

Christian Lemaître

Les propriétés physico-chimiques des matériaux de construction



Ce manuel contient les **connaissances de base** conduisant au **choix des matériaux dans le domaine de la construction**.

Tous les paramètres sont examinés : sollicitations mécaniques ou liées au climat, tenue au feu, problèmes relatifs à la santé dans les habitations, isolation thermique (en relation avec les questions d'aération et d'humidité dans les locaux), confort acoustique ou encore ambiances lumineuses.

À la description de chacun des matériaux sont associées les **normes**, la **règlementation** et les notions concernant les **constructions durables**.

SOMMAIRE

- Matière et matériaux
- Propriétés rhéologiques et mécaniques des matériaux
- Matériaux, sécurité et réglementation
- Comportement thermique et hygroscopique des matériaux
- Comportement acoustique et optique des matériaux

Du même auteur dans la même collection

Mise en œuvre et emploi des matériaux de construction



Dans une pagination réduite cette initiation moderne à l'indispensable connaissance des matériaux de construction et de leurs fonctionnalités s'adresse en priorité aux élèves et aux étudiants en génie civil abondant pour la première fois les matériaux de construction dans les IUT, dans les licences de matériaux, dans les Masters pro et dans les écoles d'ingénieurs orientées BTP (UT, ESITC, ESTP, INSA, etc.).

Les formateurs et les stagiaires de la formation continue y trouveront l'essentiel de ce qu'il faut savoir.

Professeur des Universités, **Christian Lemaître** enseigne à l'**Université de Technologie de Compiègne**. Son cours, destiné aux élèves ingénieurs en systèmes urbains porte sur les matériaux de construction. Il est notamment titulaire d'un doctorat traitant de la tenue à la corrosion des métaux, sujet sur lequel il délivre également un cours destiné aux élèves ingénieurs en mécanique.

www.editions-eyrolles.com
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif

Code éditeur: G13392
ISBN: 978-2-212-13392-9



19 €

barbarycourte.com | Images : phovoir.fr



Ch. Lemaître

Les propriétés physico-chimiques des matériaux de construction

Christian Lemaître

Les propriétés physico-chimiques des matériaux de construction



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

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-13392-9

EYROLLES

Table des matières

CHAPITRE 1. 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 <i>Solides non cristallins</i>	7
1.3.3.2 <i>Solides cristallins</i>	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	<i>Définitions</i>	15
1.7.2.2	<i>Énergie de liaison et élasticité</i>	16
1.7.3	Déformation plastique	16
1.7.3.1	<i>Cristal réel</i>	17
1.7.3.2	<i>Mécanisme de la déformation plastique</i>	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	<i>Masse et poids</i>	27
2.2.2.2	<i>Moment d'une force</i>	27
2.2.2.3	<i>Principe d'action-réaction</i>	27
2.2.2.4	<i>Somme de forces</i>	27
2.2.2.5	<i>Équilibre</i>	27
2.3	La courbe de traction	27
2.3.1	L'essai de traction	27
2.3.1.1	<i>Domaine élastique</i>	28
2.3.1.2	<i>Domaine plastique</i>	29
2.3.1.3	<i>Rupture</i>	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 <i>Paramètres de l'incendie</i>	63
3.4.4.2 <i>La propagation du feu</i>	63
3.4.4.3 <i>Les phases de l'incendie</i>	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 <i>Le bois</i>	70
3.6.2.2 <i>L'acier</i>	71
3.6.2.3 <i>Le béton</i>	71
3.7 Matériaux et santé dans les constructions	72
3.7.1 Identifier et recenser les risques.....	73
3.7.1.1 <i>Localisation</i>	73
3.7.1.2 <i>Conception du bâtiment et environnement intérieur</i>	73
3.7.1.3 <i>Usage du bâtiment et environnement intérieur</i>	74
3.7.2 Pollution chimique de l'air intérieur.....	75
3.7.2.1 <i>L'amiante et les isolants</i>	75
3.7.2.2 <i>Les composés organiques volatils (COV)</i>	75
3.7.2.3 <i>Le radon et la radioactivité</i>	76
3.7.3 Pollution des eaux sanitaires	76
3.7.3.1 <i>Le plomb</i>	76
3.7.3.2 <i>Les légionelles</i>	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
4.7.2.2 <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

Avant-propos

Très souvent appréhendés de façon intuitive, les matériaux de construction sont parfois mis en œuvre avec l'idée que les bonnes pratiques seront acquises sur le terrain. Un professionnel ne peut pas avoir pareille approche, car il lui faut garantir à son client une durée de vie satisfaisante des ouvrages et des fonctions qu'on en attend. C'est pourquoi il est indispensable qu'un technicien ou un ingénieur intervenant dans le domaine du BTP acquière des connaissances de base sur les matériaux mis en œuvre et puisse les relier aux normes et à la réglementation en vigueur.

Nous présentons ici les fonctionnalités des matériaux et abordons les principes des réglementations qui garantissent leur bon usage. Il est fait le plus souvent appel au comportement physico-chimique qui permet à ces matériaux d'assurer leurs diverses fonctions :

- mécanique : cohérence, stabilité, résistance, déformations, etc. ;
- chimique : réactivité, volatilité, résistance au feu, santé, dégradation, etc. ;
- thermique : isolation, comportement hygroscopique, étanchéité ;
- acoustique : transmission, absorption ou réflexion des sons ;
- optique : confort lumineux et apports thermiques.

Nous avons fait toute leur place aux règles générales et aux méthodes qui sont associées à ces fonctions et permettent de s'assurer du bon usage des matériaux, en prenant en compte le développement durable :

- sécurité et stabilité des structures ;
- confort thermique et étanchéité ;
- comportement au feu ;
- bâtiment et santé.

Dans un ouvrage distinct, complémentaire de celui-ci, nous étudierons un à un les différents types de matériaux en décrivant leur élaboration, leur mise en œuvre, leurs caractéristiques spécifiques, leur rôle et leurs déclinaisons dans le bâtiment. Si l'on veut appréhender les propriétés mises en jeu, l'approche fonctionnelle développée dans cet ouvrage est essentielle.

Ce livre s'adresse à des lecteurs ayant un niveau d'études scientifiques équivalent à celui que l'on acquiert à l'université après un bac + 2. Il ne constitue toutefois qu'une introduction aux matériaux de construction car les questions traitées ne font que survoler cette vaste discipline. Les étudiants en DUT Génie civil ou en début de formation d'ingénieur dans ce secteur devraient pouvoir en tirer profit, comme les étudiants des écoles d'architecture.

1.7 Caractéristiques des matériaux et courbe de cohésion

1.7.1 Dilatation thermique

Si la température n'est plus le zéro absolu, on ajoute à l'énergie interne une énergie thermique W_T . On s'aperçoit alors que sur la courbe de l'énergie interne, il faut ajouter W_T à la valeur U_0 du minimum pour se trouver en U_1 (figure 1.15), et que la position d'équilibre r^0 n'a plus de sens. Cette position d'équilibre peut en effet se trouver entre un minimum et un maximum dont les positions dépendent de la valeur de U_1 .

Les atomes vont alors entrer en vibration entre les distances minimales et maximales, avec une amplitude plus grande si la température augmente : on retrouve ici la vibration de réseau déjà évoquée plus haut.

Mais la valeur moyenne de la vibration ne reste pas centrée sur la valeur initiale de r^0 , car la courbe énergétique n'est pas symétrique : elle se déplace vers des distances plus grandes. La longueur moyenne de la liaison entre les atomes augmente pour atteindre une valeur r_1 . C'est la dilatation thermique.

Si l'augmentation de la température est ΔT , on en déduit le coefficient de dilatation thermique (en K^{-1}) de ce composé :

$$\alpha = (r_1 - r^0) / r^0 \cdot \Delta T$$

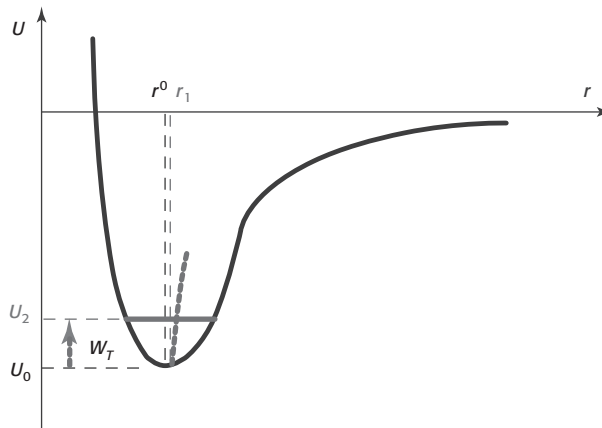


Figure 1.15. Apport d'énergie thermique : vibration et dilatation.

1.7.2 Déformation élastique

1.7.2.1 Définitions

Il est nécessaire à ce stade de définir des notions élémentaires concernant les propriétés mécaniques des matériaux, comme une déformation provoquée par une contrainte, et qui peut être une déformation élastique ou plastique ;

- l'action d'une force sur la surface d'un solide se traduit par une pression (force par unité de surface) qui est appelée *contrainte*. Cette contrainte provoque la déformation qui est la variation de la dimension rapportée à la dimension initiale. Dans le cas où un solide a une longueur L , s'il est soumis à l'action d'une contrainte de traction $\sigma = F/S$, il va d'allonger de la longueur $\Delta\ell$, la déformation est alors : $\varepsilon = \Delta\ell/L$;
- cette déformation est élastique si, après relâchement de la contrainte appliquée, le solide retrouve, par réversibilité, ses dimensions initiales. Cette déformation élastique est proportionnelle à la contrainte appliquée (loi de Hooke), et le coefficient de proportionnalité E s'appelle le *module* de Young, avec : $\sigma = E \cdot \varepsilon$;
- si ce n'est pas le cas, le relâchement de l'effort provoque un retour partiel vers les dimensions d'origine, mais il reste une déformation résiduelle appelée *déformation plastique*. Celle-ci est donc partiellement réversible.

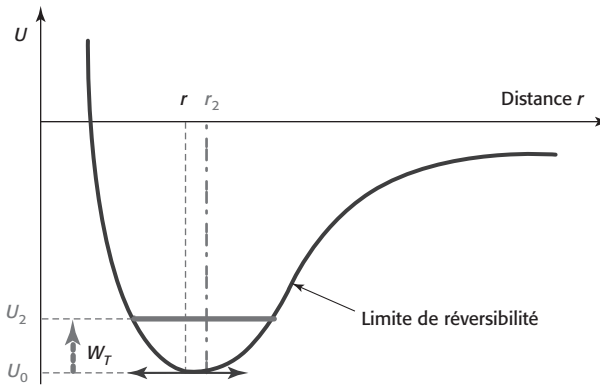


Figure 1.16. Apport d'énergie mécanique : vibration et déformation élastique.

1.7.2.2 Énergie de liaison et élasticité

L'application d'un effort mécanique est un apport d'énergie W_M . Le minimum devient égal à $U_2 = U_0 + W_M$, et on voit (figure 1.16) que la distance d'équilibre oscille entre un minimum et un maximum qui s'écartent d'autant plus que l'apport W_M est important. Le point médian se déplace à cause de la dissymétrie et on observe un allongement :

$$\Delta\ell = r_2 - r^0.$$

La déformation élastique est alors :

$$\varepsilon = (r_2 - r^0)/r^0.$$

Au-delà de la limite de réversibilité, la déformation devient plastique.

1.7.3 Déformation plastique

La déformation résiduelle permanente se manifeste après que le matériau a subi une contrainte supérieure à une valeur définie qui est une des caractéristiques de ce matériau : la limite élastique. Alors, le matériau déformé se stabilise dans un état d'équilibre nécessairement différent de son état initial. Cette modification est rendue possible par l'existence de défauts dans la

structure cristalline, et plus particulièrement de défauts qui ont une forme linéaire : les dislocations. Il faut donc aborder maintenant la notion de défauts, avant de décrire le comportement du matériau sollicité mécaniquement en présence de ces dislocations.

1.7.3.1 Cristal réel

Dans les faits, puisqu'on n'est jamais au zéro absolu, la thermodynamique montre qu'aucun cristal n'est parfait. Une structure cristalline comporte nécessairement des défauts. Ces différents défauts peuvent avoir des dimensions variables : ils peuvent être ponctuels, linéaires ou volumiques.

- *Les défauts ponctuels* (figure 1.17) correspondent à des nœuds du réseau qui sont soit inoccupés (les lacunes), soit occupés par un atome différent de celui qui devrait s'y trouver (les substitutions). Il se peut aussi qu'on trouve un atome dans la structure qui soit intercalé entre les sites normalement occupés de la structure (atomes interstitiels). On peut aussi trouver des combinaisons de ces défauts : la plus simple se décrit par un atome qui quitte sa place en laissant une lacune et en se retrouvant en position interstitielle. Ces défauts ponctuels ont une influence importante sur le comportement de ces matériaux à très haute température, car ils sont alors nombreux et accélèrent les phénomènes liés à la diffusion de matière à travers le solide.

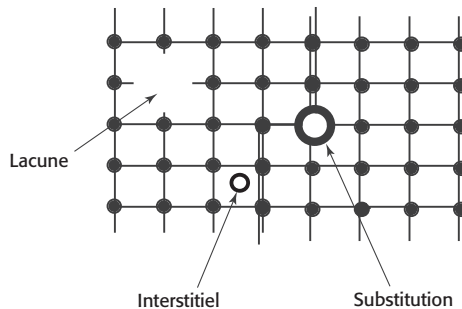


Figure 1.17. Défauts ponctuels dans un cristal.

- *Les défauts linéaires*, ou dislocations, correspondent à des irrégularités dans la périodicité de la structure qui créent des sortes de « marches » à l'intérieur du matériau. Il y en a de deux sortes : les dislocations coin et les dislocations vis. Pour une dislocation coin, la marche est perpendiculaire à la ligne du défaut, et pour une dislocation vis, elle est parallèle. Pour des raisons de simplicité nous nous bornerons ici à décrire ce qui se passe avec les dislocations coin, sachant que le processus est similaire avec les dislocations vis, mais plus difficile à décrire à cause de ses aspects tridimensionnels.
- Une dislocation coin (figure 1.18) se décrit comme si on avait introduit un demi-plan nouveau d'atomes dans la structure, tout comme un coin glissé pour caler une porte. On obtient ainsi une ligne d'atomes en plus dans la partie où ce demi-plan existe que dans l'autre partie. Le bord de ce demi-plan est la ligne de défaut symbolisée par un T renversé, et la « marche » obtenue dans le matériau est bien perpendiculaire à cette ligne.
- *Les défauts en volume* sont de plusieurs natures : les joints de grains sont les surfaces qui délimitent le cristal (ou « grain » dans un solide polycristallin) et sont en

contact avec le cristal voisin, les macles sont des zones du cristal qui se sont stabilisées au cours de la solidification de façon à ce que le réseau « maclé » soit la reproduction du cristal non maclé mais avec une transformation de symétrie par rapport à un plan (le plan de macle). Certaines impuretés peuvent aussi occasionner des défauts en volume. Ces défauts ont une incidence sur la déformabilité du matériau, mais modifient peu le mécanisme de la plasticité.

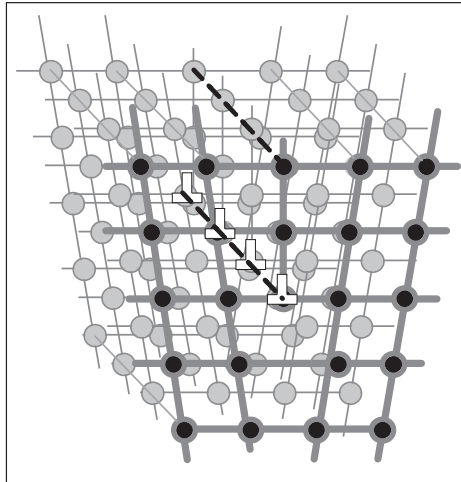


Figure 1.18. Dislocation coin.

1.7.3.2 Mécanisme de la déformation plastique

Si un cristal contenant une dislocation coin est sollicité par une contrainte de cisaillement qui s'applique parallèlement à la « marche », le solide va se déformer. La figure 1.19 représente ce cas dans un plan perpendiculaire à la ligne de dislocation. La déformation a tendance à faire glisser cette ligne dans un plan appelé *plan de glissement*. Alors dans ce plan, il y a rupture d'une liaison avec un atome qui s'éloigne, cette liaison se reformant avec un autre atome qui

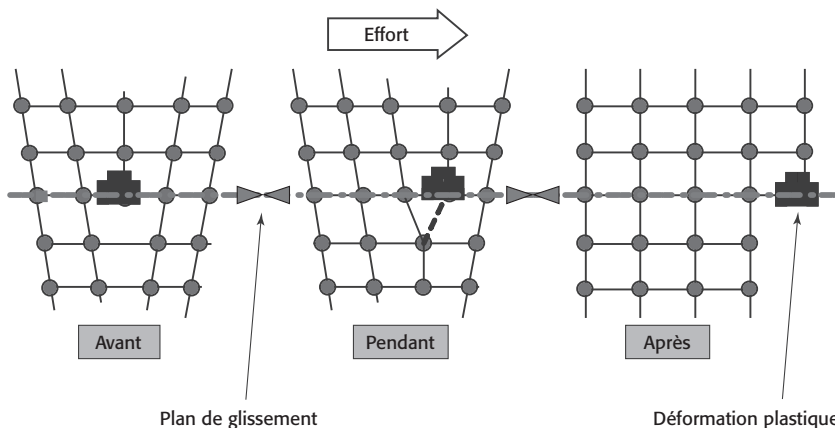


Figure 1.19. Glissement d'une dislocation coin.

s'est rapproché lors de la déformation. Si l'effort se poursuit, le glissement continue de proche en proche. Au bout du cristal, on fait alors finalement apparaître une vraie marche à la surface externe, le reste du cristal s'étant rapproché du cristal parfait ; on est en présence d'une déformation permanente : la déformation plastique. Sans dislocation, un même résultat aurait nécessité la rupture simultanée de toutes les liaisons au niveau du glissement, donc la rupture du matériau, ce qui demande une énergie bien plus considérable, puis la réunion des deux parties ainsi créées !

1.7.4 Rupture du matériau

Si la contrainte devient plus importante, il est possible d'atteindre une valeur de cet effort pour laquelle on obtiendra la rupture de liaison, car l'énergie $W_R = U_R - U_0$ mise en jeu sera plus grande que l'énergie des liaisons. Pour un effort de traction, la déformation conduit à écarter les atomes les uns des autres dans la direction de la traction. La courbe de cohésion (figure 1.20) montre qu'à la rupture, la distance qui les sépare est r_A .

L'allongement à la rupture est aussi une des caractéristiques mécaniques d'un matériau. Il s'écrit :

$$A\% = 100 * (r_A - r^0) / r^0$$

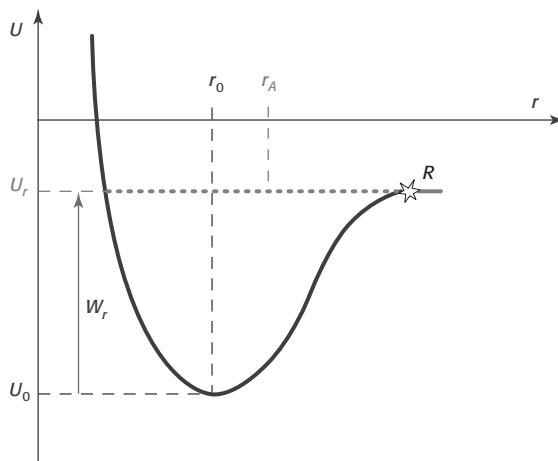


Figure 1.20. Allongement à la rupture.

1.8 Propriétés fonctionnelles des matériaux

Le choix des matériaux en construction mécanique ou dans le secteur du BTP est conditionné par les caractéristiques qui sont requises par le cahier des charges, ainsi que par des considérations de coût.

L'approche « science des matériaux » qui a été abordée jusqu'ici a permis de mettre en évidence que de nombreuses caractéristiques peuvent être prises en compte. Celles qui seront finalement importantes dépendent de la fonction que l'on veut faire jouer au matériau. On peut citer les fonctions suivantes (liste non exhaustive) :

- masse et masse volumique ;
- tenue aux efforts mécaniques ;
- tenue aux sollicitations climatiques ;
- tenue à la température et aux incendies ;
- tenue dans le temps (solubilité, vieillissement, corrosion...) ;
- isolation ou conduction thermique ;
- isolation ou conduction électrique ;
- isolation, absorption ou transmission acoustique ;
- perméabilité ou étanchéité à l'humidité ;
- viscosité ;
- porosité ;
- propriétés optiques, transmission ou absorption des rayonnements lumineux ;
- couleur et esthétique ;
- granulométrie ;
- facilité de mise en œuvre ou de remplacement ;
- développement durable ;
- environnement, éco-propriétés, coût global.

De plus, il convient de se préoccuper toujours de deux aspects importants :

- la facilité d'approvisionnement ;
- le coût financier.

Souvent, ces propriétés sont liées entre elles ; il est difficile d'avoir un matériau à la fois isolant électrique, conducteur de la chaleur, transparent, léger, perméable à l'humidité, facile à se procurer et peu onéreux. Il faudra alors trouver des compromis, parfois en mettant en place des multimatériaux comportant plusieurs couches.

De plus, il sera question dans un autre chapitre des relations qu'il peut y avoir entre variations de température et humidité dans des locaux : agir sur une propriété peut en modifier une autre. Il faut y prêter attention.

Sur de nombreux aspects, des réglementations européennes, françaises ou locales ont été mises en place, afin d'assurer la sécurité ou de préserver le patrimoine d'un secteur géographique. Le choix des matériaux est alors orienté : on aura grand intérêt à s'en tenir informé, et à tenir compte des règles de sécurité (dimensionnement, tenue au feu, sollicitations climatiques, règles sanitaires...).

1.9 Les classes de matériaux

Les matériaux de l'ingénieur ou de l'architecte peuvent être classés de façons diverses. En se basant sur la science des matériaux telle qu'exposée plus haut, on peut proposer sept classes de matériaux.

1.9.1 Sols et pierres

La terre est un mélange de trois constituants minéraux de base dans des proportions variables, additionné de composants organiques provenant de la décomposition des végétaux.

Ces trois constituants minéraux sont – comme pour les sols – le sable, l’argile et le calcaire. Les caractéristiques des sols sont liées à leur composition, mais aussi à leur granulométrie et à leur degré d’humidité.

L’étude des sols fait l’objet de la géologie, et s’applique dans la géotechnique. (Voir *Mise en œuvre et emploi des matériaux de construction* dans la même collection.)

Les pierres proviennent soit du sous-sol, soit d’une sédimentation à la suite d’une longue immersion dans les temps géologiques, suivie ou non d’une transformation plus ou moins importante. On peut en trouver dans les constructions en pierre, mais aussi en toiture, comme les lauzes ou les ardoises.

Le ciment est une pierre artificielle broyée, fabriquée à partir de chaux et d’argile.

1.9.2 Métaux et alliages

Les métaux sont des éléments chimiques comme le fer, le cuivre, l’aluminium, le zinc, le titane... issus du traitement de certains minerais par l’industrie métallurgique. Bien souvent, les métaux sont utilisés à l’état combiné avec un autre élément ou plusieurs autres éléments. Les aciers sont ainsi des alliages de fer et de carbone, les aciers inoxydables sont des alliages de fer et de chrome contenant souvent du nickel, et parfois d’autres constituants supplémentaires. Les métaux sont très utilisés en construction mécanique et dans le BTP.

1.9.3 Céramiques

Les céramiques sont des composés chimiques contenant un ou plusieurs éléments métalliques entrant dans leur composition. Certaines se trouvent dans la nature, on élabore alors ces céramiques par cuisson des argiles du sol : ce sont les terres cuites. Celles-ci sont utilisées pour de nombreux objets de la vie courante (vaisselle, sanitaires, bibelots...), mais aussi en construction (briques, carrelages, tuiles).

Il existe aussi des céramiques élaborées industriellement, constituées d’oxydes, de carbures ou de nitrures métalliques : elles sont souvent utilisées dans des applications hautes températures (fours, radiateurs, moteurs...).

1.9.4 Verres

Les verres sont des matériaux fabriqués à partir de mélanges de sable et de soude, comportant un peu de magnésie (comme fondant) et portés à la fusion. Le liquide, en refroidissant, donne naissance à un verre de sodo-silicate. On peut introduire du fluor pour créer des verres en fluoro-silicate. Les verres sont utilisés pour fabriquer des objets ménagers ou des vitrages dans l’automobile ou la construction.

1.9.5 Polymères

Les polymères sont des molécules organiques qui sont obtenues en assemblant bout à bout par synthèse des éléments (monomères) de chaînes moléculaires. Ces molécules très longues se pelotonnent entre elles et confèrent ainsi au matériau ses caractéristiques.

Ce sont des polyesters, des polycarbonates, des polyéthylènes... On distingue les polymères thermoplastiques et thermodurcissables. L'utilisation de ces matériaux est en pleine expansion, notamment dans les industries du transport (aviation, automobile).

1.9.6 Élastomères

Le caoutchouc, la silicone, le néoprène, sont des élastomères dont les utilisations sont spécifiques. Le premier est utilisé pour la fabrication de pneumatiques, mais pour faire parfois des joints d'étanchéité. C'est pour améliorer l'étanchéité qu'on utilise quelquefois les deux autres.

1.9.7 Composites

Les matériaux composites sont constitués de mélanges de plusieurs constituants. Il en existe donc de nombreux exemples. On en trouvera trois ci-après :

- les composites à base de polymères. Ce sont des polymères renforcés par des fibres ou des tissus qui améliorent notablement la résistance mécanique du polymère seul. Souvent, l'amélioration est favorisée davantage dans une direction que dans les autres. On fabrique de très nombreux objets avec ces composites artificiels ;
- le bois. Tout comme ci-dessus, le bois est une combinaison de fibres de celluloses orientées qui baignent dans la lignine. C'est donc un composite naturel. Ses applications sont très nombreuses, notamment dans le domaine de la construction, où il allie souplesse, résistance et légèreté ;
- le béton. Le béton est composé de ciment en poudre, de sable et de gravier (et parfois d'additifs) ; mélangé à de l'eau, il solidifie en quelques heures grâce à une réaction spontanée d'hydratation. On l'utilise abondamment dans le secteur du BTP, car il confère aux ouvrages bâtis une masse et une résistance suffisantes pour répondre aux sollicitations auxquelles ils sont soumis. Il faut noter que ce matériau résiste mal à la traction, ce qui a amené à mettre en œuvre le béton armé, qui comporte en plus une armature métallique.

1.10 Les matériaux de construction

Dans le domaine du BTP, les matériaux sont souvent considérés en fonction de leur utilisation courante, certains d'entre eux pouvant se retrouver dans plusieurs catégories. Cela permet de mieux appréhender les choix de matériaux si on les destine à telle ou telle application.

On distingue en effet quatre grands types de matériaux de construction.

1.10.1 Les sols

C'est sur le sol que s'appuient toutes les constructions. Il est nécessaire de tout commencer par une caractérisation des propriétés du sol, et de prévoir les interventions éventuelles destinées à le consolider pour répondre aux sollicitations qu'il devra subir.

1.10.2 Les matériaux de structure

On demande aux matériaux de structure d'assurer la stabilité et la sécurité d'une construction, notamment au niveau des sollicitations mécaniques et de la tenue au feu. On utilisera de façon différente ceux dont la masse est importante, assurant ainsi la stabilité de la structure, et ceux qu'on met en œuvre pour alléger certaines parties des structures pour économiser la matière.

Pour apporter de la masse, on fait appel aux terres cuites (comme les briques), à la chaux, au ciment, au béton... Pour économiser la matière, on emploie les métaux (essentiellement les aciers), ou le bois (notamment pour les charpentes).

1.10.3 Les matériaux d'enveloppe

L'enveloppe d'une construction concerne toutes les parties qui sont en contact avec l'extérieur. Il s'agit essentiellement de la couverture et des façades.

Pour les toitures (ou couvertures), on dispose de terre cuite ou de béton (pour les tuiles), de pierres (ardoises, lauzes), de métaux (cuivre, zinc, acier...) et de végétaux (chaumes).

Pour les façades (et les pignons), on retrouve certains matériaux de structure (béton, briques de terre cuite, chaux...), le bois (bardages), et des roches (pierres). Les vitrages font partie des façades ; le verre est donc un matériau d'enveloppe.

On demande aux matériaux d'enveloppe d'assurer, entre autres choses, l'isolation thermique et l'étanchéité de la construction.

1.10.4 Les matériaux de second œuvre

Ces matériaux sont essentiellement ceux utilisés pour la finition intérieure des constructions. Le plus courant d'entre eux est le plâtre, qui sert d'enduit sur les murs et les plafonds, et qui peut être le matériau des cloisons. On retrouve là encore le bois (cloisons, menuiseries, parements), certains métaux, et des matériaux polymères ou composites (menuiseries).

On demande à ces matériaux de participer à l'isolation thermique et à l'isolement acoustique, ainsi qu'à la régulation de l'humidité, tout en ne négligeant pas la tenue au feu.