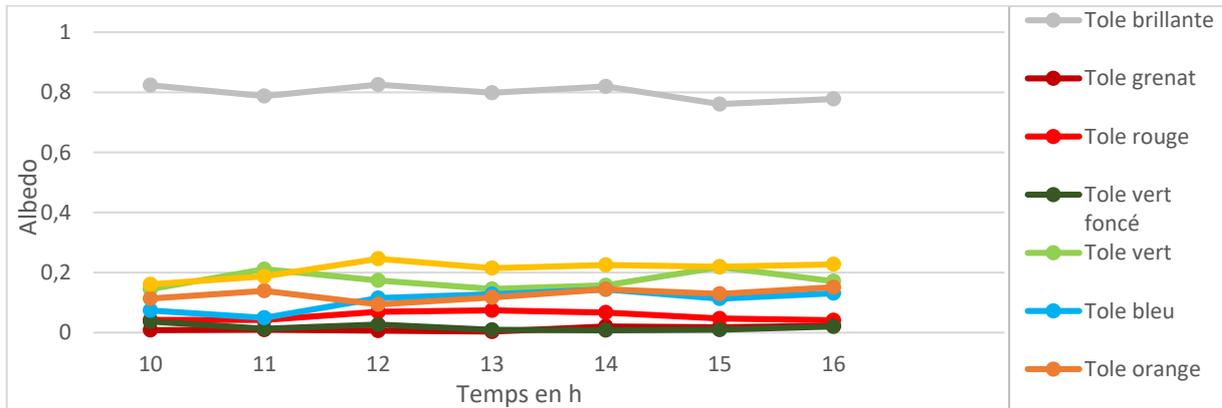


Figure 7 : Variation de l'albédo en fonction du temps, mesure à la date du 03 juillet 2022

- La figure 8 montre les valeurs des albédos mesurés pendant le jour du 09 Juillet 2022, l'état du ciel est plutôt nuageux. L'orientation est toujours vers le nord, selon la norme 232/1 l'inclinaison des tôles est réduit à 30°, on garde l'inclinaison standard à 45° [11] pour les tuiles.

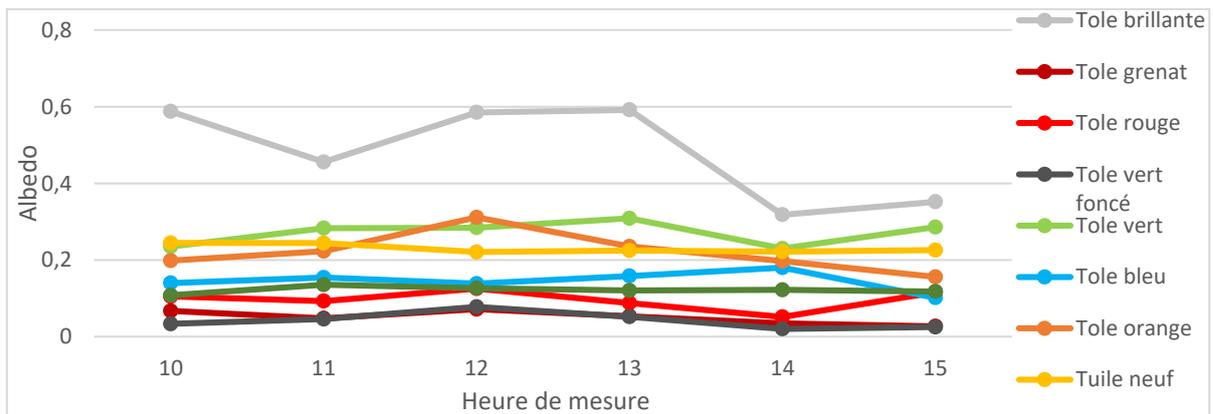


Figure 8 : Variation de l'albédo en fonction du temps, mesure à la date du 09 juillet 2022

- La figure 9 expose la variation des albédos à la date du 12 Juillet 2022, sous les conditions suivantes : l'état du ciel plutôt nuageux ; orientation vers le nord et l'angle par rapport à l'horizontale est 30° pour les tôles, tandis que 45° pour les tuiles.

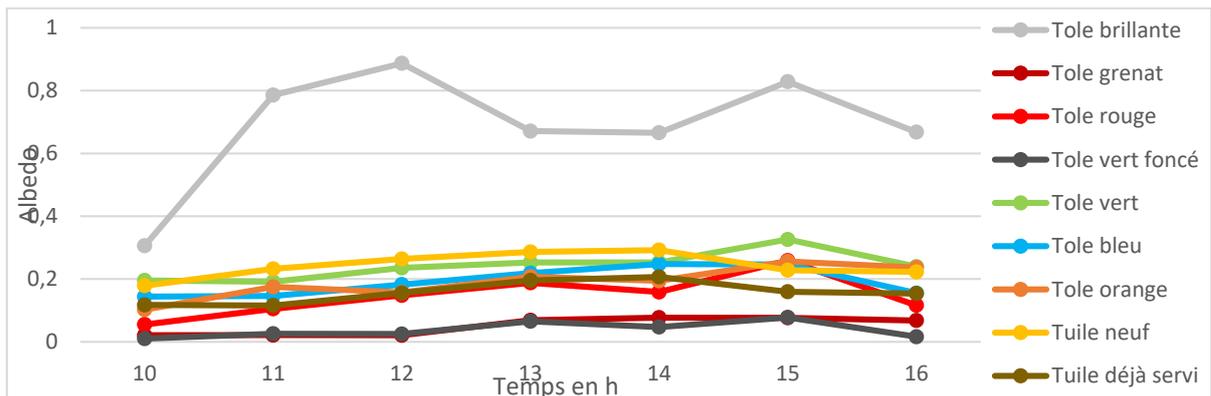


Figure 9 : Variation de l'albédo en fonction du temps, mesure à la date du 12 juillet 2022

- D'après les résultats, on observe que la tôle brillante a un pouvoir réfléchissant très important du rayonnement solaire par rapport aux autres échantillons. Elle reflète au minimum 60 % du rayonnement solaire incident.
- Les résultats des mesures montrent que la tuile a une capacité à renvoyer le rayonnement solaire que les tôles colorées. Un écart de 0.05 à 0.10 est observé entre la tuile et les tôles de couleur vert vif, orange et bleu. Et un intervalle d'albédo de 0.15 à 0.25 pour la tuile et les tôles de couleur rouge, grenat et vert foncé. Par contre, elle a un faible albédo par rapport à la tôle brillante avec un écart de 0.50.
- L'albédo varie en fonction du temps par le contrecoup de l'intensité du rayonnement solaire. il dépend de l'état du ciel (alternation des nuages et du soleil) et de la hauteur du soleil qui varie avec le temps. Une variation 0.15 est constatée pour les tôles de couleur claire et les tuiles, et 0.05 pour les tôles de couleur foncée.
- Une variation de l'albédo est constatée au cours de la journée, cette variation est à cause des passages nuageux, des éclaircis discontinus provoquent les changements de la luminance, qui peut affecter les images. Malgré cela, les matériaux ne résistent pas ce phénomène. De ce fait, la tôle brillante, un écart de 0.60 de l'albédo est constaté entre 10 heure et 12 heures. Pour les autres échantillons, les écarts ne sont pas significatifs.
- L'albédo varie également avec la couleur de la surface : Les matériaux des couleurs claires ont un fort albédo par rapport aux couleurs sombres. Un intervalle de 0.20 est constaté entre le couleur clair et le couleur foncée. La tôle brillante (sans peinture) a une valeur importante par rapport aux autres échantillons. Un écart de 0.70 est observé par rapport à l'échantillon de couleur claire et les tuiles ; un intervalle de 0.85 entre le tôle brillante et la tôle couleur foncé.

La figure ci-dessous présente la variation de l'albédo des quelques matériaux en fonction de l'inclinaison par rapport à l'horizontal, nous prendrons l'inclinaison 30° et 45°.

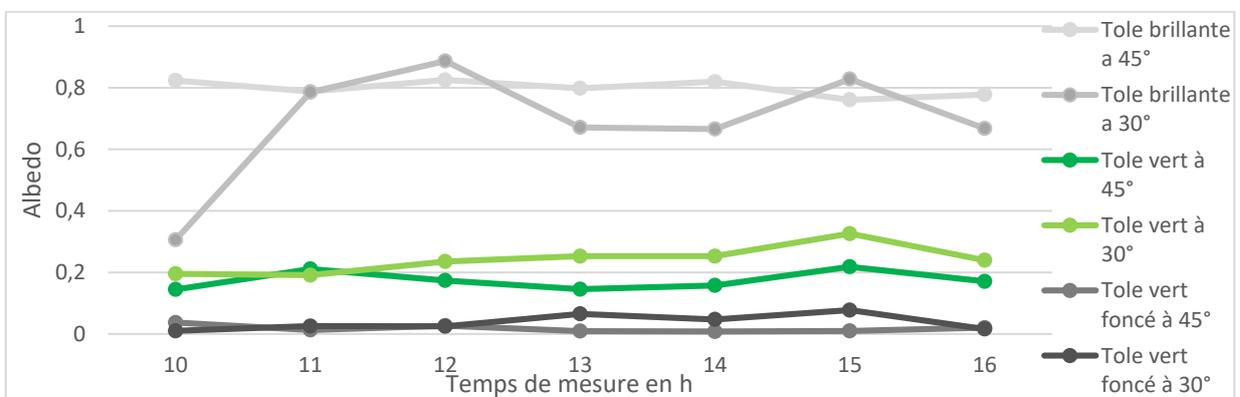


Figure 10 : Variation de l'albédo en fonction de l'inclinaison des matériaux

La figure 10 montre une variation de l'albédo en fonction de l'inclinaison des matériaux par rapport à l'horizontal, un écart allant de 0.05 est observé pour la tôle de couleur vert foncé, tandis que 0.10 pour le tôle de couleur vert et tôle brillante

6 Analyse comparative avec les données de littérature

Le tableau 1 présente les écarts relatifs entre les valeurs moyennes de l'albédo mesuré et celle de la littérature.

Type de surface	Albédo mesuré	Albédo de la littérature	Ecart
Tôle galvanisé brillante	0.80	0.78 [8] ; [9]	+ 0.02
Tôle grenat	0.05	0.10 [7]	- 0.05
Tôle rouge	0.15	0.20 [10]	+ 0.05
Tôle vert foncé	0.05	0.08 [7]	- 0.03
Tôle vert	0.25	0.25 [7]	0
Tôle bleu	0.15	0.17 [7]	- 0.02
Tôle orange	0.20	0.12 [10]	+ 0.08
Tuile neuf	0.25	0.36 [8]	- 0.11

Tableau 1 : Ecart relatif entre les albédos de l'expérimentation et celle de la littérature.

D'après le tableau, nous constatons un écart de l'albédo de 0.02 à 0.11 entre la mesure expérimentale et la valeur trouvée dans la littérature. Le nombre négatif montre que la valeur de l'albédo mesuré est inférieure par rapport à la littérature, par contre le nombre positif désigne la valeur de l'albédo mesuré est supérieure à celle de la littérature. Les résultats confirment la qualité thermique du tuile, tôle vert, tôle orange, le tôle brillante par rapport à la tôle vert foncé et tôle grenat. Les matériaux de couleur sombre comme tôle de couleur vert foncé et tôle grenat absorbent plus de rayonnement solaire et cette absorption entraîne une augmentation de la température de surface. Les matériaux de couleur claire comme tôle rouge, tôle orange, tuile neuf renvoient plus de rayonnement, ce qui procure un meilleur confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

7 Conclusion

Les albédos de toiture ont préalablement été mesurés pour connaître les spécifications des matériaux. L'intervalle de 0.20 de la réflectivité solaire est observé entre la couleur claire et la couleur foncée. Cette remarque est à prendre en compte lors de l'application aux matériaux constituant la toiture du bâtiment. L'albédo élevé de 0.8 de la surface claire de toiture permet de réduire à 80 % la pénétration du rayonnement solaire incident dans les bâtiments. La tôle brillante est un matériau ayant des propriétés réfléchissantes plus intéressantes que bien d'autres.

L'utilisation de matériau de couleur claire sur les toits des maisons entraîne une qualité du confort thermique durant les périodes chaudes et ensoleillées. Le gain de réflectivité solaire implique une diminution sur la demande énergétique. Il suffit d'utiliser le tuile, tôle vert, tôle orange, surtout le tôle brillante ayant un albédo très élevé enfin d'améliorer de manière très significative la qualité thermique de rafraîchissement. L'augmentation de l'énergie solaire réfléchi entraîne une réduction de la charge en climatisation en été mais également une augmentation de la demande en chauffage pendant l'hiver. En perspectives de ce travail, dans le but d'améliorer le confort thermique, nous nécessiterions d'étudier l'orientation et l'inclinaison afin d'ajuster la structure de la toiture d'un bâtiment.

Références

- 1 Olivier PERROT, COURS DE RAYONNEMENT 3eme Semestre I.U.T. de Saint-Omer Dunkerque Département Génie Thermique et énergie 2008/2009 Volume 1, page 7 – 101. <http://gte.uni-littoral.fr/Members/olivier--perrot/pub/ray-iut-poly>
- 2 Pierre KASTENDEUCH, Georges NAJJAR, Nicolas RINGENBACH, MODELISATION DU BILAN RADIATIF ET D'ENERGIE D'UN CANYON URBAIN A STRASBOURG, Climatologie, 2006 <https://climatology.edpsciences.org>
- 3 Mike COULSON, Conductivité, diffusivité, émissivité thermiques de composites Poly (EtherKetoneKetone) / Charges Carbonées : Fibres continues et particules 2018. <https://tel.archives-ouvertes.fr>
- 4 Yassine MAANANE. Identification expérimentale de propriétés radiatives à partir de méthodes Monte Carlo Symbolique : Application aux matériaux hétérogènes à haute température. 2020. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03145296>
- 5 Antoine HUPELIER, Pauline BACLE, Fondation La main à la pâte, Albédo Défi scientifique www.fondation-lamap.org
- 6 Yacouba CAMARA, Etude numérique des performances thermiques d'un habitat bioclimatique. Autre. Université de Perpignan, 2018. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02002998>
- 7 Maxime DOYA (2010), Analyse de l'impact des propriétés radiatives de façades pour la performance énergétique de bâtiments d'un environnement urbain dense, <http://tel.archives-ouvert.fr/tel-00537691v2/document&>
- 8 Denis BOYER, L'AUGMENTATION DE L'ALBÉDO DES TOITURES DE BÂTIMENTS POUR DIMINUER LA PROGRESSION DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, École Polytechnique de Montréal, décembre 2010, https://www.academia.edu/43988968/Mod%C3%A9lisation_dun_corps_de_chauss%C3%A9e_rigide_sous_sollicitations_thermiques_en_r%C3%A9gime_transitoire.

- 9 Catherine FREYDIER, Notions de base sur le rayonnement thermique, 2012 http://html5.ens-lyon.fr/Acces/Physique/20120605/Catherine_Freydier/catherine_freydier.pdf.
- 10 JEF COSYLCO Généraliste de la peinture Spécialiste de la façade, LA PEINTURE À RÉFLEXION SOLAIRE CONTRÔLÉE, <http://infopro-finition.com/wp-content/uploads/PLAQUETTE-RSC.pdf>.
- 11 N. BARTHELEMY, Direction Régionale des Affaires Culturelles DRAC de Lorraine (STAP 54) <http://www.culturecommunication.gouv.fr/Regions/Drac-Lorraine>
- 12 Patrick ECHEGUT, Domingos de Sousa MENESES, Rayonnement Thermique en Milieux Semi-transparents, Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes, 2017, <http://lectures-and-notes.blogspot.ca/2014/12/chapter-1-measurements-international.html>