

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Structure des matériaux poreux de construction Sereda, P. J.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40000905>

Digeste de la construction au Canada, 1973-10

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=edfdaae5-dd3c-4d8e-9e51-72079bfb6938>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=edfdaae5-dd3c-4d8e-9e51-72079bfb6938>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 127F

Structure des matériaux poreux de construction

Publié à l'origine en octobre 1973

P.J. Sereda

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

La constitution des matériaux poreux tels que la pierre, la brique, le béton, et le bois, est loin d'être aussi simple que pourraient le suggérer leurs nombreuses applications. Elle est beaucoup plus complexe, par exemple, que celle de matériaux de composition chimique extrêmement compliquée tels que les pièces plates et minces (wafers) en silicone utilisées dans les transistors. Si l'on désire être en mesure de prédire correctement le comportement des matériaux poreux sous les diverses conditions auxquelles ils peuvent être soumis, on devra donc, avant tout, prendre connaissance de leur structure.

Tous les matériaux solides se composent, en dernière analyse, d'assemblages d'atomes du même élément ou d'éléments différents. Ces atomes sont organisés en groupes particuliers qui forment les molécules, les cristaux, ou les particules, et jouent le rôle de micro-éléments dont l'ensemble constitue la structure physique de tous les matériaux solides.

Tous les changements physiques et solides qui surviennent dans un matériau prennent naissance à l'échelle de l'atome ou du micro-élément; normalement, cependant, nous ne les observons qu'à l'échelle de notre perception visuelle. Lorsque nous sommes en mesure d'observer sur un matériau un événement quelconque, c'est que ce dernier a atteint un stade dans lequel des millions d'atomes entrent en jeu. Il est utile, à cette occasion, de disposer d'une échelle de comparaison. Admettons qu'un grain de sable fin représente la limite de notre perception visuelle. (Elle a une valeur d'environ 100 microns, un micron étant la millionième partie d'un mètre.) Les atomes sont si petits qu'on devrait en placer côte à côte environ 1 million pour égaler la dimension d'un grain de sable. On utilise l'unité Ångström, Å, (1 micron = 10,000 Å) pour évaluer les dimensions atomiques. Les divers assemblages d'atomes qui constituent les micro-éléments de la structure des matériaux ont ordinairement des dimensions inférieures à un micron; il est donc nécessaire de les agrandir plus de 100 fois pour pouvoir les observer.

Les atomes constituent les éléments de base de toutes les constructions chimiques. Les réactions se produisent entre atomes (sous forme d'ions) et engendrent les molécules, qui, à

leur tour, s'assemblent en cristaux ou en particules amorphes pour constituer finalement les matériaux qui nous sont familiers. Il nous suffira, étant donné l'objet du présent Digest, de noter que la nature chimique d'un matériau est déterminée par l'élément chimique de base, c'est-à-dire la molécule. Dans les matériaux organiques, la "colonne vertébrale" des molécules se compose de liaisons entre carbones, avec liaisons latérales d'hydrogène, de carbone, d'oxygène et d'autres éléments. Ce sont les éléments particuliers et leurs arrangements qui, avec le nombre des atomes, déterminent la nature chimique de la molécule. C'est ainsi qu'une chaîne de six atomes de carbone, complétée par 14 atomes d'hydrogène, forme une molécule du solvant hexane. Une chaîne de carbone pouvant contenir jusqu'à un quart de million d'atomes de carbone, forme la matière plastique nommée polyéthylène. Le **CBD 117F** étudie quelques-uns des aspects généraux des matériaux organiques.

Dans la classe très importante des matériaux inorganiques tels que les argiles et le ciment, la "colonne vertébrale" commune à tous les silicates se compose du tétraèdre de la silice. La forme de tétraèdre affectée par cet élément permet une grande variété de configurations structurales obtenues par jonction, aux sommets, d'éléments adjacents divers. La nature chimique d'un matériau est finalement déterminée par les liaisons chimiques des atomes qui le forment.

Chez certains matériaux, les métaux par exemple, la masse du corps se compose d'un élément unique; elle ne contient, en dehors de cet élément, que des traces d'autres éléments qui y figurent à titre d'impuretés; elle peut également contenir des éléments ajoutés intentionnellement pour former un alliage. On produit la plupart des métaux utilisés dans la construction par fusion, puis solidification sous forme de micro-cristaux, dont la croissance est limitée par la présence des cristaux voisins. Ce type de solides est en général non poreux, en ce sens que les cristaux sont assez rapprochés pour interdire la pénétration d'atomes étrangers vers l'intérieur.

Nous examinerons principalement, dans le présent Digest, la classe de matériaux qualifiés de "poreux". Parmi eux figurent les céramiques, le béton, la pierre, la brique, ainsi que les revêtements organiques, le bois (produits du bois) et les produits cellulosiques.

Micro-éléments

Tous les matériaux de construction sont des mélanges d'un certain nombre de composés chimiques constitués de molécules. Ces composés cristallisent sous des formes qui leur sont propres ou se solidifient, à partir de l'état de fusion, en donnant naissance à des particules amorphes qui constituent les micro-éléments. Ces derniers sont les blocs physiques dont se composent tous les matériaux de construction.

Ces blocs doivent donc, par leurs dispositions et leurs liaisons, déterminer les propriétés physiques et mécaniques des corps. Examinés sous grossissement 10,000 - ce qui permet l'observation des micro-structures - ils révèlent ordre, complexité et grande variété. Les matériaux de construction contiennent un grand nombre de composés divers; aussi comprennent-ils une gamme de systèmes cristallins présentant des éléments de formes variées, parmi lesquelles figurent des cubes, des lames, des aiguilles et des tubes; ils contiennent également des particules amorphes, c'est-à-dire ne présentant aucune forme spécifique. Un matériau donné se compose ordinairement d'un mélange de plusieurs corps, c'est-à-dire de particules présentant des formes et des dimensions extrêmement variées.

Porosité

On peut définir la porosité comme un état résultat de la présence, entre micro-éléments, d'espaces plus grands que les dimensions atomiques normales. Des molécules étrangères, d'eau par exemple, peuvent alors pénétrer dans les corps. Le diamètre de la molécule d'eau n'excède pas 3.5Å. L'eau peut donc s'infiltrer dans les pores d'un matériau toutes les fois que l'intervalle existant entre micro-éléments dépasse cette dimension. Très variable, la largeur des pores est d'ordinaire de beaucoup supérieure aux dimensions moléculaires. Parfois très grande, elle peut

aussi être réduite aux micro-dimensions. Les pores sont généralement reliés entre eux; il existe de ce fait des canaux continus conduisant aux limites extérieures des matériaux.

Dans certains cas spéciaux - argile ou ciment hydraté, par exemple - la structure des matériaux se présente sous l'aspect de couches superposées. Du fait de l'affinité chimique, les molécules d'eau peuvent séparer des couches même très rapprochées. On désigne les micro-pores spéciaux ainsi créés par l'expression "espaces intercouches." On ne les considère pas comme des causes de porosité. Il peut arriver que les molécules d'eau soient, comme d'autres molécules gazeuses, diffusées à travers des matériaux tels que les plastiques classés comme non poreux. Il ne s'agit cependant que de quantités insignifiantes comparées à celles qui traversent les matériaux poreux.

Lorsque la formation de solides résulte de réactions semblables à l'hydratation du plâtre de Paris ou du ciment, de nombreux cristaux de dimensions et de formes variées prennent naissance et croissent. La structure finale se compose de micro-éléments en contact réciproque en un faible nombre de points situés sur les faces des cristaux en cours de développement. Le reste des surfaces n'entre pas en contact. Il subsiste au contraire des vides de dimensions et de formes variées qui constituent les pores. Leur grandeur varie des micro-dimensions aux interstices capillaires et aux canaux plus importants.

Un système de pores de cette nature présente des connexions internes et communique avec l'extérieur des matériaux. Le volume total des vides existants, évalué en pourcentage du volume total du solide et des pores, sert à définir la porosité d'un matériau. Dans le cas de matériaux communs tels que le plâtre, la porosité est de l'ordre de 50 à 65 pour cent. Elle est de 40 à 60 pour cent pour le ciment et de 5 à 50 pour cent pour la brique. Les matériaux obtenus par fusion ou frittage à partir d'un agrégat de particules constituent au début des opérations un système à haute porosité. S'il se produit, à haute température, une fusion (cas des céramiques), la porosité finale peut être relativement faible.

Liaisons

La microstructure d'un matériau résulte de l'assemblage des micro-éléments qui le composent. Si cet assemblage constitue un corps résistant, il existe nécessairement entre les éléments une liaison puissante. Les liaisons sont parfois de nature chimique; tel est le cas pour les liaisons qui existent dans les molécules des polymères et augmentent considérablement la résistance de ces derniers. Dans d'autres cas, les surfaces extérieures des cristaux s'unissent au cours de la croissance de ces derniers et donnent naissance à de solides liaisons. Le cas se présente pour les métaux, et, dans une certaine mesure, pour les plâtres. Le plus souvent (dans les systèmes ordinaires de cimentation) le lien existant n'est autre que la simple attraction physique qui s'exerce entre deux solides; elle est connue sous le nom de force de Van der Waal; l'extrême proximité des atomes des surfaces adjacentes suffit alors à assurer la liaison.

Lorsque les dimensions des micro-éléments décroissent et que la surface totale croît, la surface de contact étroit augmente. Lors de l'hydratation du ciment Portland, une forte action de cimentation prend naissance à cause des très petites dimensions des particules engendrées par le processus d'hydratation. Dans un espace restreint, la forte augmentation de surface rapproche les surfaces adjacentes dans une mesure telle qu'il en résulte des liens puissants. On peut unir des particules très fines à l'état sec et en former un corps solide et rigide, si on les comprime assez pour réduire considérablement leurs distances réciproques.

Microstructure

Lors de la formation d'un matériau, ses propriétés physiques et mécaniques dépendent de divers facteurs; ce sont la nature des micro-éléments, les dimensions et les formes de ces derniers, le type de leur formation autour d'un noyau et de leur croissance, la nature des frontières formées par l'interférence des surfaces en croissance, l'aire de ces frontières, et l'étendue des surfaces non contiguës laissant entre elles les vides qui sont à l'origine de la porosité.

Chez les métaux, chez certaines céramiques spéciales et certaines roches, les frontières existant entre les grains de matière sont continues; la tension qui s'exerce sur le matériau est répartie proportionnellement et uniformément sur les micro-éléments individuels (Figure 1a). D'une manière similaire, une micro-structure formée à partir de cristaux ou de particules dont les croissances interfèrent aux points de contact, ou qui sont unis par fusion, représente un matériau potentiellement fort si l'aire de l'interface frontalière est grande (Figures 1b et 1c). Il n'a pas été possible d'identifier les effets produits, sur chacune des propriétés finales des matériaux, par chacun des nombreux facteurs qui influent sur la formation d'une micro-structure.



Figure 1a. Cristaux de quartz, système non poreux (aimablement communiquée par Sperry Rand Research Center).

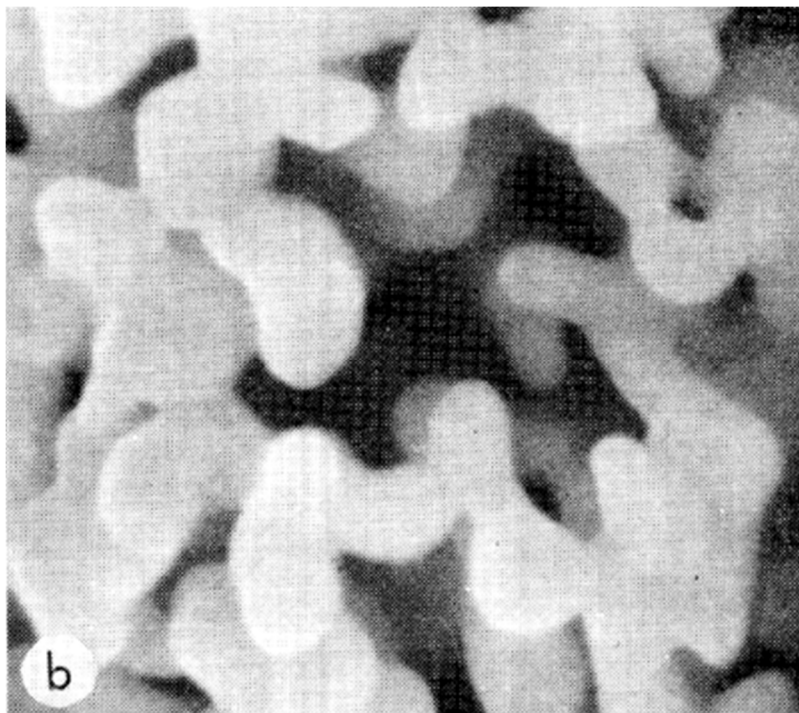


Figure 1b. Brique, argile frittée, porosité 40 pour cent.

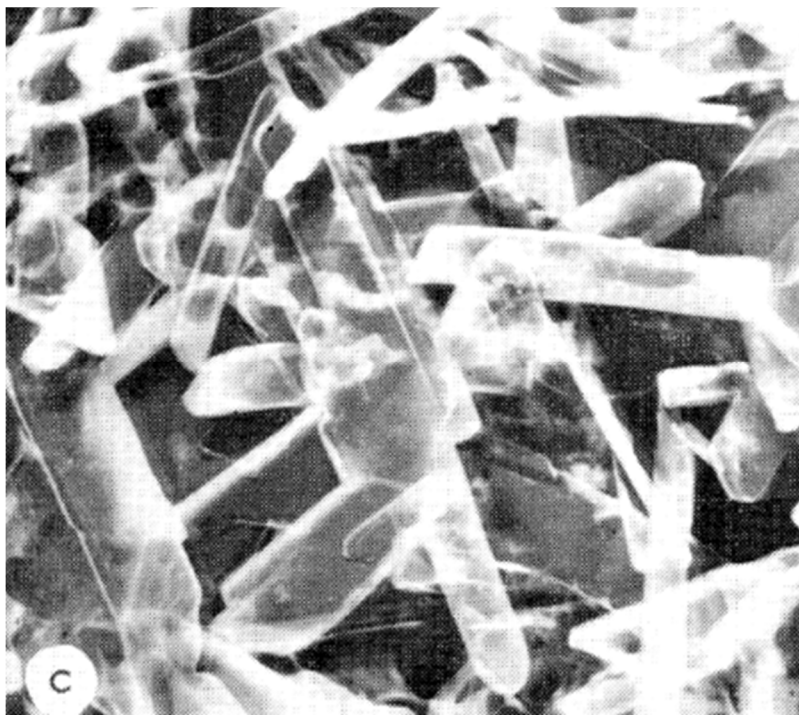


Figure 1c. Gypse hydraté formé de plâtre de Paris et d'eau, porosité 60 pour cent.



Figure 1d. Ciment, hydraté porosité 30 pour cent.



Figure 1e. Cellule de bois (micrographie aimablement communiquée par State University College of Forestry de l'Université de Syracuse).

Seule la porosité totale s'est, jusqu'à ce jour, révélée comme présentant une relation avec la résistance et le module d'élasticité. La Figure 2 représente cette relation dans le cas du plâtre et du ciment. On a trouvé, pour de nombreux autres matériaux, des relations semi-logarithmiques similaires. Des faibles changements de porosité peuvent, du fait de cette relation, entraîner de fortes variations de module et de résistance. En utilisant des techniques spéciales de compaction donnant naissance aux porosités minimales, on a pu amener le béton à une résistance supérieure à 20,000 lpc et la pâte de ciment à une résistance de 30,000 lpc. Aucune formule spéciale de constitution du ciment n'intervient dans ce cas. On peut même obtenir des résultats semblables en appliquant aux argiles des méthodes spéciales de compaction. Le plâtre hydraté peut devenir aussi résistant que le ciment si on abaisse sa porosité au-dessous de la valeur normale pour ce type de matériau. La Figure 1c représente des cristaux semblables à des aiguilles qui croissent en s'entrecroisant; ils forment, sur trois directions, un réseau d'entretroises, qui présente une certaine analogie avec une armature tri-dimensionnelle de poutre.

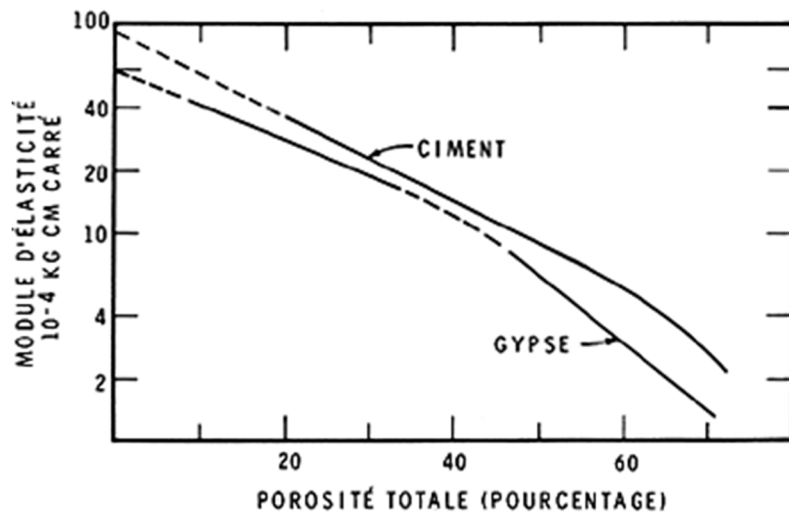


Figure 2. Relation entre porosité et module.

Lors des premiers stades de l'hydratation, la micro-structure du ciment ressemble à un système de tiges et de lames argileuses à cette différence près qu'il existe des preuves de l'existence de liaisons plus fortes et d'un réseau tri-dimensionnel presque semblable à une structure géodésique. Lorsque l'hydratation complète du ciment est achevée, la structure (Figure 1d) ne présente plus qu'un très petit nombre des larges pores précédemment visibles, bien que la micro-porosité de ce qui semble constituer une structure massive soit encore d'environ 30 pour cent. Les dimensions des micro-pores de cette structure sont de l'ordre de 10 à 100 Å; ils ne seraient visibles que sous grossissement de 30,000 au minimum. La Figure 1d montre une structure-type de cette nature. Elle présente de la micro-porosité, mais elle est impossible à déceler sans ce grossissement.

La nature produit des matériaux organiques poreux, tels que le bois, dans lesquels la géométrie est parfaitement régulière; les micro-éléments y ont, en outre, une forme également régulière et des dispositions uniformes. On a étudié dans les [CBD 85F](#), [86F](#) et [88F](#), le bois considéré comme matériau de charpente. La Figure 1e représente en micrographie une section de cellule ligneuse vue perpendiculairement au grain. La porosité totale a une valeur supérieure à celle de tous les exemples précédents. Les propriétés mécaniques de résistance et de module sont cependant plus élevées qu'on ne pourrait s'y attendre dans un système poreux de cette nature. Cela résulte du fait que les micro-éléments sont assemblés à la manière d'un corps composé dans lequel, du fait de l'action de cimentation de la lignine, des cellules tubulaires du bois adhèrent sur leur longueur avec d'autres cellules identiques. Le bois offre peut-être le meilleur exemple d'un corps composé naturel. Il met également en évidence les grandes possibilités offertes par les matériaux synthétiques composés. La canne à pêche en fibre de verre est une copie de matériau composite réalisée par l'homme.

Dans le cas des matériaux poreux, la microstructure entraîne une conséquence inévitable. La surface interne totale des matériaux (constituée par les surfaces limites des vides intérieurs) est exposée aux attaques de l'environnement si les vides communiquent avec l'extérieur. Les agents étrangers peuvent alors pénétrer jusqu'au "coeur" du matériau. Les micro-éléments étant d'ordinaire très petits, la surface interne peut être très grande. Une livre de ciment hydraté, contenue dans du béton, dont la structure se compose de feuilletés entassés ou pliés et de vides interconnectés, présente une aire superficielle totale d'environ 5.5 acres. On étudiera, dans un Digest ultérieur, les conséquences de cette situation.