

# QU'EST-CE QUE L'ENVELOPPE

On construit un bâtiment pour protéger ses occupants et son contenu des intempéries. Cela sert également à se protéger contre les animaux et les insectes ou contre les voleurs et les vandales. Ce livre traite de la façon de protéger l'intérieur des bâtiments des intempéries. Pour assurer cette protection, on enferme un espace, soit l'intérieur du bâtiment, pour l'isoler des conditions très variables qui règnent à l'extérieur, afin de pouvoir contrôler les conditions intérieures. L'enveloppe sera constituée des murs, de la toiture et des planchers.

Étant donné que les murs, la toiture et les planchers enveloppent l'intérieur du bâtiment, nous utiliserons le terme « enveloppe » pour les désigner collectivement. Les chapitres suivants porteront sur la conception technique de l'enveloppe destinée à séparer les conditions intérieures de celles extérieures.

Une enveloppe complètement fermée ou isolée n'est pas toujours nécessaire ni même souhaitable. Par exemple, une serre à toiture opaque ne servirait pas à grand-chose et un chapiteau de cirque n'a pas besoin d'être isolé. L'enveloppe sera conçue pour résister aux conditions extérieures, peu importe la saison ou le moment de la journée. Selon le cas, la pénétration du soleil pourra être indispensable ou indésirable. Le bâtiment devra offrir une protection efficace, dans toutes les circonstances et quels que soient les besoins. On conçoit un bâtiment pour conserver des conditions confortables de température et d'humidité. À moins que l'enveloppe du bâtiment n'empêche le passage du vent, il est impossible de contrôler de façon satisfaisante les conditions intérieures ; on peut tout juste assurer une protection partielle contre le soleil et la pluie. Cette protection partielle n'arrête pas non plus la neige. Donc, pour remplir sa fonction, l'enveloppe d'un bâtiment doit contrôler le passage de l'air. On n'insistera jamais trop sur ce fait et, comme nous le verrons plus loin, l'absence de contrôle du mouvement de l'air à travers l'enveloppe peut engendrer de nombreux problèmes de détérioration et d'affaiblissement des caractéristiques prévues du bâtiment. Soulignons que la circulation de l'air n'est pas seulement due à l'effet du vent, mais qu'elle peut aussi provenir d'un courant de convection produit par des différences de température.

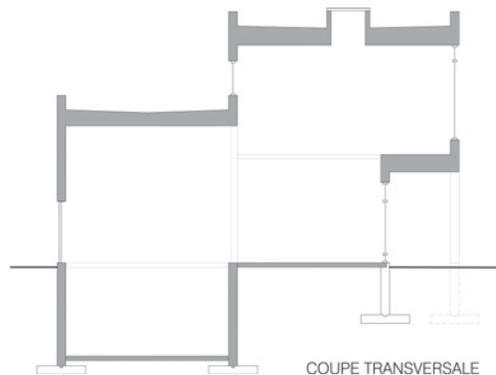
En plus de contrôler le vent par l'enveloppe, il faut assurer un contrôle de la température intérieure au moyen d'un système de chauffage ou de climatisation. La puissance de ce système dépendra de la différence entre la vitesse à laquelle la chaleur s'échappe du bâtiment et celle à laquelle elle y pénètre. En pratique, le choix d'un système dépendra de son coût, de l'espace requis pour son installation, des caractéristiques de l'enveloppe et du coût d'exploitation, le but étant que l'enveloppe du bâtiment exerce un certain contrôle sur la circulation de la chaleur. Une partie de ce contrôle visera à capter de la chaleur à partir du soleil ainsi qu'à limiter la perte de chaleur.

En plus de la nécessité de contrôler les gains de chaleur occasionnés par le soleil, il faudra tenir compte des effets de radiations ultraviolettes sur les matériaux qui recouvrent le bâtiment.

Au-delà de la recherche de confort, on concevra un bâtiment afin de maintenir l'intérieur au sec, et ce, que les précipitations soient verticales ou poussées par le vent.

Il ne faut pas oublier les problèmes que pose l'humidité qui sera produite à l'intérieur d'un bâtiment par la vapeur d'eau transportée dans l'air. La vapeur d'eau peut endommager tant le contenu du bâtiment que les matériaux avec lesquels il est construit. La condensation peut survenir dans les murs ou dans la toiture. Dans certains cas, elle s'amassera en fortes quantités, se transformera sous forme de gel quand la température descendra et sera libérée sous forme d'humidité et d'eau lors du réchauffement de la température, créant ainsi un potentiel de formation de champignons.

En résumé, on peut dire que l'enveloppe d'un bâtiment comprend les murs extérieurs, la toiture et les planchers ou parties de planchers en contact avec l'extérieur ou le sol. La fonction d'une enveloppe du bâtiment est de maintenir, à l'extérieur comme à l'intérieur, les conditions qui s'y trouvent déjà, à l'exception de ce que l'on veut laisser entrer dans le bâtiment ou en sortir.



Voici une liste non exhaustive des principales exigences concernant l'enveloppe d'un bâtiment :

1. Contrôle de la circulation de l'air ;
2. Contrôle de la circulation de la chaleur ;
3. Contrôle du rayonnement solaire ;
4. Protection contre les infiltrations de l'eau sous toutes ses formes ;
5. Contrôle de la vapeur d'eau ;
6. Comportement satisfaisant des matériaux (durée de vie).

La conception d'un bâtiment tiendra compte d'autres exigences, comme la réglementation concernant la sécurité des occupants, l'insonorisation, la résistance de la structure, les qualités esthétiques

ainsi que les économies de construction, d'exploitation et d'entretien. Ces exigences ne seront pas traitées ici. Vous comprendrez qu'il est préférable d'expliquer les principes servant de base pour la conception d'une enveloppe satisfaisante, sans y ajouter les complications de ces contraintes supplémentaires.

La sixième exigence, soit le comportement satisfaisant des matériaux, est le cœur même du sujet. Les moyens adoptés pour satisfaire aux cinq premières exigences de l'enveloppe doivent permettre de satisfaire à la sixième.

Il fut un temps où les principes de conception d'une enveloppe de bâtiment évoluaient lentement et de façon empirique. Maintenant, avec l'évolution des nouveaux matériaux, les nouvelles méthodes de construction dont on dispose et les possibilités d'expérimenter en laboratoire, l'évolution de la construction est plutôt scientifique. Il n'est plus possible d'attendre l'épreuve du temps pour déterminer si une conception est satisfaisante. Il faut évaluer, au moins en termes généraux, dans quelle mesure il est probable que la conception soit satisfaisante, avant de commencer les travaux sur le chantier. Le concepteur sera avantagé si certains principes sont respectés lors de la conception et de la construction du bâtiment.

## LES CONDITIONS INTÉRIEURES

Nous pouvons convenir que la fonction de l'enveloppe consiste à faire en sorte que les conditions créées à l'intérieur ne soient pas influencées par les conditions extérieures. Il suffit ensuite de déterminer ce que l'on doit protéger ainsi que les conditions tolérables ou requises à créer ou à maintenir.

L'usage d'un bâtiment peut dicter la recherche des conditions à obtenir à l'intérieur. Une chambre froide exigeant une température inférieure à 0 °C n'aura pas les mêmes exigences qu'un bâtiment d'habitation qui nécessite des températures intérieures d'environ 22 °C. Certains usages peuvent entraîner des conditions qui ne sont pas vraiment exigées, mais qui peuvent être acceptées. Par exemple, la fabrication du papier n'exige ni température élevée ni forte humidité, mais ces conditions découlent inévitablement des opérations

de traitement effectuées. Dans un tel cas, il n'est pas nécessaire de contrôler aussi étroitement les conditions intérieures, mais on peut admettre une grande plage de variation qui aura quand même des effets sur la conception de l'enveloppe.

La conception de l'enveloppe devra permettre de pallier facilement toutes les situations par la comparaison des frais et des efforts exigés pour la construction d'une enveloppe efficace avec les frais et les efforts exigés pour un contrôle plus serré des conditions intérieures.

Voici une vue d'ensemble des effets et des exigences de certains types d'usages ; elle servira de base à l'analyse de problèmes d'enveloppe et à la recherche de solutions.

## **L'activité humaine**

L'être humain peut être vu comme un animal à sang chaud qui doit maintenir ses organes internes à une température relativement uniforme d'environ 37 °C. La nourriture qui lui sert de combustible est transformée en énergie, dont une partie peut être utilisée pour effectuer un travail. L'énergie qui reste est utilisée pour maintenir la température du corps. Étant donné que le corps produit de la chaleur de façon continue, il doit également en perdre de façon continue, faute de quoi il finirait par surchauffer. Le taux de base de production de chaleur pendant le sommeil est de 75 watts-heures. Au fur et à mesure que l'activité du corps augmente, la production de chaleur augmente aussi et peut être de l'ordre de 120 watts-heures pour une personne éveillée au repos, de 190 watts-heures pour une personne effectuant un travail léger et de 700 watts-heures dans le cas d'un travail pénible ou d'une activité physique intense.

En plus de la chaleur, les personnes dans un bâtiment produisent de l'humidité, laquelle est transportée par l'air sous forme de vapeur d'eau. On estime qu'une famille de quatre personnes produit, dans une maison, environ cinq kilogrammes de vapeur d'eau par jour. Les activités ménagères, comme faire la cuisine, laver la vaisselle, faire la lessive ou prendre un bain ou une douche, viendront ajouter des quantités supplémentaires d'humidité à l'air contenu dans la maison. Un fourneau à gaz dans la cuisine augmentera également l'humidité de l'air par suite de la vapeur d'eau produite par la combustion du gaz.

Dans des conditions de vie normale, quatre occupants d'une maison peuvent produire environ 3 à 4 litres d'humidité par jour. Ces chiffres peuvent atteindre 15 à 20 litres les jours de lessive.

L'air est un mélange de gaz incolore et inodore et constitue l'atmosphère de la terre. Il est composé d'environ 78 % de diazote ( $N_2$ ) et de 21 % de dioxygène ( $O_2$ ). Les autres composants, qui représentent moins de 1 %, sont, entre autres, le dioxyde de carbone (0,04 %). Et, comme mentionné auparavant, l'air contient de la vapeur d'eau.

Au repos, une personne respire environ  $0,5 \text{ m}^3$  d'air à l'heure. L'air exhalé contient environ 16 % d' $O_2$  et 4 % de  $CO_2$ . On comprendra que sans apport d'air nouveau, plusieurs personnes dans un même local feront augmenter rapidement le pourcentage de  $CO_2$ . Lorsqu'on atteindra 2 % de  $CO_2$ , les personnes subiront un manque de vitalité et un affaiblissement temporaire. C'est à partir de ces données que les ingénieurs calculeront la quantité d'air frais nécessaire au confort des occupants selon le nombre de personnes et selon les activités prévues dans chaque local.

De plus, nous avons besoin de lumière pour voir notre environnement et ce que l'on fait. Un éclairage standard, fourni par un dispositif fluorescent encastré, exige environ 500 watts d'énergie électrique pour chaque  $10 \text{ m}^2$  de surface de plancher. La plus grande partie de cette énergie se manifestera sous forme de chaleur à l'intérieur du bâtiment, et influencera les conditions intérieures.

Nous venons de voir une certaine quantité d'effets qu'auront les activités humaines sur les conditions à l'intérieur du bâtiment. La température pourra varier selon les activités prévues et le corps humain pourra accepter d'importants écarts d'humidité relative sans trop d'effets.

Certaines activités spécifiques auront besoin de conditions précises pour être réalisées. Par exemple, une salle de chirurgie et une pouponnière nécessiteront un degré d'humidité relative dépassant les 50 %. Dans l'industrie textile, l'humidité relative devra être maintenue au-dessus de 80 % pour s'assurer que les couches de tissus n'adhèrent pas ensemble. Dans les immeubles de bureaux, on maintiendra une température d'environ  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  et 40 % d'humidité relative pour le confort des occupants. Toutefois, pour le local des serveurs informatiques, on conservera une température inférieure à  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  avec une humidité relative à plus de 50 %.

L'humidité relative et la différence d'humidité relative auront des effets sur la dilatation des matériaux. Ainsi, le bois et les placages pourront être endommagés, subir des pertes d'adhésion ou gauchir à cause des différences d'humidité relative. Les musées, les galeries d'art et les commerces d'instruments de musique auront besoin que l'on contrôle l'humidité relative pour que les œuvres ne soient pas altérées et que les instruments conservent leur qualité.

## **Quelques affectations non destinées à des êtres humains**

### **Animaux**

Les animaux produisent de la chaleur et de l'humidité et ont des exigences différentes en ce qui concerne les conditions intérieures du bâtiment. Des vaches laitières dans une étable dégageront quelque 1 000 watts-heures par 450 kilogrammes de poids corporel à une température intérieure d'environ 5 °C. En même temps, elles dégageront dans l'air 1 litre d'eau par 450 kilogrammes de poids corporel. Le défi sera d'extraire l'humidité relative sans trop faire baisser la température pendant les périodes froides.

La température ainsi que le degré d'humidité relative souhaitable à offrir dans des bâtiments de ferme varient selon la catégorie, l'âge et le type de production. De façon générale, les animaux peuvent supporter de plus grandes variations des conditions que les humains.

### **Entreposage des fruits et légumes**

Chaque fruit ou légume possède sa propre condition optimale pour l'entreposage. En général, la température doit juste dépasser le point de congélation du produit, qui est normalement de deux à trois degrés inférieurs au point de congélation de l'eau. La température idéale de conservation se situe entre -4 et 0 °C environ. Des humidités relatives de 85 à 95 % sont souvent nécessaires. Pour certains fruits, on contrôlera la quantité d'oxyde de carbone, d'oxygène et d'azote pour une conservation optimale.

Pendant qu'ils sont entreposés, les fruits et les légumes dégagent de la chaleur ; on devra donc tenir compte de ce phénomène dans le contrôle de la température du bâtiment. Pour la conservation de la

viande, des températures inférieures à  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  sont nécessaires. Ceci entraîne une situation inhabituelle pour le bâtiment attendu que l'intérieur est plus froid que l'extérieur durant la plus grande partie de l'année.

On peut trouver des renseignements sur le conditionnement souhaitable pour le logement des animaux, la culture des plantes et le stockage des récoltes dans le manuel des principes fondamentaux et le volume relatif aux applications de *l'American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE)*, ainsi que dans le *Code canadien des bâtiments de ferme*.

Comme on a pu le voir, les effets et les exigences de divers types d'usage entraînent une gamme étendue de températures et d'humidités relatives à l'intérieur des bâtiments. La température peut varier de moins de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  à plus de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  et l'humidité relative de 20 à 95 %. Que ces conditions soient spécialement créées et entretenues ou qu'elles découlent d'une activité particulière, l'enveloppe du bâtiment doit être réalisée de manière à contribuer à leur maintien ou à les tolérer sans endommager les composants du bâtiment.

## LES CONDITIONS EXTÉRIEURES

Après avoir décidé des conditions qui doivent être maintenues à l'intérieur d'un bâtiment, il faut se pencher sur les conditions extérieures susceptibles de se présenter. Ces dernières dépendront principalement des conditions atmosphériques locales.

Les conditions atmosphériques sont définies selon le lieu et en un temps déterminé. Elles englobent la chaleur ou le froid, l'air sec ou humide, le temps calme ou la tempête, la présence ou non de nuages. En l'absence de nuages, les rayons solaires auront des effets sur les matériaux dont nous devons tenir compte lors de la conception des bâtiments et de la sélection des matériaux. Les effets du soleil sur les matériaux seront étudiés avec les conditions météorologiques.

### **Les conditions météorologiques**

Dans cette partie, nous examinerons les conditions météorologiques et leurs caractéristiques.

## Température de l'air

La première de ces caractéristiques est la température de l'air, soit « la chaleur ou le froid ». Nous établirons la gamme de températures au sein de laquelle on peut s'attendre à ce que le bâtiment se comporte de façon satisfaisante. Il est nécessaire d'avoir une valeur limite faible pour l'hiver et une valeur correspondante élevée pour l'été. Si les températures varient à l'extérieur de cette gamme, il peut en résulter des inconvénients tant pour les occupants que pour la structure de l'enveloppe du bâtiment. Si la valeur de calcul a bien été choisie, ces inconvénients seront mineurs et de courte durée.

Nous n'utiliserons pas les températures moyennes en été ou en hiver pour faire les calculs. L'écart entre ces températures et celles atteintes entraînerait des inconvénients sur de trop grandes périodes. Utiliser les températures extrêmes en été et en hiver n'est pas de mise non plus. On utilisera les températures de calcul contenues dans les conditions climatiques du *Code de construction du Québec* à l'annexe C.

Ces données climatiques proviennent du Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada. Quelques variations peuvent être enregistrées dans les centres-villes ou aux abords de plans d'eau ou de grandes surfaces planes. Le climat n'est pas statique, il change au gré des saisons, des années, des milieux, de la végétation, du relief, de l'altitude, etc. Selon les informations de l'annexe C du Code, il est prévisible que les températures auront tendance à être plus chaudes, l'humidité relative plus élevée et les précipitations plus abondantes.

Des relevés horaires de températures en janvier ont été triés dans plusieurs stations, et des tableaux indiquant le nombre d'heures pour chaque température dans chaque station ont été dressés. À partir de ces relevés de températures horaires, il est possible de choisir une température de calcul sur une base de 2,5 %, afin que 2,5 % des relevés soient égaux ou inférieurs à cette valeur. Ceci signifie que pour la température moyenne de janvier, 18 ou 19 heures sur un total de 744 auront des températures égales ou inférieures à la valeur de calcul sur une base de 2,5 %. Les températures choisies de cette façon correspondent raisonnablement aux températures d'études. Si ces heures sont réparties sur quelques nuits, elles aboutiront,

dans le pire des cas, à quelques heures qui se trouveront être légèrement au-dessous de 22 °C à l'intérieur du bâtiment, très probablement tôt dans le matin.

Le *Code national du bâtiment* précise que la température extérieure de calcul à respecter est celle de janvier sur une base de 2,5 %, ce qui correspond pour la région de Québec à -25 °C. Le *Règlement sur l'économie de l'énergie dans les nouveaux bâtiments* et le *Code national de l'énergie pour les bâtiments* exigent la même température de calcul. Cette température est différente pour chaque localité.

Le maintien d'une température fraîche dans un bâtiment est moins critique que le chauffage en hiver, du moins au Québec. L'écart entre la température de confort (entre 20 et 22 °C) et la température extrême à l'extérieur, qui dépassera très rarement 35 °C, est d'environ 13 °C. La température de calcul en été, qui figure également dans les données atmosphériques du *Code de construction du Québec*, est établie à 28 °C, considérant que 2,5 % de cette température ne seront pas dépassés.

Il faut savoir que la température du sol varie de façon cyclique avec le cycle météorologique annuel. La variation est presque sinusoïdale et, au-dessous du sol, l'amplitude décroît lorsque la profondeur augmente, jusqu'à environ 15 mètres, profondeur à laquelle la température demeure essentiellement constante toute l'année, à environ 10 °C.

Les variations de température du sous-sol sont en retard par rapport aux températures de surface, au fur et à mesure que la profondeur augmente. À des profondeurs de trois à cinq mètres, ce retard peut en général être mesuré en mois. À une profondeur de deux mètres, la température la plus basse sera enregistrée en mars et la plus chaude en août.

La température d'un sous-sol chauffé sera influencée par la température moyenne annuelle du sol, la température voulue du sous-sol et la fluctuation de la température à la surface du sol selon les conditions climatiques.

## **Pluie, neige et humidité**

Il existe peu de méthodes de mesure qui permettent de calculer l'intensité des pluies battantes à laquelle l'enveloppe doit résister. La norme NAFS AAMA/WDMA/CSA 101/I.S.2/A440-08 sur les fenêtres est l'une des rares applications de calcul de résistance à la pluie. Elle traite également de la résistance aux infiltrations et exfiltrations d'air en tenant compte de classes de performance qui varient selon l'utilisation du bâtiment et selon la hauteur d'installation.

Comme nous le verrons plus loin, les méthodes utilisées pour contrôler la pénétration de la pluie dans le bâtiment sont plus ou moins les mêmes, quelle que soit l'intensité de la chute de pluie. Si l'on pouvait avoir la certitude que de fortes pluies ne surviendraient jamais et que le bâtiment ne serait jamais soumis au gel après que sa surface extérieure se soit imprégnée de quantités considérables d'eau, il serait possible d'avoir recours à une conception plus simple que celles que nous verrons plus loin. Pour certaines affectations, un certain degré de pénétration de pluie est acceptable. On accepte cette philosophie lorsque l'on construit un abri d'auto plutôt qu'un garage; la pluie tombant verticalement se trouvera exclue, mais ce ne sera pas le cas de la pluie entraînée par le vent. Toutefois, la majorité des bâtiments au Canada doivent être conçus en vue d'offrir une protection complète contre la pluie.

D'un autre côté, l'intensité de la chute de pluie a une grande importance pour la conception du système de drainage et également, dans certains cas, dans la conception de la structure. Certaines municipalités ont des règlements précisant le débit d'eau qu'un bâtiment peut diriger vers les réseaux municipaux. On peut même se voir imposer l'ajout d'un bassin de rétention ou d'autres mécanismes qui limiteront les quantités d'eau pluviale qui seront dirigées vers les conduits d'égouts de la ville.

La question de la neige entre très sensiblement dans la même catégorie. Les charges de neige ont une grande importance pour l'ingénieur qui s'occupe de la structure et il doit examiner soigneusement la probabilité d'amoncellement de neige déplacée d'une partie du bâtiment à une autre. Le concepteur de l'enveloppe doit également examiner cette question, car, dans la plupart des cas, c'est lui qui

dira quelle sera la forme de la structure globale. Il déterminera les dimensions et les niveaux relatifs des divers éléments du bâtiment, les formes des parapets qui seront construits ainsi que les dimensions et l'emplacement des auvents, des balcons, des pare-soleil et de tous les éléments susceptibles d'être soumis aux charges locales de neige.

Il devra également penser aux effets possibles de la neige humide qui peut s'accrocher et s'accumuler en certains emplacements. En fondant, elle peut libérer des quantités considérables d'eau qui mouille l'enveloppe du bâtiment et risque d'entraîner des dommages ultérieurs par le gel. Il faut aussi tenir compte de la neige sous forme de poudre très fine qui peut pénétrer par de très petites ouvertures. Comme c'est le cas pour les chutes de pluie, le concepteur de l'enveloppe du bâtiment a rarement besoin de chiffres exacts pour ses calculs. Il doit toutefois essayer de développer une certaine intuition sur le comportement de la neige et sur la façon dont elle peut s'amonceler et s'accumuler.

Les précipitations sous forme de neige auront un effet sur les charges imposées à la structure. Les ingénieurs devront examiner les probabilités d'amoncellement et en tenir compte. Parfois, on construira une maquette qui sera soumise à un système de soufflerie en laboratoire ou une maquette virtuelle sur laquelle il sera possible d'effectuer toutes sortes de simulations.

La neige fraîchement tombée est peu dense et duveteuse. Lorsqu'elle s'accumule, la forme des flocons se modifie et entraîne un tassement. Elle se compacte avec le temps et peut être mouillée par une pluie ou fondre lors d'un redoux. Le calcul des charges de neige est réalisé selon des formules et des calculs utilisant les données climatiques du *Code national du bâtiment*.

Beaucoup de personnes blâment l'humidité pour l'inconfort qu'elle entraîne en été. En fait, l'humidité de l'air peut être considérée comme la mesure de la quantité de vapeur d'eau se trouvant dans l'air. Ordinairement, elle mesure la quantité de vapeur d'eau se trouvant dans l'air par rapport à la quantité que l'air peut contenir à cette température. Nous obtenons donc l'humidité relative exprimée sous forme de pourcentage. Par exemple, dans le cas d'une humidité relative de 50 %, l'air contient la moitié de la vapeur d'eau qu'il est capable de contenir à cette température. On peut aussi déterminer

la quantité de vapeur d'eau par rapport au poids de l'air sec. On se servira plus de l'humidité relative pour les notions de confort et d'enveloppe du bâtiment. L'humidité relative sera reprise en détail dans la section « Psychométrie », au chapitre 3.

## Le vent

Le troisième aspect des conditions atmosphériques à prendre en compte est le vent.

On peut dire que le vent est le déplacement de l'air parallèlement à la surface de la Terre. Pour la conception d'un bâtiment, nous ne tenons compte que de la couche la plus basse de l'atmosphère sur quelques dizaines de mètres. Les inégalités de la surface de la Terre qui constituent des obstacles pour le vent provoquent la transformation d'une partie de l'énergie du vent en turbulence mécanique. C'est ainsi que la vitesse du vent est rarement constante à une altitude donnée ou à un moment donné et qu'on est loin d'obtenir une pression uniforme sur un bâtiment. La pression du vent peut par exemple se transformer de pression positive en succion sur une distance relativement courte, d'un côté à l'autre d'un coin de bâtiment. Malgré la complexité du vent, il est possible d'obtenir une image simple du comportement du vent qui peut être utile lorsqu'on étudie l'action du vent sur un bâtiment.

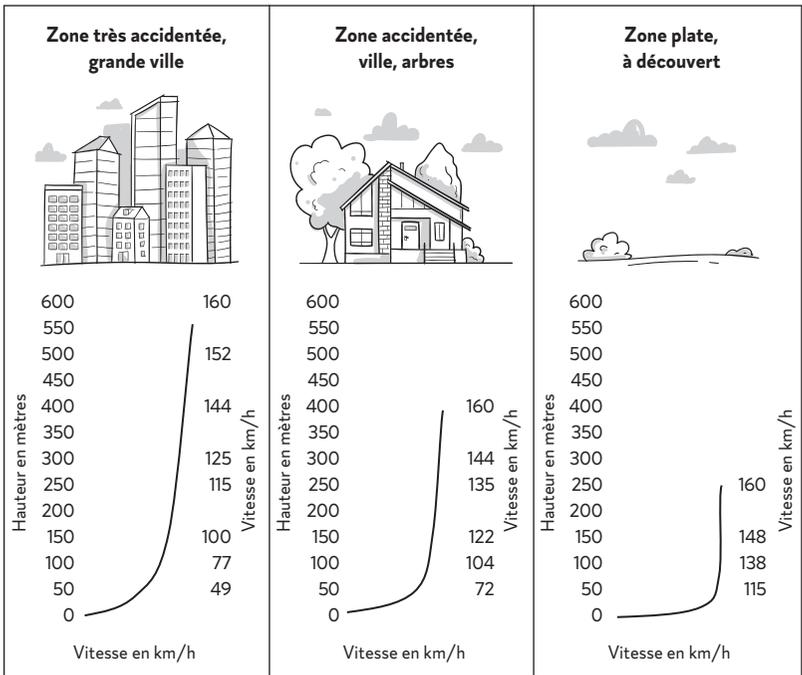
La vitesse du vent est plus forte dans les niveaux élevés et est ralentie près de la surface du sol par l'effet de freinage par frottement. Ceci crée des turbulences qui décroissent avec l'altitude entre 300 et 600 mètres ; l'effet devient négligeable. Les déplacements d'air peuvent être aussi bien verticaux qu'horizontaux.

Pour les vents violents, l'effet vertical de la vitesse du vent dépend principalement des inégalités de la surface comme les bâtiments, les arbres et autres parties en saillie qui font obstacle à l'écoulement du vent près du sol. La turbulence ainsi produite peut persister dans le sens du vent, sur une distance pouvant aller jusqu'à 100 fois sa hauteur. Trois profils de vitesses hypothétiques sont indiqués à la figure 1 où les effets des inégalités variables en surface sur les vitesses moyennes du vent sont indiqués pour une vitesse de vent arbitrairement choisie de 150 kilomètres à l'heure.

La vitesse n'est qu'un des aspects du vent aux niveaux inférieurs. Les rafales et les accalmies sont des écarts au-dessus et au-dessous de la moyenne. Les rafales sont réparties au hasard sur plusieurs fréquences et amplitudes, à la fois dans le temps et dans l'espace. Les rafales résultent souvent de l'introduction d'air se déplaçant rapidement et provenant des niveaux supérieurs dans des couches d'air à déplacement plus lent. Il y a donc des turbulences qui sont produites par les inégalités en surface et d'autres par l'instabilité thermique.

Pour des vents plus faibles, la stabilité thermique de l'air a un effet considérable sur l'intensité de la turbulence. L'air froid de surface tend à amortir la turbulence mécanique, tandis que l'air chaud en surface tend à s'élever et à augmenter la turbulence.

**FIGURE 1.1** Profil d'augmentation de la vitesse du vent sur différents types de terrains



En plus des turbulences déjà mentionnées, il y a celles occasionnées par le relief. Celui-ci influe sur la circulation d'air et on doit lui prêter une attention spéciale lors de la conception d'un bâtiment. Par exemple, le vent est beaucoup plus fort sur le front d'une colline ou

d'une crête parce que les lignes d'écoulement convergent au-dessus de l'obstacle et qu'une vitesse plus élevée est nécessaire pour le passage d'une même quantité d'air. Un effet similaire peut être produit dans les grandes villes qui forcent le courant d'air à s'élever au-dessus des bâtiments, entraînant des vitesses de vent plus fortes à des niveaux plus élevés. Les rues bordées de chaque côté par des bâtiments élevés jouent le rôle d'un entonnoir qui augmente la vitesse du vent le long de l'axe de la rue. Il en va de même pour le vent qui passe entre deux bâtiments rapprochés.

## **Radiation solaire**

La température élevée du soleil engendre un rayonnement à ondes courtes qui se situe dans un spectre de 300 à 700 nanomètres. Cette gamme peut être commodément divisée en un rayonnement ultraviolet (UV) au-dessous de 400 nanomètres, en une gamme visible entre 400 et 670 nanomètres et en infrarouges au-dessus de 670 nanomètres. Ces divisions ne sont pas clairement définies, mais se chevauchent.

Le rayonnement solaire n'atteint pas en totalité la surface de terre. Une partie est absorbée ou dispersée par l'atmosphère. Les rayons de la gamme visible ne sont pas porteurs de grande énergie. Les rayons infrarouges sont absorbés en grande partie par la vapeur d'eau et l'oxygène. Il en résulte que seuls les rayons ultraviolets porteurs d'énergie atteignent la surface de la Terre. Une partie des rayons ultraviolets est absorbée par l'ozone, une autre partie par l'angle occasionné par l'heure du jour, la saison et la position du bâtiment en latitude. Plus l'angle est faible, plus les rayons devront parcourir de distance et plus ils seront nombreux à être absorbés.

L'importance de l'absorption des radiations ultraviolettes moyennes se rattache à l'une des caractéristiques du rayonnement : plus la longueur d'onde est courte, plus la proportion d'énergie est élevée. Fort heureusement, la proportion des radiations les plus courtes est faible. À midi, durant l'été, les radiations ultraviolettes fournissent de 5 à 7 % de l'énergie totale. Ces proportions diminuent avant et après midi, ainsi qu'en hiver par suite des effets géométriques déjà mentionnés. Par exemple, à 40 degrés de latitude nord, les quatre mois d'hiver de novembre à février fournissent moins de 10 %

des radiations ultraviolettes fournies par les mois de mai à août. De plus, les nuages et la fumée diminuent les radiations totales ainsi que l'intensité des radiations ultraviolettes.

Lors de la conception de bâtiments, l'incidence des rayons qui frappent des surfaces verticales est importante. La fenestration, l'orientation du bâtiment ainsi que le choix des matériaux et de la couleur pourront être influencés. Un mur orienté au sud reçoit à midi, en été, la moitié de l'énergie reçue en hiver, s'il y a de la neige sur le sol pour refléter une partie de la lumière solaire sur le mur. D'un autre côté, les murs orientés vers l'est et l'ouest reçoivent respectivement leur irradiation maximale le matin et l'après-midi, lorsque les rayons du soleil sont le plus près de la perpendiculaire sur la surface du mur.

## **Autres facteurs**

Les conditions atmosphériques sont les éléments prédominants des conditions extérieures, mais ce ne sont pas les seuls. Le sol en contact avec les murs des fondations et la dalle sur sol influencent les conditions intérieures des sous-sols. Il faut donc considérer la teneur en humidité du sol et installer un drainage convenable pour éliminer le surplus d'humidité et d'eau. Le sol peut également modifier les températures à l'extérieur du mur du sous-sol et on doit tenir compte de son effet. Le sol qui sépare les conditions intérieures de l'extérieur fait partie des composantes du mur situées au-dessous du niveau du sol et fera partie des calculs relevant de la conception de cette partie de l'enveloppe.

Il est peu probable que l'on parvienne à obtenir un air exempt de toutes impuretés. Il pourrait arriver que l'on doive tenir compte des effets des polluants de l'air. La poussière contenue dans l'air peut abîmer un monument et peut également contribuer à la création de conditions qui favorisent la corrosion des métaux et endommagent la surface de la maçonnerie. Des gaz tels que l'acide sulfureux dans l'air présentent également un risque de détérioration pour les bâtiments en se combinant avec l'eau pour former de l'acide sulfureux. La corrosion est alors grandement accélérée. Le brouillard salin provenant de la mer est quant à lui susceptible de créer des difficultés. Le sel présent dans l'air peut entraîner une corrosion accélérée des barres d'armature et des parements en tôle d'acier.

Le bruit peut également être considéré comme un agent polluant. Une forte circulation automobile ou le bruit industriel peuvent exiger de la conception de l'enveloppe du bâtiment qu'elle exclue ou contienne ces perturbations.

En conclusion, de nombreux facteurs relevant des conditions intérieures et extérieures d'un bâtiment doivent être analysés, compris et traités lors de la conception d'une enveloppe de bâtiment destinée à séparer les deux milieux. Il est probable que dans votre carrière vous ayez à concevoir des bâtiments dans d'autres régions, voire dans d'autres pays. Il faudra donc tenir compte des conditions extérieures existantes et des conditions intérieures désirées.