



LA PIERRE NATURELLE DE CONSTRUCTION DANS UN CONTEXTE D'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE DES BÂTIMENTS

PESTRE, T.¹, SAYAGH, S.², BRACHELET, F.³, PALLIX, D.⁴, ANTCZAK, E.⁵

Introduction

Construire en pierre naturelle n'est pas nouveau, et aujourd'hui encore ce matériau jouit d'une très belle notoriété, principalement liée à son esthétique, à sa résistance mécanique, à sa durabilité dans le temps et à l'inertie qu'il peut apporter dans l'habitat [1]. Ce travail de recherche a pour objectif de déterminer ses propriétés thermiques, hydriques et environnementales. Cela permettra de le positionner dans un contexte réglementaire évolutif, pour lequel les performances thermiques et environnementales des bâtiments et donc des matériaux de construction qui leur sont associés revêt une importance de premier ordre. À partir de la base de données des essais d'identités réalisés au CTMNC (Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction), une première étude statistique a été réalisée sur les calcaires. Ce type de roche est un des plus utilisés en maçonnerie d'éléments massifs. En construction, son usage répandu sur l'ensemble du territoire a permis de bâtir le paysage urbain que nous connaissons [2]. La deuxième phase consiste à déterminer les caractéristiques hygrothermiques d'une douzaine d'échantillons de pierres calcaires françaises sélectionnée en variant les bassins d'approvisionnement, dans la perspective d'étudier les transferts couplés de chaleur et de masse dans les parois de bâtiments. S'ensuivra, pour chaque échantillon, une étude du bilan environnemental de la maçonnerie en pierre massive sur l'ensemble de son cycle de vie.

Études statistiques sur les caractéristiques physiques et mécaniques

La première étape de ce travail concerne la connaissance des propriétés physiques et mécaniques des pierres calcaires, et de leur éventuelle corrélation. Le CTMNC possède une base de données importante sur les pierres naturelles, en particulier sur la porosité ouverte, la masse volumique, la résistance à la flexion et la résistance à la compression. La connaissance de ces propriétés est essentielle dans le domaine de la construction.

¹ PESTRE, Tristan, CTMNC – LGCgE-Université d'Artois, tristan_pestre@ens.univ-artois.fr

² SAYAGH, Shahinaz, CTMNC, sayagh.s@ctmnc.fr

³ BRACHELET, Franck, LGCgE-Université d'Artois, franck.brachelet@univ-artois.fr

⁴ PALLIX, Didier, CTMNC, pallix.d@ctmnc.fr

⁵ ANTCZAK, Emmanuel, LGCgE-Université d'Artois, emmanuel.antczak@univ-artois.fr

Sur près de 400 pierres calcaires, allant de la craie aux pierres marbrières, les caractéristiques varient sensiblement. Cependant, en couplant les propriétés, nous pouvons observer des tendances, linéaires ou exponentielles (Figure 1).

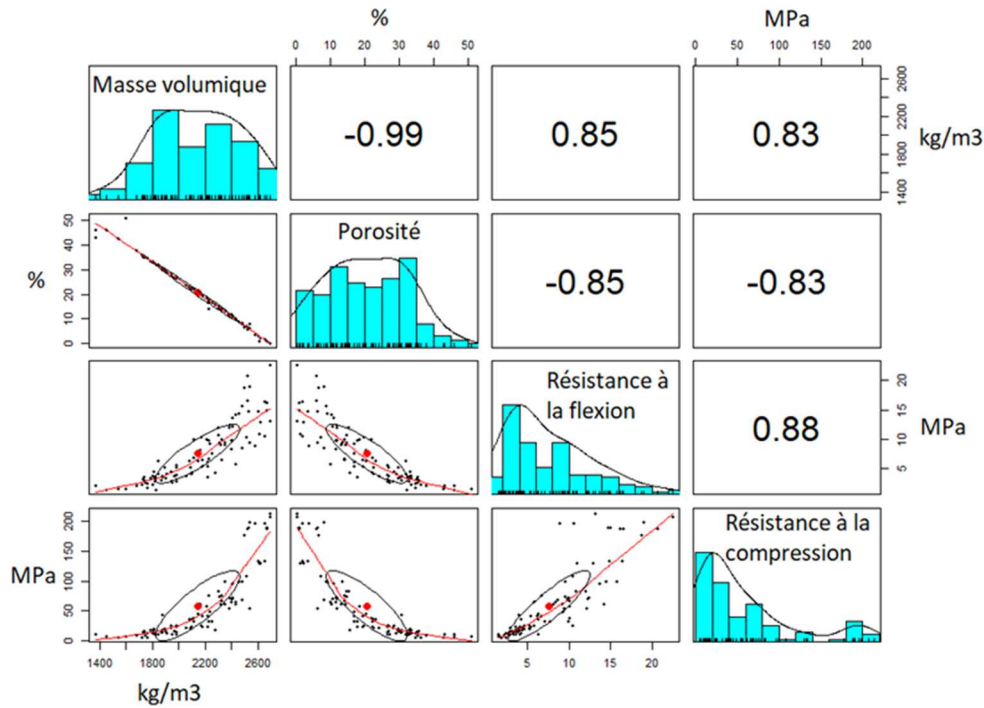


Figure 1 : Corrélations entre les différentes propriétés mécaniques des calcaires (K-means).

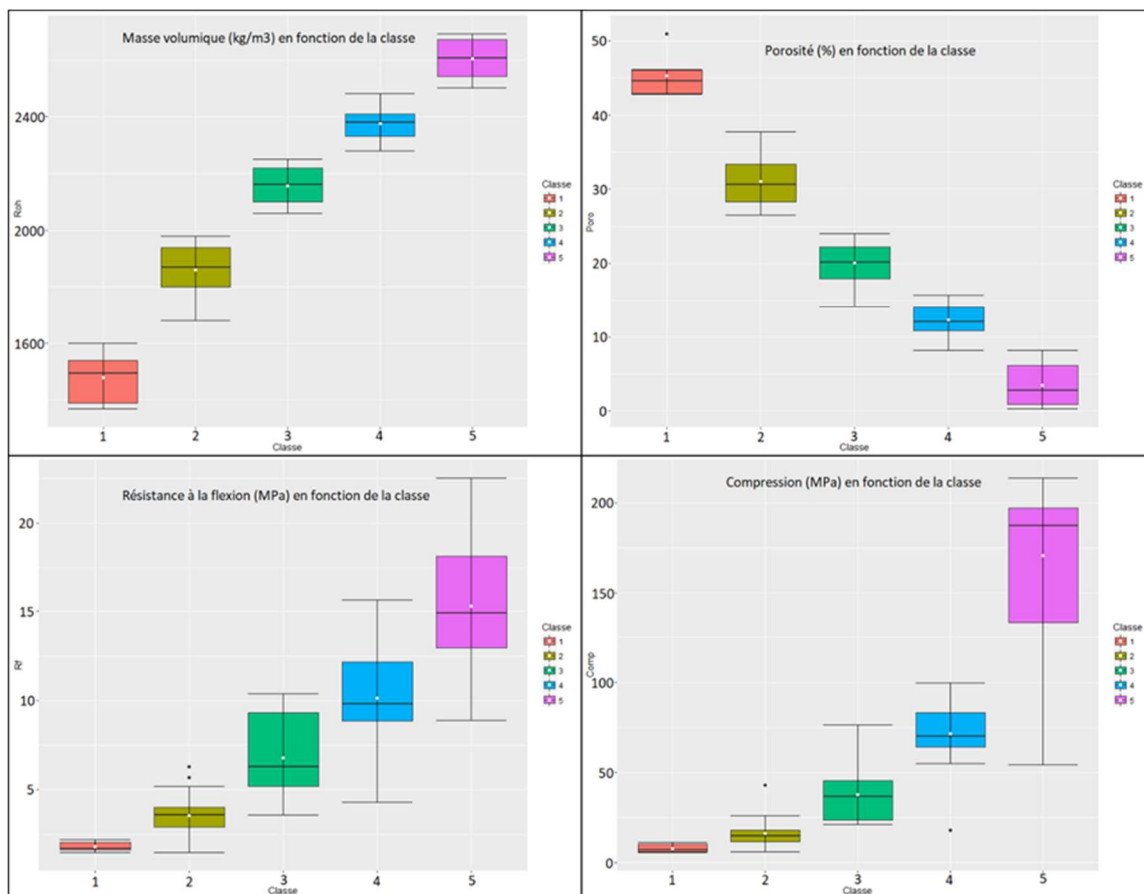


Figure 2 : Caractéristiques mécaniques en fonction des classes statistiques (SVM).

Cette étude permet d'établir des relations pour estimer les caractéristiques d'une pierre calcaire à partir de la connaissance de sa masse volumique.

Ce travail a été suivi d'une étude statistique permettant de classer les pierres calcaires d'après leurs propriétés physiques pour observer si des familles se démarquent et pour les comparer avec le classement usuel (Figure 2). La première étape est de déterminer le nombre optimal de classes. Deux méthodes ont été testées, celle de Davies-Bouldin et celle de Silhouette qui ont donné cinq classes. Ensuite, une analyse en composantes principales a été réalisée pour comprendre comment pourraient être groupées les pierres. La méthode K-means a été utilisée pour séparer les pierres par familles, c'est un classement non supervisé. Une fois les arbres de décision obtenus, nous avons pu classer les autres pierres non classées préalablement, soit une classification supervisée (SVM). Ainsi nous proposons un groupement qui pourrait permettre, entre autres, de distinguer les différentes pierres dans des logiciels d'ingénierie du bâtiment, dont ceux de modélisation des informations du bâtiment (de type BIM).

Etude des caractéristiques hygrothermiques et environnementales

Suite à ces études préliminaires, l'objectif est de déterminer les caractéristiques thermiques et hydriques des roches. Une douzaine de pierres représentatives de leur utilisation dans la construction de bâtiments en France ont été sélectionnées (Figure 3). En thermique du bâtiment, les propriétés les plus importantes à connaître sont la conductivité et la capacité thermiques, qui varient en fonction de la teneur en eau et de la température [3]. Pour nos échantillons, les conductivités thermiques mesurées varient de 0.55 à 1.30 W/(m.K) à l'état sec et de 0.95 à 1.55 W/(m.K) à saturation. Les capacités thermiques massiques varient quant à elles de 630 à 720 J/(kg.K) à sec et de 700 à 1300 J/(kg.K) à saturation. La chaleur volumique, produit de la capacité thermique massique par la masse volumique s'exprime en J/(m³.K) et caractérise la capacité du matériau à stocker et à déstocker de la chaleur. Pour les pierres analysées, les valeurs varient de 1510 à 2000 kJ/(m³.K) à sec et de 1600 à 2400 kJ/(m³.K) à saturation.



Figure 3 : Quelques éprouvettes de pierres sélectionnées.

Concernant les transferts hydriques, les principales caractéristiques sont la perméabilité à la vapeur d'eau, les courbes de sorption et de désorption mais aussi la capacité tampon hydrique qui caractérise le potentiel de régulation hydrique. Les facteurs de diffusion de la vapeur d'eau, qui caractérisent l'aspect perméable ou non

des maçonneries à la vapeur d'eau, s'étendent sur une large gamme de valeurs [4]. Cette propriété va dépendre du type de porosité mais aussi de la distribution porale. L'essai MBV (Moisture Buffer Value ou valeur de capacité tampon hydrique) qui a été réalisé dans le cadre de ce travail, permet de connaître la capacité du matériau à réguler l'humidité ambiante. Les résultats sont classés dans 5 catégories, de très faible à excellente. La majorité des pierres testées se situent dans les plages intermédiaires (faibles et moyennes) mais certaines pierres sont classées dans les catégories bonnes et excellentes, c'est notamment le cas du Tuffeau et la pierre de Noyant. La perspective de cette campagne de caractérisation multiphysique est la modélisation des transferts couplés de chaleur et d'humidité dans des parois en pierres massives, isolées, par exemple, avec des éco-matériaux. L'objectif est de comparer la modélisation numérique avec des essais en chambre bi-climatique de parois reconstituées, soumises à des ambiances différentes, contrôlées en humidité relative et en température. Enfin, l'analyse du cycle de vie des maçonneries en pierre massive permettra d'évaluer leur impact environnemental et donc de valoriser l'aspect naturel, durable et peu transformé de la pierre de construction [5].

Conclusion

Ce travail de recherche s'inscrit dans un contexte d'évolution réglementaire, avec la construction future de bâtiments à énergie positive et bas carbone, initiée par le référentiel E+C-. Ce texte préfigure la prochaine réglementation thermique qui deviendra également environnementale. Il devient alors une nécessité de proposer aux acteurs de la construction des bases de données physiques et environnementales fiables sur lesquelles s'appuyer pour effectuer leurs analyses. Les FDES (Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires) des maçonneries en pierres massives sont nécessaires à l'étape suivante de l'étude, à savoir l'ACV (analyses de cycle de vie) à l'échelle du bâtiment. La connaissance des performances hygrothermiques et environnementales sera un atout pour une utilisation optimale de la pierre naturelle dans la construction.

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un partenariat entre le CTMNC et le LGCgE-Université d'Artois, sous la forme d'une thèse en contrat Cifre de l'ANRT.

Références bibliographiques

- [1] E. C. ROBERTSON, « THERMAL PROPERTIES OF ROCKS », *U.S. Geological Survey*, n° 88-441, p. 110, 1988.
- [2] D. DESSANDIER, J. BENHARROUS, F. MICHEL, et D. PALLIX, « Mémento sur l'industrie française des roches ornementales et de construction », *BRGM*, p. 86, 2014.
- [3] H. M. Künzle, « Simultaneous heat and moisture transport in building components: one- and two-dimensional calculation using simple parameters », *Fraunhofer IRB Verlag*, p. 102, 1995.
- [4] K. Beck, « Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité. », *Thèse de doctorat, Université d'Orléans*, n° HAL<tel-00125704>, p. 245, 2006.
- [5] I. Bianco et G. A. Blengini, « Life Cycle Inventory of techniques for stone quarrying, cutting and finishing: Contribution to fill data gaps. », *Journal of Cleaner Production*, vol. 225, p. 684-696, juill. 2019.