

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Humidification et séchage des matériaux poreux Sereda, P. J.; Feldman, R. F.

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/10.4224/40001054>

*Digeste de la construction au Canada, 1973-08*

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=318ccbec-33cf-4d8f-804a-6fd83d91c935>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=318ccbec-33cf-4d8f-804a-6fd83d91c935>

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 130F**

# **Humidification et séchage des matériaux poreux**

*Publié à l'origine en août 1973*

*P.J. Sereda et R.F. Feldman*

### **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.

Le volume de la plupart des matériaux poreux change lorsque leur teneur en humidité subit des variations. L'humidification du plâtre peut provoquer la dilatation de ce matériau et sa chute du plafond. Sous l'influence de la dessiccation, le bois peut, de même, perdre du volume et se craqueler. Les sols subissent, eux aussi, les effets des variations saisonnières de la teneur en eau. Ils peuvent se gonfler, puis se contracter. Les **CBD 30F** et **84F** ont déjà décrit les divers effets produits par l'eau sur les matériaux de construction poreux. Résultant des changements physiques causés par les variations de teneur en humidité, ils peuvent détériorer les matériaux et écourter leur durée de vie utile.

Les constructeurs ont besoin de pouvoir prédire le comportement en service des matériaux de construction poreux. Seules des expériences antérieures, portant sur des matériaux identiques utilisés dans des conditions semblables, ou la compréhension des processus qui engendrent des modifications, peuvent servir de base aux prédictions. On utilise aujourd'hui dans les constructions, en appliquant des méthodes nouvelles, des matériaux connus de tous temps; on emploie aussi, sans disposer à leur sujet d'une expérience bien longue, des matériaux nouveaux. On ne peut, dans ces conditions, que baser les prédictions de comportement sur la compréhension complète des propriétés des matériaux et des influences exercées par l'environnement. On se propose d'examiner, dans le présent Digest, les processus divers d'humidification et de séchage des matériaux, et les effets produits sur ces derniers par la pénétration de l'eau.

### **Eau Présente à l'Extérieur du Matériau**

L'environnement peut provoquer la présence d'eau dans les pores ou à la surface d'un matériau. Il peut aussi constituer un réservoir d'humidité. Il commande, dans tous les cas, la teneur en humidité des matériaux. Le CBD 120F étudie les effets des types de construction et d'environnement sur la teneur en humidité des matériaux. Le **CBD 112F** étudie le comportement du bois soumis à l'influence des alternances de hausse et de baisse de l'humidité relative de l'atmosphère. L'eau est présente dans l'environnement sous trois états:

vapeur dans l'air (**CBD 157F**), liquide sous forme de pluie (**CBD 6F, 42F**) ou d'eau souterraine (**CBD 82F**), et solide sous forme de neige ou glace. Sous forme de vapeur dans l'air environnant, elle constitue une source d'humidité omniprésente (**CBD 23F, 108F**); sa répartition a lieu d'une manière uniforme et parfaite à l'intérieur d'un matériau poreux.

De même que les conditions atmosphériques changent, l'environnement dans lequel les matériaux sont utilisés est sujet à variations; il est, en particulier, soumis à des cycles quotidiens et saisonniers. La durée du cycle quotidien est souvent trop brève pour exercer une influence appréciable sur les matériaux présentant une certaine masse. Il convient, en fait, de tenir compte des conditions quotidiennes moyennes. N'étant soumises à aucun cycle régulier, les chutes de pluie constituent une exception. L'eau souterraine peut même subir des variations liées à celles des saisons; son niveau dépend, de toute manière, de l'importance et de la durée des chutes de pluie.

### **Humidification et Séchage des Surfaces**

Tant que l'eau est présente sous ses trois états à l'extérieur d'un matériau et dans l'environnement de ce dernier, on peut la considérer comme formant un ensemble. Il est alors possible de prédire son comportement en se basant sur ses propriétés bien connues. Lorsqu'elle entre en contact avec la surface d'un matériau, par contre, il n'est plus possible de prédire son comportement en se basant sur ses propriétés globales. Une goutte d'eau placée à la surface d'un bloc de paraffine y demeure en affectant la forme d'un hémisphère. Elle laisse la surface environnante totalement sèche. Ce comportement contraste avec celui d'une goutte d'eau identique placée sur une plaque de verre parfaitement propre. Elle s'y étale, mouillant une surface étendue et affecte l'aspect d'un film.

On peut réaliser une expérience encore plus frappante en plaçant une goutte d'eau sur la surface d'une brique poreuse. Dans ce cas également, l'eau se répand sur la surface, mais, de plus, elle pénètre dans le matériau, disparaît dans les pores, et ne laisse subsister à la surface qu'une tache humide. Si l'on avait fait subir à cette même brique un traitement préalable au moyen d'un agent non mouillant tel qu'un silicone, la goutte serait restée à la surface comme dans le cas de la paraffine. La différence de comportement de l'eau dans les deux environnements illustre les influences mutuelles qui s'exercent entre l'eau et la surface du matériau. Elle montre également que cette interaction se produit entre l'eau voisine de la surface et la première couche superficielle de molécules (qui peut être constituée par des corps étrangers contaminant la surface) et non par la masse du matériau.

Sur toute surface, la première couche d'atomes se trouve, du fait d'un non-équilibre des forces, dans un état énergétique différent de celui des atomes sous-jacents situés à l'intérieur du matériau. On décrit cet état sous le nom d'énergie interfaciale ou énergie superficielle. On le désigne, dans le cas des liquides, sous le nom de tension superficielle. Comme on peut s'y attendre, l'énergie superficielle varie avec la nature des atomes de la surface et les interactions de ces derniers avec les atomes du voisinage.

Les surfaces mouillées par l'eau attirant les molécules d'eau, il se produit un phénomène d'adsorption au cours duquel une certaine quantité d'eau est maintenue en équilibre avec l'humidité relative de l'environnement. Lorsque l'aire superficielle du matériau est très faible (matériau non poreux), la quantité totale d'eau retenue par le matériau est insignifiante. Lorsque le matériau est poreux, par contre, et que la surface totale est importante, la quantité d'eau retenue est, elle aussi, notable. Une autre section du présent Digest examinera cette question.

### **Matériaux Secs en Contact avec des Sources d'Eau**

#### *Matériaux Non Poreux*

Lorsqu'un matériau non poreux, tel qu'un parement métallique, vient en contact avec l'eau à l'état de vapeur, de liquide ou de solide, il se met rapidement en équilibre avec l'environnement, parce que la quantité d'eau qu'un matériau de cette nature peut retenir est minime. Si, de plus, la masse du matériau est faible, de sorte que sa température superficielle

est voisine de celle de l'atmosphère, l'état d'humidité de la surface varie en s'adaptant étroitement aux conditions d'humidité de l'environnement. Les films superficiels d'eau sont très minces et restent invisibles jusqu'au moment où, à la surface, l'humidité relative avoisine la saturation (100 pour cent). Les processus tels que la corrosion des métaux débutent lorsque le film d'eau correspond à une HR de 85 pour cent environ. Les autres processus, la production de taches et les altérations de couleurs, par exemple, commencent lorsque la saturation a été atteinte, ou lorsque l'eau, sous forme de liquide ou de produit de condensation, a été déposée en films relativement épais ou en gouttelettes. La coalescence des gouttes peut débiter à ce stade; on peut alors observer l'écoulement ou le drainage irrégulier de l'eau en excès. La quantité d'eau que peut retenir une surface quelconque dépend de l'orientation (horizontale ou verticale) de cette dernière, ainsi que des natures physiques et chimiques des matériaux.

En cas d'exposition à une HR supérieure à 50 pour cent, il se forme sur surfaces mouillables, des films d'eau invisibles; la quantité totale d'eau retenue, même à 100 pour cent, reste cependant faible sauf si la texture est rugueuse. A moins d'être maintenues à une température inférieure au point de rosée de l'environnement, ou mises en contact avec de l'eau à l'état liquide, les surfaces non mouillées par l'eau restent virtuellement sèches quelle que soit l'humidité relative. De très grosses gouttes s'y forment lorsque l'eau s'y dépose dans les conditions précitées.

Sous le rapport de la mouillabilité, les surfaces de la plupart des matériaux utilisés en pratique se classent entre deux extrêmes. Un matériau normalement mouillable au maximum peut, en service, être contaminé par des dépôts organiques qui le rendent partiellement non mouillable à l'eau. Un matériau strictement non mouillable, tel qu'un revêtement protecteur, peut, avec le temps, devenir partiellement mouillable du fait de la présence de contaminants inorganiques, sels par exemple, ou parce que sa surface se détériore.

#### *Matériaux Poreux*

Lorsqu'ils entrent en contact avec diverses sources d'eau, certains matériaux, possédant des pores grossiers et interconnectés, mais exempts de micropores internes (certains sables ou graviers) se comportent de la même manière que des matériaux non poreux, et pour les mêmes raisons que ces derniers. La différence la plus notable existant entre les matériaux de cette classe et ceux qui sont considérés comme non poreux, consiste dans le fait que l'eau à l'état liquide, la vapeur d'eau, l'air, et d'autres gaz, peuvent sans difficulté passer à travers les vides importants existant entre les particules.

La plupart des matériaux de construction poreux -- bois, béton, plâtre, pierre, brique, tuile -- présentent des pores fins et interconnectés. Leur superficie est, de ce fait, élevée. (Question étudiée dans le **CBD 127F**). Si l'on considère les particules sphériques comme des micro-éléments cimentés les uns aux autres, la relation existant entre les dimensions des particules et la superficie totale est donnée par la Figure 1. Il en ressort que les matériaux tels que le ciment hydraté présent dans le béton comportent des superficies environ cent fois plus importantes que celles du plâtre ou de la brique; cette différence résulte uniquement des écarts existant entre les dimensions des particules (micro-éléments). La superficie constitue un paramètre important permettant de pré-dire les effets des interactions avec l'eau. On ne saurait cependant donner des listes de valeurs spécifiques relatives aux matériaux courants; il existe, en effet, des variations considérables d'un échantillon à l'autre, et, d'autre part, les valeurs relatives à un grand nombre de matériaux ne sont pas encore connues à l'époque actuelle. Un matériau tel que le bois comporte des valeurs variant avec les différentes essences. Il est cependant intéressant d'examiner, à titre de comparaison, des valeurs approchées. La plupart des roches présentent une superficie inférieure à 1 m<sup>2</sup>/g; les valeurs correspondantes pour la brique, la tuile et le plâtre varient de 1 à 10 m<sup>2</sup>/g; elles s'échelonnent, pour le ciment hydraté, de 1 à 100 m<sup>2</sup>/g.

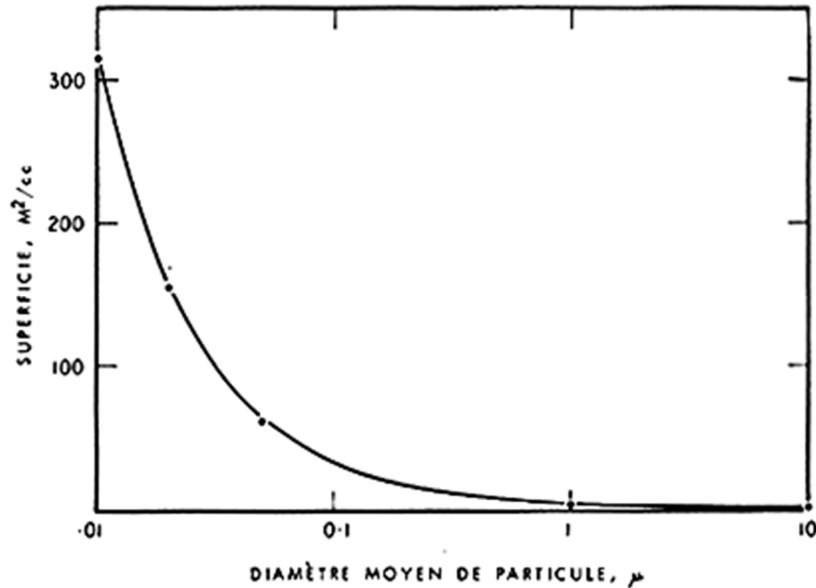


Figure 1. Relation entre la dimension de la particule et la superficie par unité de volume du matériau.

Qu'il s'agisse d'eau à l'état liquide ou de vapeur, il est nécessaire, pour pouvoir prédire le comportement des matériaux poreux sous différentes conditions d'humidité, de connaître les valeurs des superficies, la répartition des dimensions de pores, et la porosité totale. À l'état de saturation, la brique et le ciment peuvent présenter la même teneur en humidité. À cause de la différence existant entre leurs superficies, la brique peut, par contre, sous HR de 50 pour cent, ne comporter qu'un demi pour cent d'humidité; la valeur correspondante relative au béton est de 5 pour cent. Les isothermes de sorption (Figure 2) relatives aux matériaux poreux usuels indiquent la relation existant entre teneur en humidité et humidité relative. La nature du matériau, la superficie totale, les dimensions des pores, et l'espace total représenté par les pores exercent tous une influence sur les résultats obtenus.

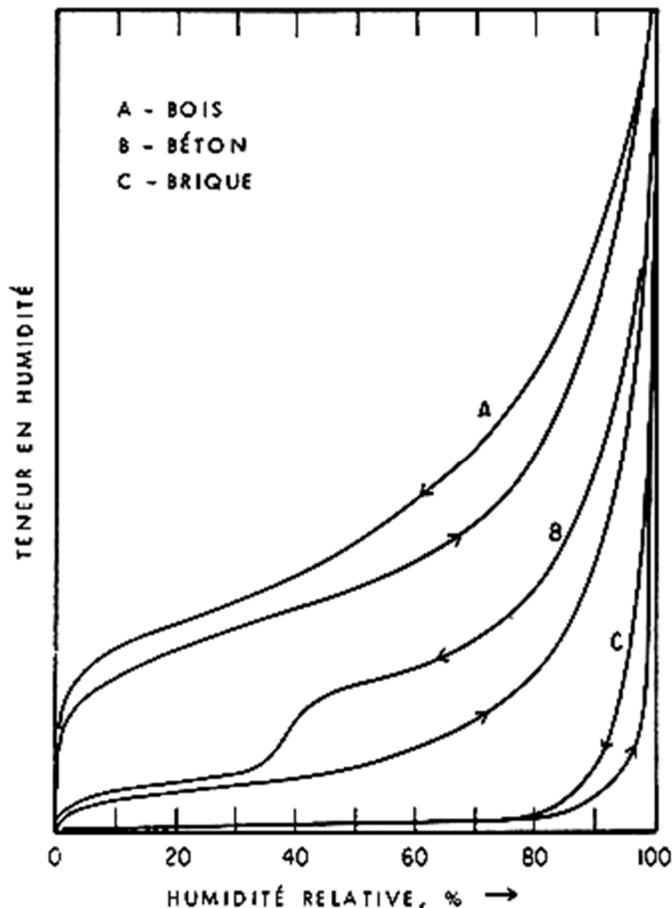


Figure 2.

Il convient de noter que ces relations se réfèrent à l'état d'équilibre réalisé lorsqu'un matériau sec est exposé jusqu'à saturation à des niveaux croissants d'humidité relative constante (d'où les parties "absorption" des courbes), et lorsqu'ensuite il est soumis à des niveaux décroissants d'humidité relative constante (d'où les extrémités "desorption" des courbes). On notera également que la courbe de séchage équilibré (desorption) représentée dans l'isotherme, ne coïncide pas avec la courbe d'humidification (adsorption) en particulier lorsque l'humidité est élevée. Le fait que les courbes sont séparées est connu sous le nom d'hystérésis. Ce phénomène explique pourquoi, pour un même échantillon, on peut obtenir des teneurs en humidité différentes correspondant à la même HR: elles dépendent en effet de l'historique de l'échantillon en question.

En service, il arrive rarement (sinon jamais) que les matériaux soient en équilibre avec les conditions constamment changeantes de l'environnement. La brique possède des pores dont les dimensions moyennes excèdent  $1 \mu$ . Elle s'adapte cependant aux conditions de l'environnement de beaucoup plus près que le béton, dans lequel le ciment hydraté présente des dimensions moyennes de pores inférieures à  $0.01 \mu$ .

Il est essentiel, lorsqu'on étudie le temps nécessaire à un matériau donné pour atteindre l'équilibre avec l'état d'humidité relative de l'environnement, de faire intervenir les dimensions de chaque échantillon. Il est évident qu'une lame très mince de matériau poreux équivaut presque à une surface non poreuse, et, de ce fait, atteint rapidement l'état d'équilibre. En pratique, à cause du trajet sinueux suivi, les dimensions de 4 à 6 pouces correspondent, pour l'eau, à une longueur maximale de déplacement de 10 à 15 pouces, soit environ 2.5 fois la dimension nominale. (Cette valeur varie avec les matériaux.) Dans le cas de la diffusion de la vapeur dans un matériau, la vitesse est proportionnelle à la différence de pression de vapeur et

à la perméance (**CBD 57F**). Si la température du matériau coïncide avec celle de l'environnement, la répartition des teneurs en humidité est presque uniforme. S'il n'en est pas ainsi, il se peut que la température d'une section du matériau se trouve au point de rosée du mélange air-vapeur d'eau ou en dessous de ce dernier, et qu'on observe de la condensation; une partie des pores est alors saturée. Il arrive que de hauts gradients de teneur en humidité soient réalisés de cette manière. Ce processus constitue l'un des mécanismes suivant lesquels l'eau peut se déposer sur l'interface bois-peinture d'un parement en panneau peint. Les boîtes à boursouflures utilisées pour essayer les peintures mettent en application ce mécanisme.

Lorsque des matériaux poreux secs (à surface mouillable) entrent en contact avec de l'eau à l'état liquide, le processus de mouillage qui entre en jeu comporte l'intervention de la conduction capillaire, dans laquelle la force d'aspiration qui cause les mouvements diffère totalement de la diffusion de la vapeur d'eau. Le mouillage par l'eau à l'état liquide progresse frontalement et implique l'existence d'un gradient très élevé de teneur en humidité. L'avance de ce front dans le matériau poreux est caractéristique du matériau (chaque matériau possède sa constante de vitesse); elle décroît avec le carré de la distance parcourue. Les matières de deux échantillons étant les mêmes, il faut environ quatre fois plus de temps pour traverser celui dont l'épaisseur est de 2 pouces que celui dont l'épaisseur est moitié moindre. Lorsque le front de mouillage traverse le matériau et le sature, le mouvement de liquide cesse, à moins qu'une charge ou pression différentielle ne soit appliquée à la source d'eau. Le mouvement du liquide à travers le matériau saturé se produit alors suivant un processus différent régi par la perméabilité et la différence de pression hydraulique. Le mouillage résultant du contact avec l'eau à l'état liquide donne naissance à des gradients très élevés de teneur en humidité; à moins qu'on ne soit en présence d'un gradient de température, il n'en est pas ainsi dans le cas du mouillage dû à la vapeur.

Traité avec un agent non mouillant tel qu'un silicone, un matériau poreux, la brique par exemple, ne transmet plus l'eau par conduction capillaire et ne se mouille plus au contact de l'eau à l'état liquide. Il est assez fréquent de rencontrer une conception erronée portant sur les possibilités de saturation d'un matériau poreux ainsi traité. L'eau peut être poussée vers l'intérieur par les différences de pression engendrées par le vent. La vapeur d'eau se diffuse, en outre, à l'intérieur de matériaux de cette nature. Elle peut s'y condenser si la température régnant à l'intérieur du matériau s'abaisse au-dessous du point de rosée.

L'eau à l'état solide -- glace ou neige -- peut régir le degré d'humidité relative de l'air environnant et exercer de cette manière une influence sur la teneur en humidité d'un matériau. Aux basses températures et aux basses pressions de vapeur qui leur correspondent, la vitesse de transfert de l'eau est beaucoup plus faible que si la source d'eau était composée d'eau liquide. Si le matériau est à la même température que la glace ou la neige, et à défaut de la circulation de l'air, la teneur en humidité voisine la saturation, parce que l'humidité relative d'un environnement de cette nature est proche de 100 pour cent. Si le matériau ou l'air environnant sont à des températures supérieures à celles de la glace ou de la neige, l'humidité relative décroît cependant, et la teneur en humidité finale du matériau est inférieure à la saturation. Un échantillon humide serait, dans ces conditions, soumis à un processus de dessiccation.

### **Matériaux Humides -- Séchage**

On définit la saturation d'un matériau comme l'état dans lequel tous les pores sont complètement remplis d'eau. Rarement réalisé en pratique, cet état ne peut être obtenu qu'au moyen de techniques spéciales telles que la saturation par le vide. L'immersion d'un matériau dans l'eau est insuffisante, car l'eau emprisonne, dans les pores, de l'air qui s'oppose à la saturation. Les matériaux tels que le béton ou le plâtre, dont l'existence commence sous forme d'un mélange eau-matériau, sont à l'état saturé dès les débuts de leur fabrication. Ils sont dans une situation spéciale, et il est nécessaire de les soumettre à un processus de séchage avant de pouvoir les mettre en oeuvre. Le **CBD 119F** expose les effets irréversibles -- retraits et craquelures -- qui peuvent résulter de traitements inadéquats.

Le processus de séchage comprend deux périodes distinctes. On observe d'abord la période de vitesse constante; l'eau libre provenant des plus gros pores est amenée à la surface par capillarité et s'évapore dans l'air environnant. La période de vitesse décroissante se présente ensuite; la tâche d'assurer l'expulsion de l'eau adsorbée provenant des pores les plus fins incombe alors à la surface et à la diffusion de la vapeur. Si l'on traite le matériau poreux avec un agent non mouillant, l'intervention du mécanisme qui entre en jeu pour amener l'eau libre à la surface par capillarité est suspendue; la vitesse de séchage est, en conséquence, considérablement réduite.

Lorsqu'on dessèche ou qu'on humidifie des matériaux à pores fins, on observe un gradient très élevé entre les parties humide et sèche du matériau. On ne saurait éviter sa présence qu'en diminuant l'humidité relative par petites modifications et en ne permettant que très lentement à l'équilibre de se réaliser. Dans les matériaux à gros pores, ce gradient décroît notablement; il en est de même du temps nécessaire pour expulser la plus grande partie de l'eau. Dans un mur, les briques exposées à une pluie battante pendant plusieurs heures atteignent un état très voisin de la saturation. Il suffit cependant d'une journée de temps sec pour qu'elles perdent la plus grande part de leur eau. Dans le cas du béton, par contre, des mois, parfois des années, sont nécessaires pour obtenir le séchage des sections épaisses, et pour que celles-ci soient amenées à une teneur en humidité correspondant à l'humidité relative moyenne de l'atmosphère. Les briques s'adaptent donc aux changements quotidiens d'humidité, tandis que dans le cas du béton, seules les couches superficielles sont affectées par les changements de faible durée.

### **Résumé**

Le comportement des matériaux de construction dépend dans une large mesure des conditions d'humidité auxquelles ils sont soumis, c'est-à-dire de leurs teneurs en humidité et des changements périodiques de l'humidité elle-même. Pour que les concepteurs et rédacteurs de spécifications puissent obtenir, des matériaux qu'ils utilisent, les comportements optimaux, il est important qu'ils soient pleinement informés des facteurs qui entrent en jeu et des processus dont l'intervention se manifeste.