

Christian Lemaitre

Les propriétés physico-chimiques des matériaux de construction



Matière & matériaux | Propriétés rhéologiques & mécaniques
| Sécurité & réglementation | Comportement thermique,
hygroscopique, acoustique et optique

EYROLLES

ÉDITIONS EYROLLES
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Chez le même éditeur, en coédition avec Construire'Acier :

Marc Landowski & Bertrand Lemoine, *Concevoir et construire en acier*, 112 pages
(en couleurs), 2011

Collectif, *Lexique de la construction métallique*, 272 pages, 2012

**et des dizaines de livres de construction, de génie civil et d'architecture
dans le catalogue en ligne des éditions Eyrolles :**
www.editions.eyrolles.com

Sauf mentions contraires, les visuels sont de l'auteur.



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

Table des matières

| | |
|--|----|
| CHAPITRE I. Matière et matériaux | 3 |
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.2 Définitions | 3 |
| 1.2.1 Éléments chimiques et atomes | 4 |
| 1.2.2 Composés chimiques, corps simples et molécules | 4 |
| 1.3 Les états de la matière | 4 |
| 1.3.1 Les gaz | 5 |
| 1.3.2 Les liquides | 6 |
| 1.3.3 Les solides | 7 |
| 1.3.3.1 Solides non cristallins | 7 |
| 1.3.3.2 Solides cristallins | 8 |
| 1.3.4 Vibrations de réseau | 9 |
| 1.4 Changements d'état | 10 |
| 1.4.1 Définitions | 10 |
| 1.4.2 Diagramme d'état | 10 |
| 1.5 Liaisons dans les solides | 11 |
| 1.5.1 Les liaisons de valence | 11 |
| 1.5.2 Les liaisons ioniques | 12 |
| 1.5.3 Les liaisons métalliques | 12 |
| 1.5.4 Les liaisons faibles | 13 |
| 1.5.5 Mixité des liaisons | 13 |
| 1.6 Liaisons et cohésion dans les cristaux | 14 |
| 1.7 Caractéristiques des matériaux et courbe de cohésion | 15 |
| 1.7.1 Dilatation thermique | 15 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 1.7.2 | Déformation élastique..... | 15 |
| 1.7.2.1 | Définitions..... | 15 |
| 1.7.2.2 | Énergie de liaison et élasticité..... | 16 |
| 1.7.3 | Déformation plastique..... | 16 |
| 1.7.3.1 | Cristal réel..... | 17 |
| 1.7.3.2 | Mécanisme de la déformation plastique..... | 18 |
| 1.7.4 | Rupture du matériau..... | 19 |
| 1.8 | Propriétés fonctionnelles des matériaux..... | 19 |
| 1.9 | Les classes de matériaux..... | 20 |
| 1.9.1 | Sols et pierres..... | 20 |
| 1.9.2 | Métaux et alliages..... | 21 |
| 1.9.3 | Céramiques..... | 21 |
| 1.9.4 | Verres..... | 21 |
| 1.9.5 | Polymères..... | 21 |
| 1.9.6 | Élastomères..... | 22 |
| 1.9.7 | Composites..... | 22 |
| 1.10 | Les matériaux de construction..... | 22 |
| 1.10.1 | Les sols..... | 22 |
| 1.10.2 | Les matériaux de structure..... | 23 |
| 1.10.3 | Les matériaux d'enveloppe..... | 23 |
| 1.10.4 | Les matériaux de second œuvre..... | 23 |
| CHAPITRE 2. Propriétés rhéologiques et mécaniques des matériaux..... | | 25 |
| 2.1 | Introduction..... | 25 |
| 2.2 | Définitions et rappels..... | 26 |
| 2.2.1 | Rhéologie..... | 26 |
| 2.2.2 | Statique..... | 27 |
| 2.2.2.1 | Masse et poids..... | 27 |
| 2.2.2.2 | Moment d'une force..... | 27 |
| 2.2.2.3 | Principe d'action-réaction..... | 27 |
| 2.2.2.4 | Somme de forces..... | 27 |
| 2.2.2.5 | Équilibre..... | 27 |
| 2.3 | La courbe de traction..... | 27 |
| 2.3.1 | L'essai de traction..... | 27 |
| 2.3.1.1 | Domaine élastique..... | 28 |
| 2.3.1.2 | Domaine plastique..... | 29 |
| 2.3.1.3 | Rupture..... | 29 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.3.2 | Ductilité – fragilité | 30 |
| 2.3.3 | La striction | 30 |
| 2.3.4 | Le coefficient de Poisson | 31 |
| 2.4 | Autres déformations | 31 |
| 2.4.1 | Les essais de compression | 31 |
| 2.4.2 | Les essais de flexion | 33 |
| 2.4.3 | La torsion | 33 |
| 2.4.4 | Le tenseur des contraintes | 34 |
| 2.5 | Dureté et résilience | 35 |
| 2.5.1 | Essai de dureté | 35 |
| 2.5.2 | Essai de résilience | 36 |
| 2.6 | Notions de statique | 37 |
| 2.6.1 | Hypothèses de base | 37 |
| 2.6.1.1 | <i>Linéarisation</i> | 37 |
| 2.6.1.2 | <i>Superposition</i> | 37 |
| 2.6.1.3 | <i>Forces internes</i> | 37 |
| 2.6.2 | Les poutres | 38 |
| 2.6.2.1 | <i>Définitions</i> | 38 |
| 2.6.2.2 | <i>Appuis des poutres</i> | 39 |
| 2.6.2.3 | <i>Efforts dans les poutres</i> | 40 |
| 2.6.2.4 | <i>Conventions de signe</i> | 41 |
| 2.6.3 | Chargement des poutres | 42 |
| 2.6.3.1 | <i>Chargement réparti</i> | 42 |
| 2.6.3.2 | <i>Chargement ponctuel</i> | 43 |
| 2.6.3.3 | <i>Réactions aux appuis</i> | 44 |
| 2.6.3.4 | <i>Contraintes internes</i> | 44 |
| 2.7 | Déformation des poutres | 45 |
| 2.7.1 | Moment d'inertie | 45 |
| 2.7.1.1 | <i>Définitions</i> | 45 |
| 2.7.1.2 | <i>Moments principaux</i> | 46 |
| 2.7.1.3 | <i>Surfaces composées</i> | 46 |
| 2.7.1.4 | <i>Moments d'inertie de quelques sections usuelles</i> | 47 |
| 2.7.2 | Staticité des systèmes de poutres | 47 |
| 2.7.3 | Allongement élastique en traction (ou rétrécissement en compression) | 48 |
| 2.7.4 | Déformation en flexion | 48 |
| 2.7.4.1 | <i>Flexion pure</i> | 48 |
| 2.7.4.2 | <i>Flexion composée</i> | 50 |
| 2.7.5 | Flèche d'une poutre | 50 |
| 2.8 | Diagramme des moments fléchissants | 50 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE 3. Matériaux, sécurité et réglementation | 55 |
| 3.1 Introduction | 55 |
| 3.2 Stabilité des structures et règles de sécurité : principes | 56 |
| 3.3 Les états limites et les Eurocodes | 57 |
| 3.3.1 Bases du calcul..... | 57 |
| 3.3.2 Description des Eurocodes | 57 |
| 3.3.3 Les actions..... | 57 |
| 3.3.4 Combinaisons d'actions..... | 58 |
| 3.3.5 Sollicitations, contraintes, déformations | 58 |
| 3.4 Inflammation et combustion des matériaux | 59 |
| 3.4.1 Variation des propriétés des solides avec la température | 59 |
| 3.4.2 Inflammabilité de la matière | 61 |
| 3.4.3 Combustion | 61 |
| 3.4.4 L'incendie | 63 |
| 3.4.4.1 Paramètres de l'incendie | 63 |
| 3.4.4.2 La propagation du feu | 63 |
| 3.4.4.3 Les phases de l'incendie | 64 |
| 3.5 Comportement au feu des matériaux | 64 |
| 3.5.1 La réaction au feu des matériaux | 65 |
| 3.5.2 La résistance au feu des éléments de structure | 66 |
| 3.6 Règles de sécurité incendie pour les constructions | 68 |
| 3.6.1 Prévention, prévision, intervention | 68 |
| 3.6.2 Prévision : classement des bâtiments | 68 |
| 3.6.2 Mesures de protection | 70 |
| 3.6.2.1 Le bois | 70 |
| 3.6.2.2 L'acier..... | 71 |
| 3.6.2.3 Le béton | 71 |
| 3.7 Matériaux et santé dans les constructions | 72 |
| 3.7.1 Identifier et recenser les risques..... | 73 |
| 3.7.1.1 Localisation | 73 |
| 3.7.1.2 Conception du bâtiment et environnement intérieur..... | 73 |
| 3.7.1.3 Usage du bâtiment et environnement intérieur | 74 |
| 3.7.2 Pollution chimique de l'air intérieur | 75 |
| 3.7.2.1 L'amiante et les isolants | 75 |
| 3.7.2.2 Les composés organiques volatils (COV) | 75 |
| 3.7.2.3 Le radon et la radioactivité | 76 |
| 3.7.3 Pollution des eaux sanitaires | 76 |
| 3.7.3.1 Le plomb | 76 |
| 3.7.3.2 Les légionelles | 77 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE 4. Comportement thermique et hygroscopique des matériaux | 79 |
| 4.1 Introduction | 79 |
| 4.2 Modes de transmission de la chaleur | 80 |
| 4.2.1 Généralités | 80 |
| 4.2.2 Les trois modes de transfert thermique | 80 |
| 4.2.2.1 <i>La conduction</i> | 80 |
| 4.2.2.2 <i>La convection dans les fluides</i> | 81 |
| 4.2.2.3 <i>La radiation (ou le rayonnement)</i> | 81 |
| 4.3 Conduction thermique | 82 |
| 4.3.1 Bases de thermique | 82 |
| 4.3.2 Bilans énergétiques | 83 |
| 4.3.3 Conduction d'une cloison séparative | 84 |
| 4.4 Échanges superficiels | 85 |
| 4.4.1 Convection à l'interface fluide-solide | 85 |
| 4.4.2 Échanges par rayonnement à la surface d'un solide | 86 |
| 4.4.3 Somme des échanges à travers une paroi | 86 |
| 4.5 Les isolants thermiques | 88 |
| 4.5.1 Principes de l'isolation | 88 |
| 4.5.2 Les matériaux isolants | 89 |
| 4.5.2.1 <i>Les isolants végétaux</i> | 89 |
| 4.5.2.2 <i>Les isolants minéraux</i> | 90 |
| 4.5.2.3 <i>Les isolants synthétiques</i> | 90 |
| 4.6 Fonctionnement thermique des parois | 90 |
| 4.6.1 Principe | 90 |
| 4.6.2 Méthode de calcul | 91 |
| 4.7 Température de l'air et humidité : la condensation | 92 |
| 4.7.1 Pression de vapeur saturante | 92 |
| 4.7.2 Diagramme de l'air humide | 93 |
| 4.7.2.1 <i>Rôle de l'humidité absolue</i> | 93 |
| 4.6.2.2 <i>Établissement du diagramme psychrométrique de Mollier</i> | 95 |
| 4.8 Production d'humidité et renouvellement de l'air | 96 |
| 4.8.1 Activité dans les locaux | 96 |
| 4.8.2 Hygrométrie | 96 |
| 4.9 Diffusion de la vapeur dans les solides | 97 |
| 4.9.1 Mécanisme de la diffusion | 97 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.9.2 | Paramètres de la diffusion | 97 |
| 4.9.2.1 | <i>Perméabilité d'un matériau</i> | 97 |
| 4.9.2.2 | <i>Perméance d'une paroi</i> | 98 |
| 4.9.2.3 | <i>Résistance à la diffusion d'une paroi</i> | 98 |
| 4.9.2.4 | <i>Analogie des paramètres de température et de pression de vapeur d'eau</i> | 98 |
| 4.9.3 | Exemples de valeurs de perméabilité | 98 |
| 4.10 | Risques de condensation dans les parois | 99 |
| 4.10.1 | Description du problème..... | 99 |
| 4.10.2 | Mise en évidence des risques..... | 99 |
| 4.10.3 | Solutions possibles..... | 100 |

CHAPITRE 5. Comportement acoustique et optique des matériaux

103

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.1 | Introduction | 103 |
| 5.2 | Les ondes | 103 |
| 5.2.1 | Les ondes élastiques | 104 |
| 5.2.2 | Les ondes électromagnétiques | 107 |
| 5.3 | Acoustique et architecture | 109 |
| 5.3.1 | Onde acoustique et matériaux | 109 |
| 5.3.1.1 | <i>Vitesse de propagation</i> | 109 |
| 5.3.1.2 | <i>Réflexion et réfraction d'une onde aérienne par un solide</i> | 110 |
| 5.3.1.3 | <i>Transmission et atténuation du son</i> | 111 |
| 5.3.2 | Niveau sonore et puissance acoustique | 111 |
| 5.3.3 | Coefficient d'absorption d'un local | 113 |
| 5.3.3.1 | <i>Spectre d'absorption d'un matériau</i> | 113 |
| 5.3.3.2 | <i>Aire équivalente d'un local</i> | 114 |
| 5.3.4 | Temps de réverbération, aménagement des locaux | 115 |
| 5.3.4.1 | <i>Formule de Sabine</i> | 115 |
| 5.3.4.2 | <i>Correction acoustique</i> | 115 |
| 5.3.5 | Indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi | 116 |
| 5.3.5.1 | <i>Définitions</i> | 116 |
| 5.3.5.2 | <i>Bruits standardisés</i> | 116 |
| 5.3.5.3 | <i>Loi de masse (parois simples)</i> | 117 |
| 5.3.5.4 | <i>Performances de parois composées</i> | 117 |
| 5.3.6 | Isolement acoustique d'un local par une paroi | 118 |
| 5.3.7 | Réglementation acoustique des bâtiments (NRA) | 119 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 5.4 | Lumière et matériaux | 120 |
| 5.4.1 | Onde optique et matériaux | 120 |
| 5.4.1.1 | <i>Vitesse de la lumière dans les matériaux</i> | 120 |
| 5.4.1.2 | <i>Transparence, opacité et couleur</i> | 120 |
| 5.4.2 | Réflexion et réfraction de la lumière naturelle | 121 |
| 5.4.2.1 | <i>Loi de Snell-Descartes</i> | 121 |
| 5.4.2.2 | <i>Réflexion et éclat</i> | 122 |
| 5.4.3 | Transmission et atténuation de la lumière naturelle | 123 |
| 5.4.4 | Facteurs énergétiques et optiques d'un élément | 124 |
| 5.4.4.1 | <i>Facteur solaire (FS)</i> | 124 |
| 5.4.4.2 | <i>Coefficient de transmission lumineuse (TL)</i> | 125 |
| 5.4.4.3 | <i>Le coefficient de réflexion lumineuse (RL)</i> | 125 |
| | Bibliographie | 127 |
| | Index | 129 |