

L'alcoolisme, l'abus de drogues et les maladies chroniques du métabolisme, ainsi que les maladies psychiatriques, contribuent à ce type d'hypothermie.

### Le traitement précoce avant hospitalisation

Les premiers soins à apporter à une personne victime d'hypothermie consistent essentiellement à prévenir toute déperdition de chaleur supplémentaire. Lorsqu'elle est consciente, la personne devra être transportée à l'intérieur, ou du moins à l'abri. On lui retirera ses vêtements mouillés et on essaiera de l'isoler autant que possible. Il est indispensable qu'elle reste allongée, la tête couverte.

Les patients souffrant d'hypothermie d'immersion aiguë nécessitent un traitement tout à fait différent de celui des victimes d'hypothermie d'épuisement subaiguë. Le cas d'une victime d'une immersion est souvent moins grave. La baisse de température du noyau central se produit bien avant que son corps ne soit épuisé, et sa capacité de production de chaleur reste intacte. On traitera donc cette personne en la plongeant rapidement dans un bain. Si l'on ne dispose pas de baignoire, on lui mettra les pieds et les mains dans de l'eau chaude. La chaleur localisée ouvre les dérivations artérioveineuses, augmente rapidement la circulation du sang dans les extrémités et favorise le processus de réchauffement.

En cas d'hypothermie d'épuisement, en revanche, la victime est dans un état beaucoup plus grave. Ses réserves caloriques sont consommées, son équilibre électrolytique est perturbé et, surtout, elle est déshydratée. La diurèse due au froid commence immédiatement après l'exposition; la lutte contre le froid et le vent exagèrent la sudation, mais la victime n'a pas soif et ne perçoit pas ces symptômes dans un environnement froid et sec. Il ne faut jamais réchauffer rapidement sur place un patient qui souffre d'hypothermie d'épuisement, car l'on risque de provoquer un choc hypovolémique. En règle générale, il vaut mieux ne pas réchauffer activement le patient sur place ou pendant le transport à l'hôpital. Un état prolongé d'hypothermie stabilisée vaut mieux que des efforts enthousiastes pour réchauffer le patient dans des circonstances où l'on ne pourra pas gérer les complications éventuelles. On veillera toujours à manipuler le patient avec précaution afin de limiter le plus possible les risques de fibrillation ventriculaire.

Même un personnel médical formé a souvent du mal à déterminer si un individu en hypothermie est vivant ou non. Le collapsus cardio-vasculaire apparent peut en réalité n'être qu'un débit cardiaque déprimé. Il sera souvent nécessaire de palper ou d'ausculter la victime pendant au moins une minute pour détecter des pulsations spontanées.

La décision de procéder ou non à une réanimation cardio-pulmonaire (RCP) est difficile à prendre sur place. S'il n'y a aucun signe de vie, la RCP est contre-indiquée. Les massages cardiaques effectués prématurément peuvent provoquer une fibrillation ventriculaire. Cependant, on procédera aussitôt à une RCP si l'on est témoin d'un arrêt cardiaque et si la situation permet de le faire de manière raisonnable et continue.

### La santé et l'exposition au froid

Toute personne en bonne santé ayant des vêtements et un équipement appropriés et travaillant selon une organisation bien adaptée à sa tâche ne court aucun risque pour sa santé, même s'il fait très froid. Reste à savoir si une exposition au froid de longue durée, lorsqu'on vit dans des climats froids, implique ou non des risques pour la santé. Pour les personnes qui ont des problèmes de santé, la situation est tout à fait différente et une exposition au froid peut présenter des difficultés pour elles. Dans certaines situations, une exposition au froid ou à des facteurs liés au froid, ou lorsque le froid est associé à d'autres facteurs, peut présenter des risques pour la santé, notamment en cas de danger ou d'accident. Dans

les régions reculées, où les communications avec un responsable sont difficiles ou impossibles, les travailleurs doivent pouvoir décider eux-mêmes si la situation présente un risque pour leur santé, auquel cas ils doivent prendre toutes les précautions qu'exige leur sécurité ou arrêter le travail.

Dans les régions arctiques, le climat et d'autres facteurs peuvent être si rigoureux que d'autres mesures doivent être prises.

*Les maladies infectieuses.* Les maladies infectieuses ne sont pas liées au froid. Les maladies endémiques surviennent dans les régions arctiques et subarctiques. Toute maladie infectieuse ponctuelle ou chronique exige l'interruption de l'exposition au froid et du travail pénible.

Le rhume banal, sans fièvre ni symptômes généraux, ne rend pas dangereux le travail dans le froid. Toutefois, la situation est différente pour les individus qui souffrent de maladies complexes telles que asthme, bronchite ou problèmes cardio-vasculaires; il est recommandé de les faire travailler à l'intérieur et au chaud pendant la saison froide. Il en est de même en cas de rhume avec fièvre, de forte toux, de douleurs musculaires et lorsque l'état général est mauvais.

Asthme et bronchite sont plus fréquents dans les régions froides. Une exposition à l'air froid en accentue souvent les symptômes. Un changement de traitement peut les atténuer pendant la saison froide. Certains individus peuvent également être aidés par des aérosols.

Les personnes qui souffrent d'asthme ou de maladies cardio-vasculaires peuvent réagir à l'inhalation d'air froid par une bronchoconstriction et des vasospasmes. On a constaté que certains athlètes qui s'entraînaient très intensivement plusieurs heures par jour dans les climats froids développaient des symptômes asthmatiques. On ne sait pas encore avec certitude si le refroidissement prolongé de l'appareil pulmonaire en est la principale explication. Il existe maintenant sur le marché des masques spéciaux et légers qui font office d'échangeur de chaleur et conservent donc l'énergie et l'humidité de l'air ventilé.

Il existe une forme endémique de maladie chronique dite du «poumon esquimau» qui est caractéristique des chasseurs et des trappeurs esquimaux exposés à un froid extrême et qui doivent fournir un travail très dur pendant de longues périodes. Elle provoque une hypertension pulmonaire progressive qui se termine souvent par une insuffisance cardiaque droite.

*Les problèmes cardio-vasculaires.* L'exposition au froid a un effet considérable sur le système cardio-vasculaire. La noradrénaline déchargée par les terminaisons nerveuses sympathiques augmente le débit et le rythme cardiaques. Souvent, les douleurs dues à l'angine de poitrine empirent dans les environnements froids et le risque d'infarctus augmente, notamment si l'on effectue un travail pénible. Le froid augmente la pression sanguine et le risque d'hémorragie cérébrale. Il faut donc avertir les personnes à risque qu'elles doivent limiter la durée des travaux pénibles dans le froid.

On observe souvent un accroissement de la mortalité pendant l'hiver. L'une des raisons en est peut être l'augmentation du travail du cœur qui favorise l'arythmie chez les personnes sensibles. On observe aussi que l'hématocrite augmente pendant la saison froide, ce qui accroît la viscosité du sang, qui circule donc plus difficilement. Enfin, par temps froid, les gens sont obligés d'effectuer des travaux soudains et pénibles, tels que de dégager les accès, marcher dans la neige épaisse, ou risquer de glisser, etc.

*Les problèmes métaboliques.* Les cas de diabète sucré sont souvent plus fréquents dans les régions froides du monde. Même un diabète simple, surtout lorsqu'il est traité à l'insuline, peut rendre impossible tout travail en plein air dans les régions reculées. L'athérosclérose périphérique prématurée rend les personnes plus sensibles au froid et augmente le risque de gelures locales.

Les personnes dont les fonctions thyroïdiennes sont altérées peuvent développer rapidement une hypothermie par manque

d'hormone thermogénique, tandis que les personnes hyperthyroïdiennes supportent bien le froid, même légèrement vêtues.

Toute personne souffrant de maladies de ce genre doit bénéficier d'une attention accrue de la part du personnel médical et être informée de son problème.

*Les problèmes des muscles et du squelette.* En soi, le froid n'est pas censé affecter le système musculaire et le squelette, pas même sous forme de rhumatismes. En revanche, le travail dans le froid est fréquemment très exigeant pour les muscles, les tendons, les articulations et la colonne vertébrale en raison de la forte charge qu'implique bien souvent ce type de travail. La température des articulations diminue plus rapidement que celle des muscles. Lorsqu'elles sont froides, les articulations se raidissent, car la résistance au mouvement est accrue en raison de l'augmentation de la viscosité du liquide synovial. Le froid diminue l'intensité et la durée des contractions musculaires. Associé à un travail pénible ou à une surcharge localisée, il augmente le risque de blessure. En outre, les vêtements de protection gênent parfois la capacité de contrôle des mouvements du corps et accroissent donc les risques.

L'arthrite de la main est un problème spécial. On soupçonne qu'une exposition fréquente au froid donne de l'arthrite, sans pour autant en avoir pour l'instant la preuve scientifique. L'arthrite diminue la fonctionnalité des mains dans le froid et provoque des douleurs et de l'inconfort.

*Les cryopathies.* Les cryopathies sont des troubles qui apparaissent chez les personnes hypersensibles au froid. Les symptômes sont variables et peuvent concerner le système vasculaire, le sang, les tissus conjonctifs, les «allergies» et autres.

Certaines personnes souffrent du syndrome des doigts blancs. Lorsque les doigts sont exposés au froid, des taches blanches se forment sur la peau, accompagnées d'une sensation de froid, d'une diminution de la fonctionnalité et de douleurs. Les femmes sont plus touchées que les hommes, ainsi que les fumeurs et les travailleurs qui utilisent des outils vibrants ou encore les conducteurs de motoneige. Ces symptômes peuvent être très pénibles et rendre le travail impossible, même lorsque l'exposition au froid est modérée. Certains médicaments peuvent aussi aggraver ces symptômes.

*L'urticaire due au froid,* provoquée par des cellules ou la sensibilisation des mastocytes, apparaît comme un érythème irritant des parties de la peau exposées au froid. Si l'exposition s'arrête, les symptômes disparaissent généralement en une heure. Il est rare que la maladie se complique et présente des symptômes généraux et plus inquiétants. S'il en est ainsi, ou si l'urticaire est elle-même trop pénible, le patient doit éviter toute exposition au froid de quelque nature que ce soit.

*L'acrocyanose* se manifeste par une modification de la couleur de la peau pouvant aller jusqu'à la cyanose après l'exposition au froid. D'autres symptômes peuvent aussi se manifester, tels qu'un dysfonctionnement de la main et des doigts dans la zone acrocyanotique. Ces symptômes sont très courants et il est possible de les réduire dans des proportions acceptables en limitant l'exposition au froid (grâce à des vêtements appropriés, notamment) ou en réduisant l'usage de la nicotine.

*Le stress psychologique.* L'exposition au froid, surtout lorsqu'elle est associée aux facteurs inhérents au froid et à un éloignement, stressent l'individu non seulement physiologiquement, mais aussi psychologiquement. Pendant le travail dans des climats froids, par mauvais temps, dans des endroits reculés et parfois dans des situations potentiellement dangereuses, le stress psychologique peut perturber ou même détériorer les fonctions psychologiques de l'individu, au point que le travail peut devenir dangereux.

*Le tabac à fumer et à priser.* Que le tabac soit fumé ou prisé, les effets nocifs à long terme du tabagisme sont bien connus. La nicotine augmente la vasoconstriction périphérique, réduit la dextérité et augmente le risque de lésions par le froid.

*L'alcool.* L'absorption d'alcool donne une agréable sensation de chaleur et on a tendance à penser qu'il inhibe la vasoconstriction due au froid. Pourtant, des études expérimentales sur l'humain pour des expositions au froid relativement brèves ont montré que l'alcool ne modifie guère l'équilibre thermique. Les frissons sont plus faibles et, en cas d'effort physique important, la déperdition de chaleur devient évidente. On sait que l'alcool est un important facteur de décès pour cause d'hypothermie en zone urbaine. Il donne un sentiment de bravade et influence le jugement, amenant l'intéressé à négliger les mesures prophylactiques.

*La grossesse.* Pendant la grossesse, les femmes ne sont pas plus sensibles au froid. Elles peuvent au contraire y être moins, en raison de l'augmentation du métabolisme. Les facteurs de risque pendant la grossesse sont ceux que présente le froid en général, tels que les risques de chutes, la maladresse due à des vêtements encombrants, les charges lourdes à soulever, les risques de glissades ou les postures difficiles pendant le travail. Il incombe au système de santé, à la société et à l'employeur d'accorder une attention particulière à la femme enceinte qui travaille dans le froid.

### **La pharmacologie et le froid**

Les effets secondaires nocifs des médicaments pendant une exposition au froid peuvent être de modifier l'équilibre thermique (général ou local), ou l'action du médicament. Tant que le travailleur conserve une température corporelle normale, la plupart des médicaments prescrits n'ont pas d'effet sur sa performance. Cependant, les tranquillisants (barbituriques, benzodiazépines, phénothiazines, ainsi que les antidépresseurs cycliques, par exemple) peuvent influencer sur la vigilance. En cas de danger, les mécanismes de défense contre l'hypothermie risquent de mal fonctionner et le sujet peut perdre conscience du risque qu'il court.

Les bêta-bloquants provoquent une vasoconstriction périphérique et diminuent la tolérance au froid. Lorsqu'une personne a besoin de médicaments et qu'elle travaille dans le froid, il y a lieu de veiller aux effets secondaires de ces médicaments.

Par contre, aucun médicament ni aucune autre substance bue, mangée ou absorbée de quelque manière que ce soit par le corps humain ne se sont avérés capables d'augmenter la production normale de chaleur, notamment en cas d'urgence lorsqu'il y a risque d'hypothermie ou de lésion due au froid.

### **La surveillance médicale**

Les risques pour la santé que présentent les pathologies, les accidents, les traumatismes ou les autres facteurs liés au froid sont encore mal connus. L'état de santé et les capacités varient beaucoup d'un individu à l'autre et il faut y accorder la plus grande attention. Comme on l'a vu, certaines maladies, certains médicaments et divers autres facteurs peuvent faire qu'une personne sera plus sensible qu'une autre aux effets d'une exposition au froid. Toute procédure d'embauche devrait comprendre un contrôle de l'état de santé, qui devrait être ensuite régulièrement répété pour tout le personnel. Le tableau 42.17 décrit les facteurs à contrôler pour différents types de travail dans le froid.

### **La prévention de la contrainte thermique**

#### **L'adaptation humaine**

En cas d'expositions répétées au froid, les gens en perçoivent moins l'inconfort; ils apprennent, chacun à sa manière, à s'adapter, et les supportent progressivement mieux. Cet acclimatement diminue certains des effets d'éveil et de distraction que tend à provoquer le froid et il améliore le jugement et la prudence des intéressés.

Tableau 42.17 • Aspects importants des programmes de contrôle de la santé destinés au personnel exposé à la contrainte froide et aux facteurs associés

Facteur	Travail en plein air	Travail dans les entrepôts froids	Travail dans les régions arctiques et subarctiques
Maladies infectieuses	**	**	***
Maladies cardiovasculaires	***	**	***
Maladies métaboliques	**	*	***
Problèmes musculo-squelettiques	***	*	***
Cryopathies	**	**	**
Stress psychologique	***	**	***
Tabagisme (tabac à fumer et à priser)	**	**	**
Alcool	***	**	***
Grossesse	**	**	***
Médicaments	**	*	***

\*= contrôle de routine; \*\*= facteur important à considérer; \*\*\*= facteur très important à considérer.

### Le comportement

Le moyen le plus évident et le plus naturel de prévenir et de maîtriser la contrainte thermique due au froid consiste à adopter un comportement prudent et rationnel. Les réactions physiologiques ne sont pas assez puissantes pour empêcher les déperditions de chaleur. Les êtres humains sont donc extrêmement dépendants de mesures extérieures à eux-mêmes telles que le port de vêtements, les locaux et tout apport extérieur de chaleur. L'amélioration constante des vêtements et des équipements est un des moyens les plus sûrs et les plus efficaces d'affronter le froid, à condition que ces articles aient été testés correctement et soient conformes aux normes internationales.

L'application des mesures de prévention et de contrôle de l'exposition au froid relève le plus souvent de la responsabilité de l'employeur ou du superviseur. Toutefois, l'efficacité de ces mesures dépend dans une large mesure de la connaissance, de l'expérience et de la motivation de chaque travailleur et de sa faculté à réaliser les adaptations qu'impliquent ses impératifs, ses besoins et ses préférences. Aussi, la formation, l'information et l'entraînement sont-ils des éléments importants de tout programme de surveillance de la santé.

### L'acclimatement

On a constaté qu'il existe différents types d'acclimatement à une exposition prolongée au froid. Une meilleure circulation du sang dans la main et les doigts permet une température plus élevée des tissus et une vasodilatation au froid plus importante (voir tableau 42.18). La performance manuelle est donc mieux conservée lorsque la main est exposée au froid de façon répétée.

Il semble qu'un refroidissement répété de l'ensemble du corps intensifie la vasoconstriction périphérique et augmente donc l'isolation des tissus de surface. Les pêcheuses de perles voient l'isolation de leur peau s'améliorer nettement pendant l'hiver. Des

recherches ont montré que, lorsqu'on porte une combinaison de plongée, la contrainte thermique froide diminue à tel point que l'isolation des tissus ne change pas.

Trois types d'adaptation possible sont proposés:

- une meilleure isolation des tissus (celle qui vient d'être mentionnée);
- une réaction hypothermique (baisse «maîtrisée» de la température du noyau central);
- une réaction métabolique (augmentation du métabolisme).

C'est chez les peuples indigènes des régions froides que l'on constate les adaptations les plus évidentes. Toutefois, grâce aux technologies modernes et aux nouveaux modes de vie, les expositions au froid le plus extrême tendent à disparaître. Les vêtements, les locaux chauffés et les habitudes de prudence permettent à la plupart des gens aujourd'hui de conserver une température quasi tropicale à la surface de la peau (microclimat). Par conséquent, les facteurs qui tendent à stimuler l'adaptation physiologique s'affaiblissent.

Aujourd'hui, les personnes les plus exposées au froid sont de toute évidence celles qui participent aux expéditions polaires ou aux activités industrielles qui se déroulent dans les régions arctiques et subarctiques. Plusieurs indications semblent prouver que, lorsqu'il y a adaptation à un froid sévère (air froid ou eau froide), il s'agit en général d'une amélioration de l'isolation thermique. En d'autres termes, il est possible de conserver une température élevée du noyau central en réduisant ou en contenant la déperdition thermique.

### Le régime alimentaire et l'équilibre hydrique

Le travail dans le froid est souvent associé à des activités qui demandent de l'énergie. De plus, la protection contre le froid exige le port de vêtements et d'équipements qui pèsent souvent plusieurs kilos. La gêne occasionnée par ces vêtements augmente l'effort musculaire. Par conséquent, une même tâche demandera plus d'énergie (et de temps) lorsqu'elle est effectuée dans le froid. L'apport calorique de l'alimentation doit compenser ce besoin supplémentaire d'énergie. Les personnes qui travaillent en plein air auront avantage à augmenter le taux de calories grâce à des aliments gras.

Les repas absorbés lors d'activités dans le froid doivent apporter suffisamment d'énergie. Ils doivent comprendre assez de glucides pour assurer une glycémie stable et sûre à des travailleurs de force. Récemment, des produits alimentaires ont été lancés sur le marché qui sont censés stimuler et augmenter la production de chaleur corporelle dans le froid. Normalement, ces produits sont simplement composés de glucides et, jusqu'à présent, il n'a pas pu être prouvé qu'ils faisaient mieux que des produits similaires (chocolat), ou que ce que l'on pouvait attendre de leur contenu calorique.

Une exposition au froid peut entraîner une déperdition hydrique importante. Tout d'abord, le refroidissement des tissus cause une redistribution du volume sanguin, ce qui provoque une «diurèse du froid». Le travail devra être adapté et les vêtements choisis en tenant compte de cette diurèse qui peut survenir très vite et demander une miction urgente. Au-dessous de 0 °C, l'air est quasiment sec, ce qui favorise une évaporation continue par la peau et par l'appareil respiratoire, évaporation dont on ne s'aperçoit pas tout de suite. La sudation contribue à la déperdition hydrique; celle-ci est à contrôler soigneusement et, si possible, à éviter. En effet, l'isolation diminue lorsque la sueur est absorbée par les vêtements. Il n'est pas toujours facile de trouver de l'eau lorsque la température est inférieure à 0 °C. Quand on travaille en plein air, on en emportera ou on fera fondre de la neige ou de la glace. La soif se faisant moins sentir, il est indispensable que les personnes qui travaillent dans le froid boivent fréquemment pour

diminuer le risque de déshydratation progressive. Un déficit hydrique peut diminuer les capacités de travail et augmenter les risques de lésions dues au froid.

**La formation des travailleurs du froid**

Jusqu'à présent, les moyens les plus efficaces et les plus appropriés d'adaptation de l'être humain au travail dans le froid sont la préparation, l'éducation, la formation, et la pratique. Comme on l'a déjà vu, une grande partie du succès de cette adaptation à l'exposition au froid reste une question de comportement, qui, lui-même, dépend de l'expérience et de l'information des intéressés.

Les personnes qui travaillent dans le froid devraient recevoir une formation de base aux problèmes spécifiques du froid. Elles devraient être informées sur les réactions physiologiques et subjectives, les aspects sanitaires, les risques d'accidents et les mesures de protection, notamment en ce qui concerne les vêtements et les premiers secours, et elles devraient être formées progressivement aux tâches qui leur sont demandées. Ce n'est qu'au bout d'un certain temps (de plusieurs jours à plusieurs semaines) qu'elles pourront travailler des heures entières dans des conditions extrêmes. Le tableau 42.18 contient un certain nombre de recommandations sur le contenu des programmes d'adaptation à différents types de travaux dans le froid.

Par formation d'initiation, il faut entendre éducation et information sur les problèmes spécifiques du froid. La déclaration et l'analyse des accidents et des lésions sont les meilleures bases de tout effort de prévention. Il est conseillé de dispenser une formation aux premiers soins sous forme de cours pour l'ensemble du personnel, tout en proposant des cours plus approfondis à certains groupes de travailleurs particuliers. Les mesures de protection devraient naturellement faire partie de ce programme de formation. Elles sont abordées dans les sections suivantes. La formation aux techniques de survie est importante pour le travail dans les régions arctiques et subarctiques, mais aussi dans d'autres régions reculées.

**La prévention technique**

**Les principes généraux**

Vu la complexité des facteurs qui déterminent l'équilibre thermique de l'être humain et les variations considérables que l'on constate d'un individu à l'autre, il est difficile de définir les températures critiques pour un travail soutenu. Les températures qui sont données à la figure 42.19 ne doivent être considérées que comme des seuils au-dessous desquels différentes mesures sont à prendre pour améliorer les conditions de travail. A une température inférieure à celles mentionnées dans la figure 42.19, il y aura lieu de contrôler et d'évaluer les expositions au froid. On verra plus loin dans le présent chapitre quelles sont les techniques de détermination des contraintes thermiques froides et les conseils à suivre en ce qui concerne les durées limites d'exposition. On y part du principe que les travailleurs disposent de la meilleure protection possible des mains, des pieds et du corps (vêtements). Si cette protection est insuffisante, il est probable que le refroidissement du corps commencera à des températures beaucoup plus élevées.

Les tableaux 42.19 et 42.20 répertorient les mesures de protection et de prévention qui peuvent être appliquées à la plupart des types de travaux dans le froid. Une planification et des prévisions rigoureuses peuvent éviter beaucoup de travail inutile. Les exemples donnés ne sont que des conseils et le choix qui sera fait des vêtements, des équipements et des méthodes de travail devra être laissé aux personnes concernées. Ce n'est que par une intégration attentive et intelligente des comportements aux impératifs de l'environnement réel que des conditions de travail sûres et efficaces pourront être assurées dans le froid.

Tableau 42.18 • Composantes des programmes de formation destinés aux travailleurs exposés au froid

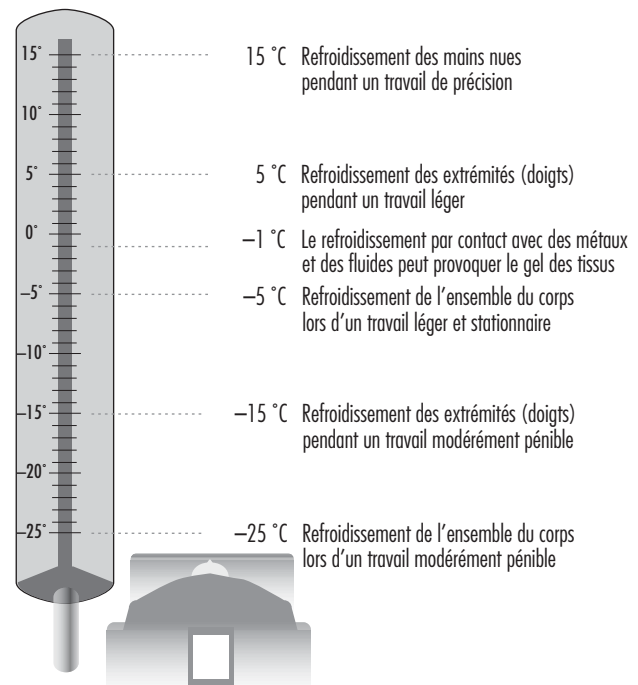
Composantes	Travail en plein air	Travail dans les entrepôts froids	Travail dans les régions arctiques et subarctiques
Contrôle de la santé	***	**	***
Initiation de base	***	**	***
Prévention des accidents	***	**	***
Initiation aux premiers soins	***	***	***
Cours sur les premiers soins	**	*	***
Mesures de protection	***	**	***
Formation aux techniques de survie	voir texte	*	***

\*= contrôle de routine; \*\*= facteur important à considérer; \*\*\*= facteur très important à considérer.

La Conférence américaine des hygiénistes gouvernementaux du travail (American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (ACGIH, 1992) a formulé des recommandations sur les mesures à prendre dans certaines conditions climatiques. Pour l'essentiel, elle conseille:

- de fournir aux travailleurs des vêtements de protection suffisants et appropriés;

Figure 42.19 • Températures auxquelles surviennent certains déséquilibres thermiques du corps\*



\* On suppose que l'on dispose des vêtements de protection les plus performants.

Tableau 42.19 • Stratégies et mesures pendant diverses phases de travail en vue de la prévention et de la limitation des contraintes froides

Phase/facteur	Que faire	Phase/facteur	Que faire
Phase de planification	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planifier le travail pour une saison plus chaude (pour le travail en plein air)</li> <li>Vérifier si le travail ne peut être effectué à l'intérieur (pour le travail en plein air)</li> <li>Prévoir plus de temps pour les tâches à effectuer dans le froid, avec vêtements de protection</li> <li>Étudier l'outillage et les équipements pour voir s'ils sont bien adaptés au travail</li> <li>Organiser le travail selon une alternance travail-repos qui tienne compte des tâches, de la charge de travail et du niveau de protection</li> <li>Prévoir un espace ou un abri chauffé où se reposer</li> <li>Dispenser une formation pour les travaux complexes dans des conditions normales</li> <li>Étudier les dossiers médicaux des travailleurs</li> <li>S'assurer que le personnel a les connaissances et les compétences nécessaires</li> <li>Informers le personnel quant aux risques, problèmes, symptômes et mesures de prévention</li> <li>Séparer les circuits des marchandises et des travailleurs et prévoir des zones à différentes températures</li> <li>Contrôler la vitesse, le taux d'humidité et le niveau sonore de l'air pulsé par le système de climatisation</li> <li>Prévoir du personnel supplémentaire pour écourter la durée de l'exposition au froid</li> <li>Sélectionner des vêtements et des équipements de protection appropriés</li> </ul>	Pendant le poste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sélectionner des vêtements et des équipements de protection individuelle adaptés</li> <li>Vérifier les prévisions météorologiques (plein air)</li> <li>Prévoir des stations de contrôle (plein air)</li> <li>Organiser un système de communication (plein air)</li> <li>Assurer des pauses et des périodes de repos dans un abri chauffé</li> <li>Aménager des pauses fréquentes pour prendre des aliments et des boissons chaudes</li> <li>Assurer une certaine flexibilité pour les cadences et la durée du travail</li> <li>Prévoir des vêtements de rechange (chaussettes, gants, etc.)</li> <li>Protéger des déperditions de chaleur au contact avec des surfaces froides</li> <li>Diminuer la vitesse de déplacement de l'air dans les zones de travail</li> <li>Evacuer l'eau, la glace et la neige des lieux de travail</li> <li>Isoler le sol des zones de travail stationnaire effectué debout</li> <li>Prévoir des vêtements chauds supplémentaires</li> <li>Noter les réactions des travailleurs (camaraderie) (plein air)</li> <li>Faire rapport régulièrement au contremaître ou à la base (plein air)</li> <li>Prévoir un temps de récupération suffisant après des expositions à un froid sévère (plein air)</li> <li>Proposer une protection contre le vent et les précipitations (plein air)</li> <li>Contrôler les conditions atmosphériques et prévoir les changements de temps (plein air)</li> </ul>
Avant le début du poste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrôler la température au début du poste</li> <li>Programmer des temps de pause suffisants</li> <li>Permettre à chacun de choisir ses vêtements et de fixer ses cadences de travail</li> </ul>		

Source: d'après Holmér, 1994

- de prendre des précautions particulières pour les travailleurs d'un certain âge et pour ceux qui présentent des problèmes circulatoires.

D'autres recommandations qui ont trait à la protection des mains, à la conception des lieux de travail et aux pratiques professionnelles sont brièvement évoquées ci-dessous.

#### La protection des mains

Lorsqu'on doit effectuer des opérations minutieuses à mains nues alors que la température est inférieure à 16 °C, des mesures doivent être prévues pour se réchauffer les mains. Les poignées en métal des outils et les barres devraient être recouvertes de matériaux isolants dès que la température est inférieure à -1 °C et on devrait porter des gants de protection dès que la température des surfaces accessibles est inférieure ou égale à -7 °C. A -17 °C, il y a lieu d'utiliser des moufles isolantes. Les liquides qui s'évaporent à des températures inférieures à 4 °C doivent être manipulés de façon à éviter les éclaboussures sur la peau nue ou mal protégée.

#### Les pratiques professionnelles

En dessous de -12 °C de température équivalente «Wind Chill» (voir plus loin l'article «Les indices et les normes relatifs au froid»), les travailleurs doivent faire l'objet d'une attention constante. Une

grande partie des mesures figurant au tableau 42.18 sont alors applicables. Plus la température baisse, plus il est important d'informer les travailleurs sur les procédures de sécurité et de protection de la santé.

#### La conception des lieux de travail

Les lieux de travail devraient être abrités du vent et la vitesse de déplacement de l'air ne devrait pas dépasser 1 m/s. Le cas échéant, des vêtements de protection contre le vent seront à prévoir. Un système de protection des yeux devrait être fourni dans certaines circonstances particulières, lorsqu'il y a du soleil et que le sol est couvert de neige. Une surveillance médicale est recommandée pour les personnes qui travaillent constamment dans des températures inférieures à -18 °C. Les recommandations concernant les lieux de travail conseillent notamment:

- de prévoir un thermomètre approprié dès que la température est inférieure à 16 °C;
- de contrôler la vitesse de l'air à l'intérieur des locaux au moins toutes les 4 heures;
- pour le travail en plein air, de mesurer la vitesse du vent et la température de l'air lorsqu'elle est inférieure à -1 °C;
- de déterminer la température équivalente «Wind Chill» pour diverses combinaisons du vent et de la température de l'air.

Tableau 42.20 • Stratégies et mesures liées aux équipements et aux facteurs spécifiques

Comportement	<p>Prévoir du temps pour adapter ses vêtements</p> <p>Prévenir la sudation et les refroidissements en adaptant les vêtements en temps voulu avant un changement de cadence de travail ou d'exposition</p> <p>Adapter le rythme de travail (pour une sudation minimale)</p> <p>Éviter les changements de cadence trop brutaux</p> <p>Prévoir la possibilité de prendre des boissons chaudes et des repas chauds</p> <p>Prévoir du temps pour retourner dans les lieux abrités (abri, locaux chauffés) (plein air)</p> <p>Éviter que les vêtements ne se mouillent avec de l'eau ou de la neige</p> <p>Prévoir un temps de récupération suffisant dans les lieux abrités (abri, local chauffé) (plein air)</p> <p>Faire rapport sur la progression du travail au contremaître ou à la base (plein air)</p> <p>Signaler les principaux changements par rapport au programme initial (plein air)</p>	<p>Les vêtements doivent pouvoir être ouverts, fermés ou ajustés même avec des doigts froids et engourdis</p> <p>Ils doivent permettre de bouger sans comprimer les couches ni en diminuer les qualités d'isolation</p> <p>Éviter les resserrements inutiles</p> <p>Avoir à disposition des couvertures supplémentaires à l'épreuve du vent</p> <p>(NOTE: la couverture dite d'«astronaute» en aluminium n'assure pas de protection particulière contre le vent. Un grand sac poubelle en polyéthylène a le même effet.)</p>
Vêtements	<p>Choisir des vêtements dont on a l'habitude</p> <p>Si les vêtements sont neufs, opter pour des vêtements qui ont été testés</p> <p>Choisir leur niveau d'isolement en fonction de la température et de l'activité prévues</p> <p>Prévoir une tenue facile à adapter en fonction de l'isolement requis</p> <p>Les vêtements doivent être faciles à mettre et à enlever</p> <p>Limiter les frictions internes entre les couches de vêtements en choisissant soigneusement les tissus</p> <p>Choisir l'épaisseur des couches externes pour avoir de la place pour les couches internes</p> <p>Préférer un système à plusieurs couches:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— une couche interne pour le microclimat</li> <li>— une couche intermédiaire pour l'isolation</li> <li>— une couche externe de protection contre l'environnement</li> </ul> <p>La couche interne ne doit pas être trop absorbante si l'on ne peut pas contrôler suffisamment la sudation</p> <p>La couche interne peut être absorbante si l'on prévoit une sudation faible ou inexistante</p> <p>La couche interne peut être composée de tissus à double fonction, où les fibres en contact avec la peau ne sont pas absorbantes alors que les fibres qui sont près de la couche intermédiaire absorbent l'eau ou l'humidité</p> <p>La couche intermédiaire doit pouvoir contenir les couches d'air stagnant</p> <p>La couche intermédiaire doit être indéformable et résistante</p> <p>La couche intermédiaire peut être protégée par des couches antiévaporation</p> <p>Les vêtements doivent se superposer à la taille et dans le dos</p> <p>La couche externe doit pouvoir protéger contre le vent, l'eau, l'huile, le feu, contre les déchirures et l'abrasion</p> <p>La couche externe doit toujours permettre une ouverture facile du col, des manches, des poignets, etc., pour régler l'aération de l'espace intérieur</p> <p>Les fermetures à glissière ou autre doivent pouvoir fonctionner en cas de neige ou de vent</p> <p>Les boutons sont déconseillés</p>	<p>Education, formation</p> <p>Dispenser une formation et une information sur les problèmes spécifiques du froid</p> <p>Dispenser une information et une formation sur les premiers soins et le traitement des lésions dues au froid</p> <p>Tester les machines, les outils et les équipements dans des conditions de froid contrôlé</p> <p>Sélectionner des marchandises testées, si disponibles</p> <p>Dispenser une formation pour les opérations complexes dans des conditions de froid contrôlé</p> <p>Informé sur les accidents et la prévention des accidents</p>
		<p>Gants</p> <p>Ce sont les moufles qui fournissent la meilleure protection globale</p> <p>Les moufles doivent permettre de porter des gants fins en dessous</p> <p>Les expositions au froid prolongées pour les besoins d'un travail manuel précis doivent être interrompues par des pauses fréquentes pour se réchauffer</p> <p>Des réchauds portatifs ou autres sources de chaleur externes peuvent empêcher ou retarder le refroidissement des mains</p> <p>Les manches des vêtements doivent pouvoir accueillir le bas des gants ou des moufles — dedans ou par-dessus</p> <p>Les pardessus doivent comporter des poches pour le rangement ou la fixation des gants</p>
		<p>Chaussures</p> <p>Les bottes doivent assurer une parfaite isolation du sol (semelle)</p> <p>Les semelles doivent être composées d'un matériau flexible et être antidérapantes</p> <p>Choisir la taille des bottes de façon à pouvoir mettre plusieurs chaussettes et une semelle intérieure</p> <p>Dans la plupart des chaussures, l'aération des pieds est insuffisante, si bien qu'il faut limiter l'humidité en changeant souvent de chaussettes et de semelles intérieures</p> <p>Contrôler l'humidité par une semelle étanche entre la couche interne et la couche externe</p> <p>Faire sécher les bottes complètement entre chaque poste</p> <p>Les jambes des pantalons doivent facilement rentrer dans les bottes ou vice versa</p>
		<p>Couvre-chef</p> <p>Un couvre-chef souple est un accessoire important pour conserver la chaleur et éviter la déperdition thermique de l'ensemble du corps</p> <p>Il doit résister au vent</p> <p>Il doit être conçu de façon à protéger suffisamment les oreilles et le cou</p>

Tableau 42.20 • Stratégies et mesures liées aux équipements et aux facteurs spécifiques

	Il doit être adapté aux autres types d'équipements de protection (les protège-oreilles ou les lunettes de sécurité, par exemple)	Machines	Choisir des machines conçues pour être utilisées dans des environnements froids Ranger les machines dans un endroit protégé Préchauffer les machines avant usage. Isoler les poignées et les commandes Concevoir les poignées et les commandes de façon à pouvoir les manier avec des gants Prévoir un système d'entretien et de réparation facile à exécuter dans des conditions difficiles
Visage	Le masque facial doit être isolant et à l'épreuve du vent Aucun élément métallique ne doit être en contact avec le visage L'air inspiré peut être chauffé et humidifié grâce à des masques spéciaux ou à des pièces buccales Porter des lunettes de sécurité, surtout en cas de verglas ou de neige Utiliser un système de protection des yeux contre les rayons ultraviolets et la réverbération	Lieu de travail	La vitesse de déplacement de l'air doit être aussi faible que possible Utiliser un brise-vent, des écrans ou des vêtements qui isolent du vent Prévoir une isolation du sol en cas de station debout prolongée ou pour les travaux effectués à genoux ou couché Prévoir un système de chauffage d'appoint pour les travaux légers et sédentaires
Équipement, outils	Sélectionner un outillage et des équipements conçus et testés pour le froid Choisir des modèles pouvant être utilisés avec des gants Préchauffer les outils et l'équipement Ranger l'outillage et les équipements dans un local chauffé Isoler les poignées des outils et des machines		

Source: d'après Holmér, 1994.

La plupart des recommandations qui figurent dans les tableaux 42.19 et 42.20 sont pragmatiques et d'application simple.

Les vêtements sont le meilleur moyen d'aménagement individuel des conditions de travail. La méthode consistant à superposer plusieurs couches de vêtements est une solution plus souple qu'un seul vêtement jouant le rôle de plusieurs couches. En fin de compte, ce sont les besoins spécifiques du travailleur qui doivent déterminer ce qui lui convient le mieux. Les vêtements protègent du refroidissement, mais un excès de vêtements pose certains problèmes dans les environnements froids, comme l'ont montré les récits d'expéditions dans le froid extrême de l'Arctique. Trop de vêtements provoque très vite une sudation abondante, qui s'accumule dans les couches des habits. Pendant les périodes de faible activité, la déperdition de chaleur corporelle augmente lorsque les vêtements humides sèchent. La meilleure mesure de prévention consiste à contrôler et limiter la sudation par un choix de vêtements adapté en fonction des changements de la cadence du travail et des conditions climatiques. Il n'existe pas de tissu qui soit capable d'absorber de grandes quantités de sueur tout en restant confortable et en conservant ses qualités d'isolation. La laine reste protectrice et plus ou moins sèche même si elle absorbe une partie de l'humidité, mais si la sueur est abondante et se condense, elle pose les mêmes problèmes que d'autres tissus. L'humidité libère une certaine quantité de chaleur et peut contribuer à la conservation de la chaleur. Cependant, lorsque le vêtement de laine sèche sur le corps, le processus s'inverse et, comme on l'a vu précédemment, la personne se refroidit inévitablement.

Avec les technologies textiles modernes, on dispose de nombreux matériaux et tissus nouveaux pour la fabrication des vêtements. Il existe maintenant des vêtements qui associent l'étanchéité à l'eau à une bonne perméabilité à la vapeur d'eau, ou qui offrent une bonne isolation sans être ni lourds ni épais. Pourtant, il est essentiel de choisir des vêtements qui garantissent absolument certaines propriétés et fonctions. On trouve de nombreux produits qui essaient d'imiter les produits originaux plus coûteux.

Certains sont de si mauvaise qualité qu'il peut même être dangereux de les utiliser.

La protection contre le froid dépend principalement de la valeur d'isolation thermique de l'ensemble des vêtements (valeur clo). Cependant, des propriétés telles que leur perméabilité à l'air et à la vapeur et l'étanchéité à l'eau, en particulier de la couche externe, sont des facteurs essentiels pour la protection contre le froid. Plusieurs normes internationales et des tests permettent de mesurer et de classer ces propriétés. De même, les propriétés thermo-isolantes des gants et des chaussures peuvent être testées à l'aide de normes internationales telles que les normes EN 511 et EN 342 (CEN, 1992, 1995).

#### Le travail en plein air dans le froid

Les problèmes que pose le travail en plein air dans le froid découlent de l'ensemble des facteurs qui peuvent provoquer des contraintes thermiques froides. La combinaison du vent et d'une température de l'air très basse augmente de manière significative les risques de refroidissement. Ce problème est à considérer en termes d'organisation du travail, de protection des lieux de travail et d'habillement. Les précipitations dans l'air, sous forme de neige ou de pluie, ou au sol, exigent certaines adaptations. Les variations du temps en hiver obligent les travailleurs à prévoir, emporter et utiliser des vêtements et des équipements supplémentaires.

Une grande partie des problèmes que pose le travail en plein air tient aux différences parfois importantes dans les activités et la température pendant un même poste de travail. Aucune tenue ne peut à elle seule faire face à de telles variations. Aussi faut-il souvent changer de vêtements ou les adapter, faute de quoi on risque un refroidissement en raison d'une protection insuffisante ou, au contraire, d'une sudation et d'un échauffement dus à l'excès de vêtements. Dans ce dernier cas, la plus grande partie de cette chaleur se condense ou est absorbée par les vêtements. Pendant les périodes de repos et de faible activité, les vêtements mouillés représentent un risque potentiel, puisque pour sécher, ils utilisent la chaleur du corps.

Les mesures de protection à prévoir pour le travail en plein air consistent notamment à organiser des régimes travail-repos comportant des pauses dans des abris chauffés ou dans des cabanes. Les tâches sédentaires peuvent être effectuées à l'abri du vent et des précipitations dans des tentes avec ou sans chauffage d'appoint. Des systèmes de chauffage à infrarouge ou à gaz peuvent être utilisés pour certaines tâches. Des pièces peuvent être fabriquées à l'avance à l'intérieur. Au-dessous de 0 °C, la température régnant sur le lieu de travail devrait être contrôlée régulièrement, ainsi que les conditions météorologiques. Des règles claires doivent être établies sur les procédures à appliquer lorsque ces conditions deviennent très difficiles. Des températures limites seront fixées et éventuellement corrigées en fonction du vent (indice «Wind Chill») et un programme d'action devrait être prévu en fonction de ces limites.

### Le travail dans les chambres froides

Les aliments surgelés doivent être stockés et transportés à des températures ambiantes très basses (-20 °C). Le travail en entrepôts réfrigérés se pratique dans la plupart des régions du monde. Ce type d'exposition à un froid artificiel a pour caractéristique que la température est constante et contrôlée. Le travail se fait en continu, ou plus souvent, par intermittence, et les travailleurs passent donc d'une température froide ou tempérée à des températures chaudes lorsqu'ils sortent de l'entrepôt.

Tant que le travail demande un certain effort physique, l'équilibre thermique peut être conservé grâce à des vêtements de protection adaptés. Les problèmes particuliers des mains et des pieds imposent souvent des pauses régulières, toutes les 90 minutes à 2 heures. La pause doit être assez longue pour que le travailleur puisse se réchauffer (20 minutes).

La manutention manuelle des aliments surgelés exige le port de gants de protection suffisamment isolants (en particulier pour la paume). Les spécifications et les tests des gants de protection contre le froid figurent dans la norme européenne EN 511, décrite plus en détail dans l'article «Les indices et les normes relatifs au froid», à la fin du présent chapitre. Les chauffages ponctuels (radiateurs à infrarouges, par exemple) placés au-dessus des postes de travail où s'effectuent les tâches sédentaires améliorent l'équilibre thermique.

Une grande partie du travail en chambre froide s'effectue avec des chariots à fourche. La conduite de ces véhicules qui sont souvent ouverts crée un courant d'air qui, associé au froid, accroît le refroidissement du corps. De plus, ce travail est en lui-même relativement aisé et ne produit qu'une faible chaleur métabolique. Par conséquent, les vêtements doivent assurer une assez forte isolation (environ 4 clo), ce qui n'est pas le cas de la plupart des combinaisons de travail actuelles. Les conducteurs de chariot prennent froid, à commencer par les pieds et les mains, et leur temps d'exposition au froid doit être limité. Suivant les vêtements de protection dont on dispose, il convient d'organiser les programmes de travail en alternant travail au froid et temps de repos à température normale. Une mesure simple qui peut améliorer l'équilibre thermique consiste à installer un siège chauffant sur le chariot. On peut ainsi prolonger le temps de travail dans le froid et prévenir le refroidissement localisé du siège et du dos. L'utilisation de cabines chauffées est une autre solution plus complexe et plus coûteuse.

Les pays chauds posent des problèmes particuliers, car le travailleur en entrepôt réfrigéré, en général le conducteur du chariot, est exposé alternativement à un froid de -30 °C et à la chaleur (+30 °C). Lorsque les expositions à chacune de ces deux températures sont très courtes (4 à 5 minutes), il n'est pas facile de trouver des vêtements adaptés; ils risquent d'être trop chauds pour la phase de travail à l'extérieur et trop légers pour le travail dans l'entrepôt. Les chariots à cabines peuvent être une solution, une

fois résolu le problème de condensation sur les vitres. Un programme de pauses est à établir en fonction des tâches à effectuer et des moyens de protection disponibles.

Sur les lieux de travail au frais, dans le secteur des aliments frais par exemple, la température de l'air se situe entre -2 et -16 °C selon le type d'activité. On y trouve parfois une forte humidité relative qui provoque une condensation aux endroits froids et dépose de l'humidité ou de l'eau sur les sols. Le risque de glissade est important dans ce type de locaux. On peut pallier ce problème par une bonne hygiène et un nettoyage régulier qui réduira l'humidité relative.

La vitesse de déplacement de l'air aux postes de travail est souvent trop élevée, amenant les travailleurs à se plaindre de courants d'air. Le problème peut souvent être résolu en changeant ou en réglant les arrivées de l'air froid ou en réaménageant les postes de travail. Les réserves de marchandises surgelées ou froides situées près des postes de travail peuvent contribuer à l'impression de courants d'air du fait de l'augmentation de l'échange de chaleur par rayonnement. Les vêtements doivent être choisis sur la base d'une évaluation des besoins, suivant la méthode IREQ. En outre, ils doivent être conçus pour assurer une protection contre les courants d'air localisés, contre l'humidité et l'eau. Les consignes d'hygiène pour la manipulation des produits alimentaires imposent certaines restrictions pour la conception et le type de vêtements à utiliser (notamment leur surface externe). Une tenue adaptée doit prévoir des sous-vêtements, des couches intermédiaires isolantes et une couche externe de façon à constituer un ensemble fonctionnel et suffisamment protecteur. Le port d'un chapeau est souvent exigé pour des raisons d'hygiène. Cependant, ces chapeaux consistent souvent en une casquette en papier qui n'offre aucune protection contre le froid. De même, les chaussures sont généralement de simples sandales ou des souliers légers, à faible pouvoir d'isolation. Chapeaux et chaussures devraient être conçus pour conserver la chaleur de ces parties du corps et contribuer à améliorer l'équilibre thermique général.

L'un des problèmes propres à de nombreux lieux de travail au frais est celui de maintenir la dextérité manuelle. Les mains et les doigts se refroidissent rapidement lorsque l'activité musculaire est faible ou modérée. Les gants améliorent la protection, mais nuisent à la dextérité. Un équilibre est à trouver entre ces deux impératifs. Pour couper de la viande, il faut souvent un gant en métal. Un gant fin en textile porté sous le gant de métal peut réduire l'effet de refroidissement et améliorer le confort. Ces gants peuvent suffire pour de nombreux usages. Pour prévenir le refroidissement des mains, on peut aussi isoler les poignées des outils et des équipements ou prévoir un chauffage ponctuel (des radiateurs à infrarouges, par exemple). Il existe sur le marché des gants chauffés à l'électricité, mais leur ergonomie est souvent médiocre et la capacité des batteries de chauffage est insuffisante.

### L'exposition à l'eau froide

Lorsque le corps est immergé dans l'eau, il peut perdre une grande quantité de chaleur en très peu de temps, ce qui constitue un très grand risque. La conductivité thermique de l'eau est plus de vingt-cinq fois supérieure à celle de l'air et, dans de nombreux cas d'exposition, la capacité de l'eau entourant le corps à absorber de la chaleur est réellement infinie.

La température de neutralité de l'eau se situe entre 32 et 33 °C, et à des températures plus basses, le corps réagit au froid par une vasoconstriction et des frissons. De longues expositions dans l'eau à des températures se situant entre 25 et 30 °C provoquent un refroidissement du corps et une hypothermie progressive. Naturellement, cette réaction est d'autant plus forte que la température de l'eau est basse.

Une exposition à l'eau froide est fréquente en cas d'accidents en mer ou dans la pratique des sports aquatiques quels qu'ils

soient. Mais on risque également une hypothermie d'immersion à l'occasion de diverses activités professionnelles telles que la plongée sous-marine, la pêche, la navigation et toute autre activité en mer.

Les naufragés sont parfois contraints d'entrer dans l'eau froide. Leur protection peut se limiter à des vêtements fins ou consister en combinaisons de plongée. Les gilets de sauvetage sont toujours obligatoires à bord des bateaux. Ils doivent être munis d'un collier pour réduire la déperdition thermique par la tête, lorsque les victimes sont inconscientes. L'équipement du bateau, l'efficacité des procédures d'urgence et le comportement de l'équipage et des passagers sont des facteurs déterminants pour le succès du sauvetage et les conditions d'exposition qui en découlent.

Les plongeurs pénètrent régulièrement dans des eaux froides. La plupart du temps, la température des eaux où s'effectuent les plongées pour des besoins professionnels est froide, souvent inférieure à 10 °C. Toute immersion prolongée dans ces eaux froides exige le port de combinaisons de plongée thermiquement isolées.

*La déperdition de chaleur.* L'échange thermique dans l'eau peut être considéré comme un simple flux de chaleur entre deux gradients de température, un gradient interne, du noyau interne à la peau, et un gradient externe, de la surface de la peau à l'eau environnante. La déperdition de chaleur de la surface du corps peut être décrite comme suit:

$$C_W = h_c (T_{sk} - T_W) A_D$$

$C_W$  étant le flux de déperdition de chaleur par convection (W),  $h_c$  le coefficient de transfert de chaleur par convection ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ),  $T_{sk}$  la température moyenne de la peau ( $^\circ C$ ),  $T_W$  la température de l'eau ( $^\circ C$ ) et  $A_D$  la surface du corps. Les petites déperditions thermiques par la respiration et les parties non immergées (telles que la tête) sont négligeables (voir ci-dessous la section sur la plongée).

La valeur de  $h_c$  est comprise entre 100 à 600  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ . La valeur la plus faible s'applique à l'eau calme. Les turbulences, qu'elles soient dues aux mouvements de natation ou au flux de l'eau, doublent ou triplent le coefficient de convection. On comprend facilement que le corps, s'il n'est pas protégé, puisse subir une déperdition de chaleur considérable dans l'eau froide, et que cette déperdition puisse être supérieure à la chaleur produite même en cas d'exercice intense. En fait, dans la plupart des cas, toute personne (habillée ou non) qui tombe dans de l'eau froide économise davantage de chaleur en restant immobile qu'en nageant.

La déperdition de chaleur dans l'eau peut être réduite de manière significative grâce au port de combinaisons de protection spéciales.

*L'immersion.* Lorsqu'il descend à plusieurs centaines de mètres de profondeur, le plongeur doit être protégé des effets de la pression (un ATA ou 0,1 MPa/10 m) et du froid. L'inspiration d'air froid (ou d'un mélange de gaz froid composé d'hélium et d'oxygène) draine la chaleur corporelle à l'extérieur des tissus des poumons. Cette déperdition de chaleur directe du noyau central est importante en cas de forte pression et peut facilement atteindre des valeurs supérieures à la production de chaleur métabolique du corps au repos. L'organisme humain perçoit mal ce phénomène. On peut atteindre des températures internes dangereusement basses sans frissons si la surface du corps est chaude. Pour les travaux réalisés au large, le plongeur doit disposer d'une source de chaleur supplémentaire dans sa combinaison, mais aussi dans son appareil respiratoire, pour compenser l'importante déperdition thermique par convection pulmonaire. En cas de plongée profonde, la zone de confort est mince, et l'eau doit être plus chaude en profondeur qu'en surface: de 30 à 32 °C à 20 à 30 ATA (2 à 3 MPa) et de 32 à 34 °C jusqu'à 50 ATA (5 MPa).

*Les facteurs physiologiques.* L'immersion dans les eaux froides provoque un stimulus respiratoire brutal et intense. La réaction initiale comprend un «hoquet inspiratoire», une hyperventilation, une tachycardie, une vasoconstriction périphérique et une hypertension. Une apnée inspiratoire de quelques secondes est suivie d'une augmentation de la ventilation. La réaction est presque impossible à contrôler volontairement. Aussi, la personne risque-t-elle facilement d'inhaler de l'eau si la mer est mauvaise et si le corps est submergé. Les premières secondes de l'exposition à une eau très froide sont donc dangereuses et l'on peut se noyer brutalement. Une immersion lente et une protection adaptée du corps réduisent la réaction et permettent de mieux contrôler la respiration. La réaction s'estompe petit à petit et, en général, la respiration normale se rétablit en quelques minutes.

La vitesse de déperdition thermique à la surface de la peau accentue l'importance des mécanismes internes (physiologiques et constitutionnels) pour réduire le flux de chaleur du noyau central à la peau. La vasoconstriction limite le flux de sang dans les extrémités et conserve la chaleur centrale. L'exercice augmente le flux du sang dans les extrémités et, associé à l'augmentation de la convection externe, il peut en fait accélérer la déperdition thermique malgré l'importance de la thermogenèse.

Au bout de 5 à 10 minutes dans une eau très froide, la température des extrémités baisse rapidement. Les fonctions neuromusculaires se détériorent et la faculté de coordonner et de contrôler ses muscles se dégrade. La qualité de la natation peut être gravement perturbée, si bien qu'au large, on est très vite en danger.

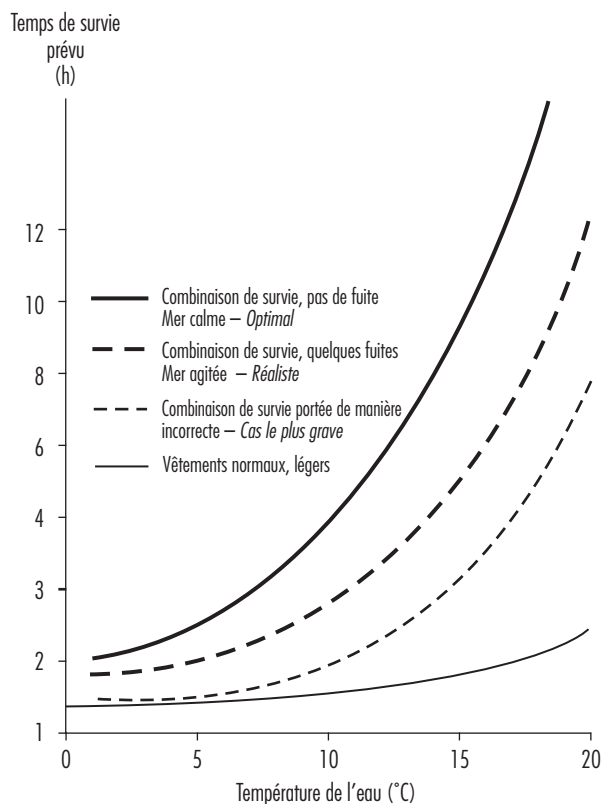
La taille de la personne est un autre facteur important. Dans les mêmes conditions, un individu de grande taille qui a une surface corporelle plus grande perd davantage de chaleur qu'une personne petite. Cependant, sa masse corporelle étant relativement plus grande, ce phénomène est compensé de deux façons. Le taux de production de chaleur métabolique augmente proportionnellement à la surface du corps, et le contenu calorique du corps à une température corporelle donnée est supérieur. Ce dernier facteur freine considérablement la déperdition thermique et la température du noyau central baisse moins vite. Les enfants courent davantage ce risque que les adultes.

Le facteur de loin le plus important est la teneur du corps en graisse, en particulier l'épaisseur de la graisse sous-cutanée. Le tissu adipeux est plus isolant que les autres tissus et il est contourné par une grande partie de la circulation périphérique. Une fois que la vasoconstriction s'est produite, la couche de graisse sous-cutanée agit comme une couche isolante supplémentaire. Les femmes ont en général davantage de graisse sous-cutanée que les hommes et elles perdent moins de chaleur dans les mêmes conditions. De la même manière, les personnes grasses sont mieux loties que les maigres.

*La protection individuelle.* Comme on l'a déjà mentionné, un séjour prolongé dans des eaux froides ou tempérées exige une isolation externe supplémentaire sous la forme de combinaisons de plongée, de combinaisons d'immersion ou de tout autre équipement analogue. La combinaison de mousse néoprène mouillée isole grâce à l'épaisseur du matériau (mousse cellulaire dense) et grâce à la «fuite» relativement contrôlée de l'eau vers le microclimat cutané. C'est ce phénomène qui réchauffe cette eau et augmente la température de la peau. Il existe des combinaisons de différentes épaisseurs qui sont plus ou moins isolantes. En profondeur, une combinaison mouillée se comprime et perd donc une grande partie de ses qualités d'isolation.

La combinaison sèche est maintenant ce que l'on utilise couramment pour des températures inférieures à 10 °C. Elle permet de maintenir la température de la peau à des niveaux plus élevés, selon la quantité d'isolation supplémentaire qui est portée sous la combinaison. Il est essentiel que la combinaison ne fuie pas, car même de petites quantités d'eau (0,5 à 1 litre) réduisent fortement

Figure 42.20 • Temps de survie prévus dans des conditions caractéristiques des plates-formes de la mer du Nord



Source: Hayes, 1988.

ses qualités d'isolation. Bien que la combinaison sèche se comprime elle aussi en profondeur, l'air sec continue à pénétrer automatiquement ou manuellement depuis le réservoir du scaphandre pour compenser cette réduction de volume. On peut ainsi conserver une couche d'air chaud d'une certaine épaisseur qui assure une bonne isolation.

Comme on l'a déjà expliqué, la plongée en haute mer exige un chauffage auxiliaire. Le gaz respiré est préchauffé et la combinaison est chauffée par l'afflux de l'eau chaude venant de la surface ou de la cloche à plongeurs. Des techniques de réchauffage plus récentes utilisent des sous-vêtements chauffés électriquement ou des tubes en circuit fermé remplis d'un fluide chaud.

Les mains sont particulièrement sensibles au refroidissement et peuvent nécessiter une protection supplémentaire sous la forme de gants isolants ou chauffants.

*Comment s'exposer au froid sans danger.* Devant la rapidité avec laquelle se développe une hypothermie et le danger d'une mort quasiment immédiate que représente une immersion dans de l'eau froide, il est indispensable de pouvoir établir un certain nombre de conditions auxquelles cette exposition devient sans danger. La figure 42.20 indique les temps de survie à prévoir pour des températures caractéristiques au large de la mer du Nord. Le critère adopté est une baisse de la température du noyau central à 34 °C pour 10% de la population concernée. Ce niveau est appliqué pour une personne consciente et coopérative. Des vêtements appropriés, l'utilisation d'une combinaison sèche double le

temps de survie possible. La courbe la plus basse concerne une personne sans protection immergée dans des vêtements normaux. Dès que les vêtements sont complètement trempés, l'isolation effective est minimale et les temps de survie sont donc très courts (d'après Wissler, 1988).

#### Le travail dans les régions arctiques et subarctiques

Dans les régions arctiques et subarctiques, d'autres problèmes s'ajoutent aux problèmes normaux des environnements froids. La saison froide coïncide avec celle où les nuits sont très longues. Les journées de soleil sont courtes. Ces régions couvrent de vastes zones désertiques ou très peu peuplées telles que le nord du Canada, la Sibérie ou le nord de la Scandinavie. La nature y est inhospitalière. Il faut souvent parcourir de très longues distances, ce qui prend beaucoup de temps. L'association du froid, de l'obscurité et de l'éloignement nécessite des considérations particulières en termes d'organisation du travail, de préparation et d'équipement. Il faut notamment assurer une formation aux techniques de survie et de premiers soins et fournir un équipement approprié accessible sur les lieux de travail.

Pour les personnes qui y travaillent, les régions arctiques présentent de nombreux risques pour la santé, ainsi qu'on l'a vu précédemment. Les risques d'accidents et de lésions sont nombreux, l'abus de drogues est courant, et les facteurs culturels posent des difficultés, de même que le choc entre la culture locale et autochtone et les impératifs du monde industriel occidental moderne. Le motoneige est un exemple typique des risques cumulés auxquels sont exposés leurs conducteurs dans des conditions arctiques (voir ci-dessous). La contrainte thermique froide est considérée comme un des facteurs de risque qui augmente la fréquence de certaines maladies. L'isolement géographique en est un autre qui produit diverses anomalies génétiques dans certaines régions. Les maladies endémiques, notamment les maladies infectieuses, sont plus fréquentes dans certaines zones ou régions. Les personnes qui s'y installent ou les travailleurs qui ne sont là que pour quelque temps risquent aussi de développer diverses réactions psychologiques de stress lorsqu'ils sont confrontés à ce nouvel environnement, à l'éloignement, à la rudesse du climat, à l'isolement et qu'ils prennent conscience de toutes ces difficultés.

Ce type de travail doit donc faire l'objet de mesures spécifiques. Il doit s'effectuer par groupes de trois personnes, afin qu'en cas d'urgence l'une d'elles puisse aller chercher du secours tandis qu'une autre prend soin de la victime d'un accident, par exemple. Les variations saisonnières diurnes et nocturnes, ainsi que de la température doivent être prises en considération et le travail doit être planifié en conséquence. On vérifiera que les travailleurs sont en bonne santé. Le cas échéant, un équipement d'urgence ou de survie devra être prévu. Tous les véhicules, qu'il s'agisse d'automobiles, de camions ou de motoneiges, devront avoir à bord un équipement spécial pour les réparations et les cas d'urgence.

La motoneige constitue un problème professionnel particulier à ces régions. Depuis les années soixante, ce véhicule autrefois assez primitif et de technologie sommaire est devenu aujourd'hui un engin rapide et techniquement très perfectionné. Il sert le plus souvent pour les loisirs, mais aussi pour le travail (10 à 20%). Les professions qui utilisent le plus ces engins sont la police, les militaires, les chasseurs de rennes, les bûcherons, les fermiers, les employés des agences de tourisme, les trappeurs et les équipes de recherche et de sauvetage.

Les vibrations d'une motoneige présentent certains risques supplémentaires pour celui qui la conduit. Conducteur et passagers peuvent inhaler le gaz d'échappement non purifié et le bruit du moteur provoque des pertes auditives. Vu la vitesse qu'elle peut atteindre, les irrégularités du terrain et la protection très insuffisante du conducteur et des passagers, le risque d'accident est élevé.

Le système musculo-squelettique subit de fortes vibrations et le travail implique souvent des postures difficiles et des charges très lourdes, surtout lorsqu'on conduit sur des terrains durs ou en pente. Si l'on est embourbé, le maniement de ce lourd engin induit de la transpiration, ainsi que des problèmes ostéo-musculaires fréquents (lumbago, par exemple).

Les lésions dues au froid sont courantes chez les travailleurs qui conduisent des motoneiges. La vitesse du véhicule aggrave l'exposition au froid. Les parties du corps les plus souvent atteintes sont le visage (et parfois même la cornée), les oreilles, les mains et les pieds.

Les motoneiges sont en général utilisées dans des zones très reculées où la température, le terrain et les autres conditions climatiques accentuent les risques.

Un casque de motoneige à usage professionnel devrait être mis au point, compte tenu des risques spécifiques de ce véhicule, ainsi que des conditions géologiques et climatiques. Les vêtements doivent être chauds, souples, et à l'épreuve du vent. Une seule tenue ne suffit pas pour les différentes activités réalisées à l'aide d'une motoneige et ce fait doit être pris en considération.

L'utilisation des motoneiges dans des zones très éloignées pose également un problème de communication. L'organisation du travail et l'équipement doivent être conçus pour assurer une bonne communication avec la base. Les véhicules doivent avoir à bord tout l'équipement nécessaire pour affronter les situations d'urgence et protéger le personnel pendant toute la durée nécessaire à l'intervention d'une équipe de secours: sacs de couchage, vêtements de rechange, équipement de premiers soins, pelle à neige, trousse d'outils et matériel de cuisine.

## ● LA PRÉVENTION DE LA CONTRAINTE THERMIQUE FROIDE DANS DES CONDITIONS EXTRÊMES

Jacques H.M. Bittel et Gustave Savourey

La prévention des effets physiopathologiques liés à l'exposition au froid doit être abordée sous deux aspects: le premier concerne les effets physiopathologiques observés lors d'une exposition générale au froid, c'est-à-dire du corps entier, et le second, les effets physiopathologiques observés lors d'une exposition locale au froid centrée essentiellement sur les extrémités (mains et pieds). Cette prévention vise à réduire l'incidence des deux accidents majeurs que peut provoquer le froid, à savoir, l'hypothermie accidentelle et les gelures des extrémités et elle fait appel à des procédés physiologiques (alimentation et hydratation adéquates, mise en place de mécanismes adaptatifs, par exemple), à des procédés pharmacologiques et à des procédés technologiques (abri, vêtement). En fin de compte, tous ces moyens visent à augmenter la tolérance au froid aussi bien au niveau général que local. Cependant il faut mentionner le rôle primordial que jouent l'information et la prise de conscience de ces accidents par les personnels exposés au froid pour assurer une prévention efficace.

### Les adaptations physiologiques et la prévention des accidents liés au froid

L'exposition au froid chez l'être humain au repos s'accompagne d'une vasoconstriction périphérique qui limite les pertes thermiques cutanées et d'une production de chaleur métabolique, essentiellement par l'activité de frisson, qui nécessite un apport alimentaire en conséquence. La dépense énergétique de toute activité physique dans le froid est majorée du fait de la pénibilité de la marche dans la neige, sur la glace et de la présence fré-

quente d'équipements lourds. De plus, les pertes hydriques peuvent être importantes en raison de la sudation associée à cette activité physique. En cas de non-compensation de ces pertes hydriques, une déshydratation peut survenir, augmentant la susceptibilité aux gelures. La déshydratation est souvent aggravée par une restriction hydrique volontaire liée aux difficultés de s'hydrater correctement (eau gelée, nécessité de faire fondre la neige), mais aussi pour éviter les mictions fréquentes qui nécessitent une sortie des abris. Les besoins en eau au froid sont difficiles à apprécier, car ils dépendent de la charge de travail de l'individu et de son isolement vestimentaire. Mais, en tout état de cause, les apports hydriques doivent être abondants et réalisés sous forme de boissons chaudes (5 à 6 litres par jour en cas d'activité physique). La surveillance de la couleur des urines, qui doivent rester claires, est un bon indicateur pour le suivi de la prise hydrique.

En ce qui concerne les apports caloriques, on peut estimer qu'une majoration de 25 à 50% en climat froid par rapport à des ambiances tempérées ou chaudes, est nécessaire. La formule de Kark et Johnson permet de prévoir l'apport calorique (en kcal) indispensable à l'équilibre énergétique dans le froid par sujet et par jour:  $\text{kcal/homme} = 4151 - 28,62 T_a$ , où  $T_a$  est la température ambiante en °C (1 kcal = 4,18 joules). Ainsi, pour une  $T_a$  de -20 °C, il faut prévoir environ 4 723 kcal ( $2,0 \times 10^4$  J). La ration alimentaire ne paraît pas devoir être qualitativement modifiée pour éviter tout trouble digestif à type de diarrhée. Par exemple, la «Ration, Cold Weather» (RCW) de l'armée américaine comporte 4 568 kcal ( $1,9 \times 10^4$  J), sous forme déshydratée, par jour et par sujet, et se répartit qualitativement de la façon suivante: 58% de glucides, 11% de protéines et 31% de lipides (Edwards, Roberts et Mutter, 1992). Les aliments déshydratés présentent l'avantage d'être légers, faciles à préparer, mais nécessitent d'être réhydratés avant ingestion.

Dans la mesure du possible, les repas doivent être pris chauds et répartis en petit déjeuner et déjeuner selon une ration normale. Le supplément est apporté par des soupes chaudes, gâteaux secs, barres de céréales grignotées tout au long de la journée et par une augmentation de la ration calorique au dîner. Cette dernière augmente la «thermogenèse d'origine alimentaire» et favorise l'endormissement. La consommation d'alcool est fortement déconseillée en climat froid, car il entraîne une vasodilatation cutanée — source de pertes de chaleur — et augmente la diurèse — source de pertes hydriques — tout en altérant la sensibilité cutanée et le jugement qui sont des facteurs primordiaux intervenant dans la reconnaissance des premiers signes d'atteintes liées au froid. L'excès de consommation de boissons contenant de la caféine est également préjudiciable, car cette substance possède un effet vasoconstricteur périphérique (risque de gelures accru) et des effets diurétiques.

Outre l'alimentation adéquate, la mise en place de mécanismes adaptatifs tant généraux que locaux peut réduire l'incidence des accidents liés au froid et améliorer la performance psychologique et physique en réduisant le stress imposé par un environnement froid. Cependant, il est nécessaire de définir le concept d'*adaptation*, d'*acclimatation* ou d'*habitation* au froid.

Pour Eagan (1963), le terme d'*adaptation au froid* est un terme générique. Cet auteur regroupe sous le concept d'adaptation celui d'adaptation génétique, celui d'acclimatation et celui d'habitation. L'adaptation génétique se rapporte à des modifications physiologiques transmises génétiquement, favorisant la survie dans un environnement hostile. Bligh et Johnson (1973) distinguent l'adaptation génétique et l'adaptation phénotypique. Ces auteurs définissent le concept d'adaptation comme «des modifications réduisant l'astreinte physiologique développée par un facteur contraignant de l'environnement global».

L'*acclimatation* peut se définir comme une compensation fonctionnelle qui s'établit sur une période de quelques jours à quel-

ques semaines en réponse soit à des facteurs d'ambiance complexes comme les variations climatiques en milieu naturel — c'est l'acclimatation naturelle ou «acclimatization» des auteurs anglo-saxons—, soit à un facteur d'ambiance unique comme en laboratoire — c'est l'acclimatation artificielle ou «acclimation» des auteurs anglo-saxons (Eagan, 1963).

*L'habituation*, quant à elle, traduit un changement dans les réponses physiologiques résultant d'une diminution des réponses du système nerveux central à certains stimuli (Eagan, 1963). Cette habitude peut être spécifique ou générale. L'habituation spécifique est l'accoutumance d'une région déterminée du corps à un stimulus répété, alors que l'habituation générale est l'accoutumance du corps entier à un stimulus répété. L'adaptation générale et locale au froid est généralement acquise au travers de l'habituation.

Tant en laboratoire qu'en milieu naturel, différents types d'adaptation générale au froid sont observés. Hammel (1963) a établi une classification de ces différents types adaptatifs. L'adaptation de type métabolique se traduit par le maintien de la température interne combiné à une plus grande production de chaleur métabolique, comme chez les Alacalufs de la Terre de Feu ou les Indiens de l'Arctique. L'adaptation de type isolatif se traduit également par le maintien de la température interne, mais avec diminution de la température cutanée moyenne (Aborigènes de la côte tropicale de l'Australie). L'adaptation de type hypothermique se traduit par une chute plus ou moins importante de la température interne (peuplade du désert du Kalahari, Indiens Quechua du Pérou, J.L. Etienne après son raid au pôle Nord en solitaire) et, enfin, l'adaptation de type mixte isolatif et hypothermique (Aborigènes de l'Australie centrale, Lapons, plongeurs coréennes Amas).

En réalité, cette classification ne présente qu'un caractère qualitatif et ne prend pas en compte tous les termes du bilan thermique. C'est pourquoi nous avons récemment proposé une classification non seulement qualitative, mais aussi quantitative, (voir tableau 42.21). La modification des températures corporelles ne permet pas à elle seule de définir l'existence d'une adaptation générale au froid. En effet, la modification du délai du déclenchement du frisson est un bon reflet de la sensibilité du système thermorégulateur. La diminution de la dette thermique a également été proposée par Bittel comme un indice d'adaptation au froid. Cet auteur a également montré l'importance de la ration calorique dans le développement des mécanismes adaptatifs au

cours de l'expédition en solitaire de J.L. Etienne. Cette observation a été confirmée en laboratoire: des sujets acclimatés au froid en laboratoire à 1 °C pendant 1 mois de façon discontinue développent une adaptation de type hypothermique (Savourey et coll., 1994, 1996). L'hypothermie est en relation directe avec la diminution du pourcentage de masse grasse corporelle. Le niveau d'aptitude physique aérobie ( $VO_{2max}$ ) ne semble pas intervenir dans le développement de ce type d'adaptation au froid (Bittel et coll., 1988; Savourey, Vallerand et Bittel, 1992). L'adaptation de type hypothermique apparaît la plus avantageuse, car elle préserve les réserves énergétiques en retardant l'apparition du frisson, sans toutefois que l'hypothermie ne soit dangereuse (Bittel et coll., 1989). Des travaux récents conduits en laboratoire ont montré qu'il était possible d'induire ce type adaptatif en soumettant des sujets à des immersions localisées des membres inférieurs dans l'eau glacée de façon intermittente. Ce type d'acclimatation a été développé par ailleurs un «syndrome polaire de la tri-iodothyronine» décrit par Reed et coll. (1990) chez des sujets ayant séjourné de longues périodes en zone polaire. Ce syndrome complexe est encore imparfaitement compris et se traduit principalement par une diminution du pool de la tri-iodothyronine totale tant à la neutralité thermique qu'au cours d'une exposition aiguë au froid. La relation entre ce syndrome et l'adaptation de type hypothermique reste toutefois à préciser (Savourey et coll., 1996).

L'adaptation locale des extrémités est bien documentée (LeBlanc, 1975). Celle-ci a été étudiée aussi bien chez des peuplades ou des groupes professionnels naturellement exposés au froid au niveau des extrémités (les Esquimaux, les Lapons, les pêcheurs de l'île de Gaspé, les préposés au filetage du poisson en Angleterre, les postiers du Québec), que chez des sujets artificiellement adaptés en laboratoire. Toutes ces études ont montré que cette adaptation se traduit par des températures cutanées plus élevées, une douleur moindre, une vasodilatation paradoxale plus précoce et survenant pour des températures cutanées plus élevées, permettant ainsi la prévention des gelures. Ces modifications sont essentiellement liées à une augmentation du flux sanguin cutané et non à une production de chaleur locale au niveau musculaire comme nous l'avons montré (Savourey, Vallerand et Bittel, 1992). L'immersion des extrémités plusieurs fois par jour dans de l'eau froide (5 °C) pendant plusieurs semaines est suffisante pour induire la mise en place de ces mécanismes adaptatifs locaux. Par contre, peu de données scientifiques existent en ce qui concerne la rémanence de ces différents types d'adaptation.

Tableau 42.21 • Mécanismes généraux d'adaptation au froid étudiés pendant un test au froid standard effectué avant et après une période d'adaptation

Mesure	Utilisation de la mesure comme indicateur d'adaptation	Variation de l'indicateur	Type d'adaptation
Température rectale $t_{re}$ (°C)	Différence entre $t_{re}$ à la fin de l'essai au froid et $t_{re}$ à la neutralité thermique après l'acclimatation	+ ou = -	Normothermie Hypothermie
Température moyenne de la peau $\bar{t}_{sk}$ (°C)	$\bar{t}_{sk}$ °C après/ $\bar{t}_{sk}$ °C avant, où $\bar{t}_{sk}$ est le niveau à la fin de l'essai au froid	<1 =1 >1	Isolation Iso-isolation Hypo-isolation
Métabolisme moyen $M$ (W/m <sup>2</sup> )	Rapport entre $\bar{M}$ après acclimatation et $M$ avant acclimatation	<1 = >1	Métabolique Isométabolique Hypométabolique

**Les procédés pharmacologiques de prévention des accidents liés au froid**

L'emploi de drogues pour augmenter la tolérance au froid a fait l'objet d'un certain nombre de recherches récentes. La tolérance générale au froid peut être augmentée en favorisant la thermogénèse par des drogues. En effet, chez l'humain, il est démontré que l'activité de frisson s'accompagne notamment d'une augmentation de l'oxydation des hydrates de carbone en relation avec une consommation accrue de glycogène musculaire (Martineau et Jacobs, 1988). Les composés méthylxantiniques exercent leurs effets en stimulant le système sympathique, tout comme le froid, et accroissent donc l'oxydation des hydrates de carbone. Cependant, Wang, Man et Belcastro (1987) ont montré que la théophylline était inefficace pour prévenir la chute des températures corporelles chez l'être humain au repos au froid. Par contre, l'association caféine/éphédrine permet un meilleur maintien de la température interne dans les mêmes conditions (Vallerand, Jacobs et Kavanagh, 1989), alors que l'ingestion de caféine seule ne modifie ni les températures corporelles ni la réponse métabolique (Kenneth et coll., 1990). La prévention pharmacologique des effets liés au froid au niveau général est encore du domaine de la recherche. Au niveau local, peu d'études ont été conduites pour prévenir

pharmacologiquement l'apparition des gelures. À l'aide d'un modèle animal pour les gelures, un certain nombre de drogues ont été testées. Les antiagrégants plaquettaires, les corticoïdes, mais aussi d'autres produits, présenteraient un rôle protecteur à condition d'être administrés avant la période de réchauffement. À notre connaissance, aucune étude n'a été entreprise sur ce sujet chez l'humain.

### La prévention technique des accidents liés au froid

Ces procédés représentent l'élément primordial de prévention des accidents liés au froid et, sans leur apport, l'humain serait incapable de vivre dans les zones climatiques froides. La construction d'abris, l'utilisation de sources de chaleur, mais aussi le recours aux vêtements permettent à l'être humain, en créant autour de lui un microclimat favorable, de vivre dans des contrées très froides. Cependant, ces moyens qu'offre la civilisation ne sont pas toujours disponibles (expéditions militaires et civiles, naufragés, blessés, vagabonds, victimes d'avalanches, etc.), laissant ces gens particulièrement exposés aux accidents dus au froid.

### La préparation au travail dans le froid

Le problème de la mise en condition pour le travail dans le froid concerne plus particulièrement les personnes qui ne sont pas habituées à travailler dans ces conditions ou qui viennent de zones climatiques tempérées. Il est primordial de les informer sur les lésions que le froid peut provoquer, mais aussi sur les comportements à adopter dans de telles circonstances. Toute personne amenée à travailler en zone froide devrait connaître les premiers signes de lésions, notamment locales (coloration de la peau, douleurs). La façon de se vêtir est capitale: plusieurs couches de vêtements permettent d'ajuster l'isolement vestimentaire à la dépense énergétique et à la contrainte extérieure. Les vêtements humides (pluie, sueur) doivent être séchés. Une attention particulière doit être accordée à la protection des mains et des pieds (pas de bandages serrés, protection suffisante, changement deux à trois fois par jour à cause de la sueur). Le contact direct avec tout objet métallique froid est à éviter (risques de gelures immédiates). Les vêtements doivent être garantis contre le froid et essayés avant toute exposition au froid. Les règles alimentaires devraient être rappelées (ration calorique, hydratation) et l'abus d'alcool, de caféine ou de nicotine interdit. Les équipements annexes (abris, tentes, sacs de couchage) devraient être vérifiés. Il importe d'éliminer la condensation dans les tentes et les sacs de couchage afin d'éviter la formation de glace. Les travailleurs devraient s'abstenir de souffler dans leurs gants pour les réchauffer afin d'éviter là encore que de la glace ne se forme. Enfin, certaines mesures peuvent améliorer l'aptitude physique des intéressés. Un bon niveau d'aptitude physique aérobique favorise une thermogénèse plus importante aux froids sévères (Bittel, 1987) et accroît l'endurance physique, ce qui est souhaitable du fait du coût énergétique accru qu'impliquent des activités physiques à effectuer dans le froid.

Les personnes d'un certain âge devraient faire l'objet d'une attention particulière car, plus que les jeunes, elles sont sujettes à des lésions liées au froid étant donné leur moindre résistance vasculaire. Une fatigue excessive, la sédentarité augmentent les risques d'accident. Les personnes ayant certains antécédents médicaux (urticaire au froid, syndrome de Raynaud, angine de poitrine, gelures) devront éviter l'exposition au froid sévère. Certaines recommandations complémentaires peuvent être utiles: protéger la peau exposée au rayonnement solaire, protéger les lèvres par des crèmes spéciales et protéger les yeux par des lunettes de soleil conçues pour filtrer les rayons ultraviolets.

Enfin, en cas de problème, il est conseillé aux personnes travaillant au froid de rester calmes, de ne pas s'isoler des autres et de conserver leur chaleur en creusant un trou et en s'y serrant les unes contre les autres. Il faut veiller à l'approvisionnement en

vivres et posséder des moyens pour déclencher les secours: radio, fusées de détresse, miroirs, etc. En cas de risques d'immersion dans l'eau froide, des canots de sauvetage seront prévus, ainsi que des équipements assurant une bonne étanchéité et un bon isolement thermique. En cas de naufrage sans canot de sauvetage, la personne essaiera de limiter ses pertes thermiques au maximum en se hissant sur des débris, en se recroquevillant et en nageant modérément, avec le torse hors de l'eau si possible, car la convection créée par la nage augmente de façon importante les pertes thermiques. La consommation d'eau de mer est néfaste du fait de sa salinité élevée.

### Les modifications des tâches dans le froid

En zone froide, le travail à effectuer se trouve profondément modifié. Le poids des vêtements, le port de charges (tentes, alimentation, etc.), et les difficultés du terrain augmentent le coût énergétique qu'impliquent les activités physiques. Les mouvements, la coordination et la dextérité manuelle sont gênés par les vêtements et le champ visuel est souvent réduit par le port de lunettes. De plus, quand la température de l'air sec est inférieure à  $-18^{\circ}\text{C}$  ou que le vent souffle, la perception du relief est altérée et réduite à 6 m. La vision peut être nulle en cas de chute de neige ou de brouillard. Le port de gants rend difficiles les tâches nécessitant un travail fin. Du fait de la condensation, les outils sont souvent chargés de glace et leur préhension à mains nues représente un risque certain de gelures. La structure physique des vêtements se modifie dans les froids extrêmes et la glace, du fait du gel dû à la condensation, bloque souvent les fermetures éclair. Les carburants doivent être préservés du gel par des produits antigel.

On peut faciliter le travail en climat froid par le port de plusieurs couches de vêtements; par une protection adéquate des extrémités; en luttant contre la condensation dans les vêtements, sur les outils, dans les tentes; et en allant régulièrement se réchauffer dans un abri chauffé. Le travail doit être subdivisé en plusieurs séries de tâches simples, si possible réparties entre deux équipes; l'une travaillant pendant que l'autre se réchauffe. Il faut éviter l'inactivité dans le froid, ainsi que le travail isolé, en dehors des voies de passage normales. Une personne compétente peut être chargée de la protection des travailleurs et de la prévention des accidents.

En conclusion, une bonne information sur les lésions liées au froid, la connaissance du milieu, une préparation suffisante (bonne forme physique, régime alimentaire adéquat, induction de mécanismes adaptatifs), un équipement vestimentaire adapté et une répartition des tâches convenable devraient suffire à prévenir les lésions liées au froid. En cas d'accident, un traitement immédiat grâce à des secours rapides permettra d'éviter le pire.

### Les vêtements de protection: vêtements étanches

Le port de vêtements étanches est destiné à protéger les intéressés contre les immersions accidentelles; il concerne donc tous les personnels susceptibles d'être victimes de tels accidents (marins, pilotes d'avion), mais aussi les personnels qui travaillent dans l'eau froide (plongeurs professionnels). Le tableau 42.22, extrait de l'*Oceanographic Atlas of the North American Ocean* montre que, même en mer Méditerranée occidentale, la température de l'eau ne dépasse que rarement les  $15^{\circ}\text{C}$ . À cette température, la durée de survie pour un humain vêtu et muni d'un gilet de sauvetage, mais sans équipement de protection anti-immersion a été estimée par Saunders (1962) à 1 heure et demie en mer Baltique et à 6 heures en mer Méditerranée au mois de janvier, alors qu'en août, cette survie est de 12 heures en mer Baltique et qu'elle n'est limitée que par l'épuisement du sujet en mer Méditerranée à la même période. Le port d'un équipement de protection est donc impératif pour les personnels particulièrement exposés qui ne peuvent espérer des secours immédiats.

Tableau 42.22 • Moyenne mensuelle et annuelle du nombre de jours où la température de l'eau est inférieure à 15 °C

Mois	Ouest de la Baltique	Frise septentrionale	Océan Atlantique (large de Brest)	Ouest de la Méditerranée
Janvier	31	31	31	31
Février	28	28	28	28
Mars	31	31	31	31
Avril	30	30	30	26 à 30
Mai	31	31	31	8
Juin	25	25	25	occasionnel
Juillet	4	6	occasionnel	occasionnel
Août	4	occasionnel	occasionnel	
Septembre	19	3	occasionnel	occasionnel
Octobre	31	22	20	2
Novembre	30	30	30	30
Décembre	31	31	31	31
Total	295	268	257	187

La réalisation de tels équipements est complexe, car elle implique des exigences multiples et parfois contradictoires. Ces contraintes sont notamment que: 1) la protection thermique doit être efficace aussi bien dans l'eau que dans l'air sans gêner l'évaporation sudorale; 2) le sujet doit être maintenu à la surface de l'eau; et 3) les tâches à effectuer. En outre, ces équipements doivent être conçus en fonction du risque encouru, ce qui nécessite une parfaite définition des besoins prévisibles: ambiances thermiques (température de l'eau, air, vent), durée de la protection nécessaire avant l'arrivée des secours, présence ou non d'un canot de sauvetage, par exemple. Les caractéristiques isolantes du vêtement dépendent des matériaux utilisés, de la géométrie du corps, de la compressibilité des tissus de protection (qui conditionne l'épaisseur de la couche d'air emprisonnée dans le vêtement du fait de la pression que l'eau peut exercer) et de l'humidité qu'il peut contenir. La présence d'humidité dans ce type de vêtement dépend essentiellement de son étanchéité. Lorsqu'on évalue ces équipements, il convient de considérer l'efficacité de la protection thermique dans l'eau, mais aussi dans l'air froid, d'estimer le temps de survie probable en fonction de la température de l'eau et de l'air, et d'apprécier la contrainte thermique et la gêne mécanique éventuelle (Boutelier, 1979). Enfin, des tests d'étanchéité pratiqués sur le sujet en mouvement devraient permettre de déceler d'éventuels défauts en la matière. En fin de compte, les équipements anti-immersion doivent répondre aux trois impératifs suivants:

- assurer une protection thermique efficace dans l'eau et dans l'air;
- être confortables;
- ne pas être encombrants ni trop lourds.

Pour satisfaire ces exigences, deux solutions sont possibles: soit on emploie un matériau qui n'est pas étanche, mais qui conserve ses propriétés isolantes dans l'eau (c'est le cas des vêtements dits «humides»), soit on assure une étanchéité totale grâce à des matériaux qui, en plus, sont isolants (vêtements dits «secs»). A l'heure actuelle, la méthode du vêtement humide tend à disparaître, no-

tamment dans l'aviation. Au cours des dix dernières années, l'Organisation maritime internationale (OMI) a préconisé l'emploi de combinaisons anti-immersion ou de survie répondant aux critères de la convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS), conclue à Londres en 1974. Ces critères concernent en particulier l'isolation, la notion d'infiltration minimale d'eau dans la combinaison, la taille de la combinaison, sa conception ergonomique, sa compatibilité avec les aides à la flottaison et les procédures de mise à l'essai. Ces critères posent cependant un certain nombre de problèmes d'application (définition des tests à effectuer, notamment).

Bien qu'elles datent de fort longtemps, puisque les Esquimaux en utilisaient sous forme de peaux de phoque ou de boyaux de phoque cousus ensemble, les combinaisons anti-immersion sont difficiles à concevoir et les critères de normalisation en la matière vont sans doute être révisés ces prochaines années.

## LES INDICES ET LES NORMES RELATIFS AU FROID

*Ingvor Holmér*

On entend par contrainte thermique froide toute astreinte thermique exercée sur le corps qui provoque une déperdition de chaleur supérieure à la normale et nécessite des actions thermorégulatrices compensatoires pour permettre au corps de conserver sa neutralité thermique. On considère par conséquent comme des déperditions de chaleur normales celles que toute personne subit normalement lorsqu'elle est sous abri (température de l'air entre 20 et 25 °C).

Dans le froid, à l'inverse des environnements chauds, vêtements et activité sont des facteurs positifs en ce sens que plus il y a de vêtements, plus la déperdition de chaleur est faible, et plus l'activité est intense, plus la production de chaleur interne est élevée et plus le potentiel de compensation de la déperdition thermique est grand. Aussi, les méthodes d'évaluation s'attachent-elles à déterminer quelle protection est requise (vêtements) en fonction du niveau d'activité, ou quels sont les niveaux d'activité nécessaires pour une protection donnée, ou encore quels niveaux de «température» sont souhaitables selon les différentes combinaisons de ces deux facteurs (Burton et Edholm, 1955; Holmér, 1988; Parsons, 1993).

Il faut bien admettre, cependant, qu'il y a des limites à la quantité de vêtements que l'on peut porter et au niveau d'activité que l'on peut soutenir sur une longue période. Les vêtements qui protègent du froid sont souvent volumineux et gênants. Ils demandent davantage d'espace pour bouger et se déplacer. Le niveau d'activité peut être déterminé par la cadence de travail, mais il est préférable qu'il soit contrôlé par l'individu. A chaque individu, correspond un niveau d'énergie maximal qu'il peut maintenir sur une longue période. Ce niveau est fonction de sa capacité de travail physique. Une forte capacité de travail physique peut être un avantage en cas d'exposition prolongée à un froid extrême.

Le présent article traite des méthodes d'évaluation et de régulation de la contrainte thermique froide. Les problèmes liés aux aspects organisationnels, psychologiques, médicaux et ergonomiques sont abordés ailleurs.

### Le travail au froid

Le travail au froid englobe toute une série de conditions, naturelles ou artificielles. L'exposition au froid le plus extrême est celle des missions spatiales. Cependant, sur terre, les conditions de travail dans le froid recouvrent toute une gamme de températures allant au-delà de -100 °C (voir tableau 42.23). Naturellement,

Tableau 42.23 • Température de l'air dans différents environnements professionnels froids

-120 °C	Chambre climatique pour la cryothérapie humaine
-90 °C	Température la plus basse à la base polaire de Vostok au pôle Sud
-55 °C	Stockage réfrigéré du poisson et production de produits surgelés, séchés
-40 °C	Température «normale» à la base polaire
-28 °C	Stockage réfrigéré des produits surgelés
+2 à +12 °C	Stockage, préparation et transport des produits alimentaires frais
-50 à -20 °C	Température moyenne en janvier dans le nord du Canada et en Sibérie
-20 à -10 °C	Température moyenne en janvier dans le sud du Canada, dans le nord de la Scandinavie et en Russie centrale
-10 à 0 °C	Température moyenne en janvier dans le nord des Etats-Unis, dans le sud de la Scandinavie, en Europe centrale, dans des régions de l'Extrême-Orient et du Moyen-Orient, et dans le nord du Japon

Source: d'après Holmér, 1993.

l'amplitude et la sévérité de la contrainte thermique froide ne font qu'augmenter à mesure que la température ambiante diminue.

Le tableau 42.23 montre clairement que dans de nombreux pays de vastes populations de travailleurs occupés au dehors sont soumises à des contraintes thermiques froides plus ou moins intenses.

Par ailleurs, dans le monde entier, on travaille dans des chambres froides. Des études effectuées dans les pays scandinaves montrent que le froid est un facteur de gêne important dans le travail pour près de 10% de la population active.

### Les contraintes thermiques froides

On distingue plusieurs types de contraintes thermiques froides:

- celles qui entraînent un refroidissement de l'ensemble du corps;
- celles qui ne causent qu'un refroidissement local, notamment le refroidissement des extrémités, le refroidissement de la peau par convection («Wind Chill») et par conduction (refroidissement par contact) et le refroidissement des voies respiratoires.

La plupart du temps, les travailleurs sont soumis à plusieurs de ces refroidissements, si ce n'est à tous en même temps.

On dira qu'il y a contrainte thermique froide lorsqu'on peut prouver qu'il y a un risque que l'un ou l'autre de ces effets se produise. Le tableau 42.24 en permet une première classification sommaire. En général, plus le niveau d'activité physique est faible et moins il y a de protection, plus la contrainte thermique froide est forte.

Les données figurant dans ce tableau doivent être interprétées comme un signal appelant une action. En d'autres termes, il importe d'évaluer le type de problème provoqué par le froid et, le cas échéant, de le maîtriser. A température modérée, ce sont plutôt des problèmes d'inconfort et de diminution fonctionnelle qui se posent par suite d'un refroidissement localisé. A des températures plus basses, c'est le risque imminent de lésions dues au froid en tant que séquelle des autres effets qui est le facteur déterminant. Pour une grande partie de ces effets, il n'y a pas de relation directe entre l'intensité de la contrainte et l'effet lui-

Tableau 42.24 • Classification schématique du travail au froid

Température	Type de travail	Type de contrainte froide
de 10 à 20 °C	Travail sédentaire, facile Travail manuel précis	Refroidissement de tout le corps, refroidissement des extrémités
de 0 à 10 °C	Travail sédentaire et stationnaire, facile	Refroidissement de tout le corps, refroidissement des extrémités
de -10 à 0 °C	Travail physique léger, manipulation d'outils et de matériaux	Refroidissement de tout le corps, refroidissement des extrémités, refroidissement par contact
de -20 à -10 °C	Activité modérée, manipulation de métaux et de fluides (pétrole, etc.)	Refroidissement de tout le corps, refroidissement des extrémités, refroidissement par contact, refroidissement par convection
Au-dessous de -20 °C	Tous types de travaux confondus	Tous types de contrainte froide

même. On ne peut pas exclure qu'un problème particulier lié au froid puisse exister aussi en dehors de la gamme des températures figurant dans le tableau.

### Les méthodes d'évaluation

Les méthodes d'évaluation des contraintes thermiques froides sont présentées dans la norme ISO 11079 (ISO, 1993b). D'autres normes concernant la détermination de la production de chaleur métabolique, ISO 8996 (ISO, 1990), l'estimation des caractéristiques thermiques des vêtements, ISO 9920 (ISO, 1995) et les mesures physiologiques, ISO, 9886 (ISO, 1992) fournissent des informations complémentaires qui sont utiles pour évaluer la contrainte thermique froide.

La figure 42.21 souligne les relations entre les facteurs climatiques, les effets prévisibles du refroidissement et la méthode d'évaluation conseillée. On trouvera ci-dessous de plus amples détails sur les méthodes et sur la compilation des données.

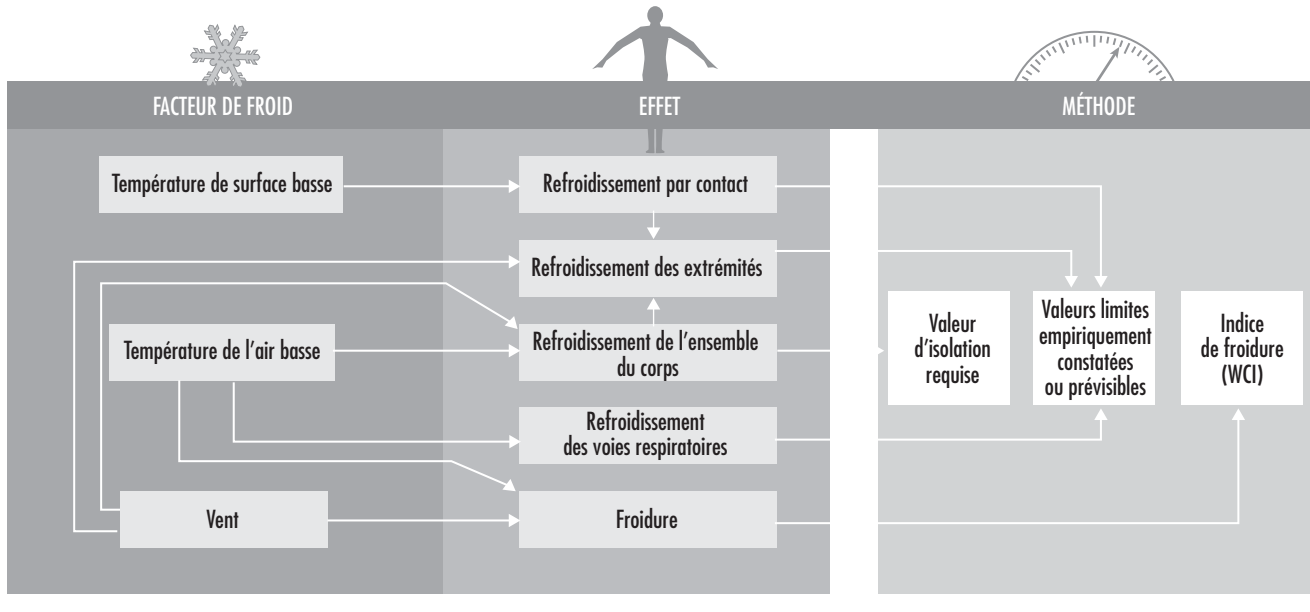
### Le refroidissement de l'ensemble du corps

On détermine le risque de refroidissement de l'ensemble du corps en analysant les conditions de l'équilibre thermique du corps. Le niveau d'isolation des vêtements nécessaire à l'équilibre thermique pour divers niveaux d'astreintes physiologiques est calculé à l'aide d'une équation mathématique d'équilibre thermique. La valeur calculée d'isolation requise, IREQ, peut être considérée comme un indice de contrainte thermique froide. Cette valeur indique un niveau de protection (exprimé en clo). Plus la valeur est élevée, plus le risque de déséquilibre thermique du corps est grand. Les deux niveaux d'astreinte correspondent à un niveau bas (sensation neutre, ou sensation de confort), et à un niveau élevé (sensation de froid léger à sensation de froid).

L'utilisation de l'IREQ comprend trois étapes d'évaluation:

- détermination de l'IREQ pour des conditions d'exposition données;
- comparaison de l'IREQ avec un niveau de protection fourni par les vêtements;
- détermination du temps d'exposition si le niveau de protection a une valeur inférieure à l'IREQ.

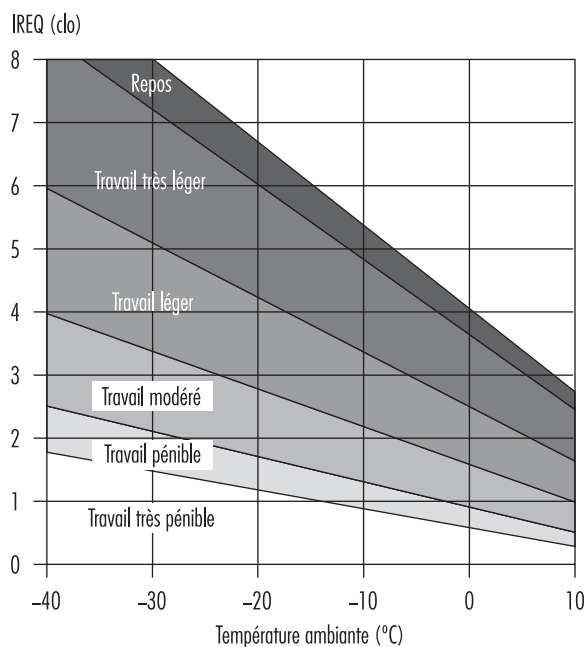
Figure 42.21 • Evaluation de la contrainte thermique froide en fonction de facteurs climatiques et des effets du refroidissement



La figure 42.22 donne les valeurs IREQ pour une faible astreinte physiologique (sensation thermique neutre). Ces valeurs sont données pour différents niveaux d'activité.

La norme ISO 7243 (voir tableau 42.25) décrit des méthodes d'estimation des niveaux d'activité.

Figure 42.22 • Valeurs IREQ nécessaires pour conserver un faible niveau d'astreinte physiologique (sensation thermique neutre) à différentes températures



Une fois l'IREQ déterminé pour des conditions données, on en compare la valeur avec le niveau de protection offert par les vêtements. Le niveau de protection d'une tenue complète est déterminé par sa valeur d'isolement («valeur clo»). Cette propriété est mesurée suivant le projet de norme européenne prEN-342 (CEN, 1992). On peut aussi la déduire des valeurs d'isolement de base qui figurent dans les tableaux de la norme ISO 9920 (ISO, 1995).

Le tableau 42.26 donne des exemples de valeurs d'isolement de base pour des tenues types. Ces valeurs sont à corriger en fonction des réductions que l'on peut attendre de l'aération. Normalement, on ne procède à aucune correction pour le niveau repos. Les valeurs sont réduites de 10% pour un travail léger et de 20% pour des niveaux d'activité supérieurs.

Le niveau de protection fourni par les tenues les plus performantes actuelles correspond à 3 et 4 clo. Lorsque la tenue ne fournit pas un isolement suffisant, on calcule une durée limite d'exposition pour les conditions réelles. Cette durée limite d'exposition dépend de la différence entre l'isolement requis des vêtements et celui des vêtements réellement portés. Puisqu'il n'y a plus protection parfaite contre le refroidissement, la durée limite d'exposition est calculée sur la base de la diminution anticipée du contenu calorifique du corps.

La figure 42.23 donne des exemples de durées limites pour un travail facile et modéré et pour deux niveaux d'isolement des vêtements. Les limites de temps pour d'autres combinaisons pourront être estimées par extrapolation. La figure 42.24 peut servir de guide pour évaluer la durée d'exposition lorsqu'on dispose des vêtements de protection contre le froid les plus performants.

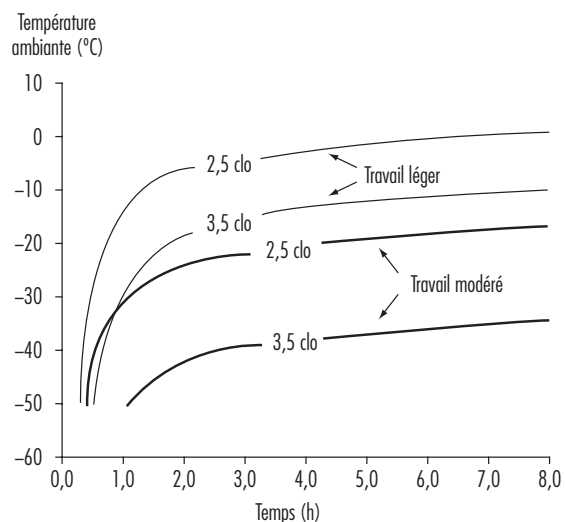
On entend par exposition intermittente les périodes de travail interrompues par des pauses pour se réchauffer, ou par des périodes de travail dans un environnement plus chaud. La plupart du temps, on ne change pas de vêtements ou on en change peu (pour des raisons essentiellement pratiques). On peut alors calculer l'IREQ pour une exposition combinée en moyenne pondérée en fonction du temps. La durée moyenne ne devrait pas dépasser 1 à 2 heures. Les valeurs IREQ pondérées pour certains types d'exposition intermittente sont indiquées à la figure 42.24.

Tableau 42.25 • Classification des niveaux de métabolismes énergétiques

Catégorie	Gamme de métabolisme, <i>M</i>		Valeur à utiliser pour le calcul du métabolisme moyen		Exemples
	Lié à une unité de surface de peau (W/m <sup>2</sup> )	Pour une surface de peau de 1,8 m <sup>2</sup> (W)	(W/m <sup>2</sup> )	(W)	
0 Repos	$M \leq 65$	$M \leq 117$	65	117	Repos
1 Métabolisme faible	$65 < M \leq 130$	$117 < M \leq 234$	100	180	Assis confortablement: travail manuel léger (écriture à la main ou à la machine, dessin, couture, comptabilité); travail de la main et du bras (petits outils d'établi, inspection, assemblage et triage de matériaux légers); travail du bras et de la jambe (conduite de véhicules dans des conditions normales, actionnement de pédales ou de boutons avec le pied) Debout: foret (petites pièces); fraiseuse (petites pièces); bobinage de rouleaux; enroulement d'enduit; usinage avec outils de faible puissance; marche décontractée (jusqu'à 3,5 km/h)
2 Métabolisme modéré	$130 < M \leq 200$	$234 < M \leq 360$	165	297	Travail de la main et du pied (cloutage, remplissage); travail de la main et de la jambe (conduite de camions, tracteurs ou engins de terrassement en dehors des routes); travail du bras et du tronc (travail avec un marteau pneumatique, conduite de tracteurs articulés, plâtrage, maniement intermittent de matériaux moyennement lourds, désherbage, binage, cueillette de fruits ou de légumes); pousser ou tirer des chariots légers ou des brouettes; marche à une vitesse de 3,5 km/h; forge)
3 Métabolisme élevé	$200 < M \leq 260$	$360 < M \leq 468$	230	414	Travail intense du bras et du tronc: port de matériaux lourds; pelletage; travail avec un marteau pilon; sciage, rabotage ou ciselage de bois dur; tonte manuelle; bêchage; marche à une vitesse de 5,5 km/h à 7 km/h Pousser ou tirer des chariots manuels ou des brouettes lourdement chargés; taille de pièces coulées; pose de blocs de béton
4 Métabolisme très élevé	$M > 260$	$M > 468$	290	522	Activité très intense à une cadence rapide à maximale; travail avec une hache; pelletage ou bêchage intense; monter les escaliers, une rampe ou une échelle; marche rapide à petits pas, course à pied, marche à une vitesse supérieure à 7 km/h

Source: ISO, 1989a.

Figure 42.23 • Durées limites d'exposition pour des travaux légers ou modérés avec vêtements à deux niveaux d'isolement



Les valeurs IREQ et les durées limites doivent être indicatives plutôt que normatives. Elles se réfèrent à une personne moyenne. Les variations individuelles en termes de caractéristiques, d'exigences et de préférences sont importantes. Une grande partie de ces variations seront prises en compte en choisissant des ensembles de vêtements qui offrent une grande souplesse d'adaptation quant au niveau de protection, par exemple.

**Le refroidissement des extrémités**

Les extrémités, et en particulier les doigts et les orteils, sont sensibles au refroidissement. Lorsqu'on ne peut maintenir un apport de chaleur suffisant par la chaleur du sang, la température des tissus diminue progressivement. Le flux du sang des extrémités est déterminé par les besoins énergétiques (nécessaires à l'activité des muscles) et thermorégulateurs. Lorsque l'équilibre thermique de l'ensemble du corps est menacé, la vasoconstriction périphérique contribue à réduire les pertes de chaleur du noyau central aux dépens des tissus périphériques. En cas de forte activité, on dispose de davantage de chaleur, et le flux sanguin des extrémités peut être maintenu plus facilement.

Les gants et les chaussures n'offrent qu'une protection limitée pour ce qui est de la réduction des pertes de chaleur. Lorsque l'apport de chaleur vers les extrémités est faible (par exemple, au repos ou en cas de faible activité), un très bon isolement est

42. LA CHALEUR ET LE FROID

Tableau 42.26 • Exemples de valeurs d'isolation de base (Icl) de vêtements\*

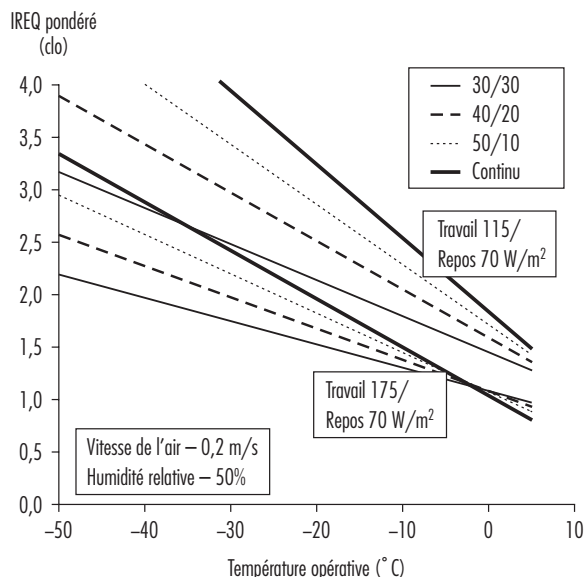
Tenues complètes	I <sub>cl</sub> (m <sup>2</sup> °C/W)	I <sub>cl</sub> (clo)
Slip, chemise à manches courtes, pantalon ajusté, chaussettes à mi-mollet, chaussures	0,08	0,5
Caleçon, chemise, pantalon ajusté, chaussettes, chaussures	0,10	0,6
Caleçon, bleu de travail, chaussettes, chaussures	0,11	0,7
Caleçon, chemise, bleu de travail, chaussettes, chaussures	0,13	0,8
Caleçon, chemise, pantalon, blouse, chaussettes, chaussures	0,14	0,9
Slip, maillot, combinaison, chemise, bleu de travail, chaussettes à mi-mollet, chaussures	0,16	1,0
Maillot, caleçon, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures	0,17	1,1
Slip, chemise, pantalon, veste, bleu de travail, chaussettes, chaussures	0,19	1,3
Caleçon, maillot, pantalon isolant, veste isolante, chaussettes, chaussures	0,22	1,4
Slip, maillot, chemise, pantalon ajusté, bleu de travail isolant, chaussettes à mi-mollet, chaussures	0,23	1,5
Caleçon, maillot, chemise, pantalon, veste, surveste, chaussettes, chaussures, chapeau, gants	0,25	1,6
Maillot, caleçon, chemise, pantalon, veste, surpantalon, surveste, chaussettes, chaussures	0,29	1,9
Maillot, caleçon, chemise, pantalon, veste, surpantalon, surveste, chaussettes, chaussures, chapeau, gants	0,31	2,0
Maillot, caleçon, pantalon isolant, veste isolante, surpantalon et surveste, chaussettes, mitaines	0,34	2,2
Maillot, caleçon, pantalon isolant, veste isolante, surpantalon, chaussettes, chaussures, chapeau, gants	0,40	2,6
Maillot, caleçon, pantalon isolant, veste isolante, surpantalon et parka avec doublure, chaussettes, chaussures, chapeau, mitaines	0,40-0,52	2,6-3,4
Tenue conçue pour l'Arctique	0,46-0,70	3-4,5
Sac de couchage	0,46-1,1	3-8

\* Le niveau de protection nominal ne s'applique qu'aux conditions statiques, sans vent (repos). Les valeurs doivent être réduites à mesure que le niveau d'activité augmente. Source: d'après la norme ISO 11079 (ISO, 1993b).

nécessaire pour que les mains et les pieds restent chauds (van Dilla, Day et Siple, 1949). La protection qu'offrent les gants et les moufles ne fait que retarder le refroidissement et, par conséquent,

il faudra également plus de temps pour atteindre la température critique. Pour des niveaux d'activité plus élevés, le fait d'être mieux protégé permet de conserver des pieds et des mains chauds à des températures ambiantes plus basses.

Figure 42.24 • Valeurs IREQ pondérées en fonction du temps pour une exposition intermittente ou continue au froid



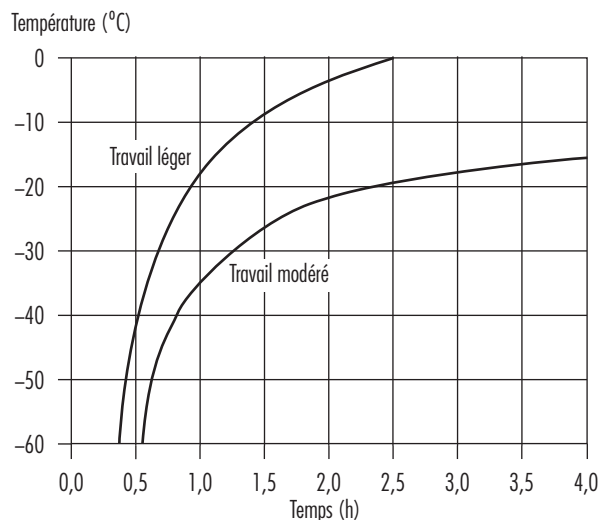
Il n'existe aucune méthode standard pour évaluer le refroidissement des extrémités. Cependant, la norme ISO 11079 (ISO, 1993b) considère que 24 °C et 15 °C sont les températures critiques qui correspondent respectivement à un refroidissement des mains faible et important. La température de l'extrémité des doigts peut facilement être de 5 à 10 °C inférieure à la température moyenne de la peau des mains, ou simplement à la température du dos de la main.

Les informations données à la figure 42.25 sont utiles pour déterminer les temps d'exposition acceptables et la protection requise. Les deux courbes représentent respectivement un niveau d'activité élevé et faible, c'est-à-dire avec ou sans vasoconstriction. De plus, on suppose que les doigts sont très bien protégés (deux clo) et qu'on utilise des vêtements appropriés.

Des courbes du même type sont applicables pour les orteils. Mais il se peut que l'on ait besoin de davantage de clo pour la protection des pieds, car les temps d'exposition sont plus longs. Néanmoins, on voit d'après les figures 42.23 et 42.25 que la durée d'exposition est un facteur sans doute plus critique pour le refroidissement des extrémités que pour le refroidissement de l'ensemble du corps.

La protection fournie par les gants et les moufles est évaluée à l'aide des méthodes décrites dans la norme européenne EN 511 (CEN, 1995). Pour mesurer l'isolement thermique du gant, on utilise une main artificielle chauffée électriquement. La vitesse du vent considérée comme réaliste est de 4 m/s. La résistance des gants au refroidissement est classée en quatre catégories (voir tableau 42.27).

Figure 42.25 • Protection des doigts



Les courbes indiquent les limites de temps et de température acceptables pour une exposition des doigts au froid dans des travaux de légers à modérés (les données sont basées sur l'échange thermique des mains et une température critique de 5 °C au bout des doigts).

### Le refroidissement par contact

Le contact de la main nue avec des surfaces froides peut réduire très vite la température de la peau et provoquer des lésions par gelure. Le problème peut même se produire à des températures de surface de 15 °C. Les surfaces métalliques, en particulier, ont d'excellentes propriétés de conduction et peuvent rapidement refroidir la peau.

A l'heure actuelle, il n'existe aucune méthode standard d'évaluation générale du refroidissement par contact. On peut formuler toutefois les quelques indications suivantes (ACGIH, 1990; Chen, Nilsson et Holmér, 1994; Enander, 1987):

- le contact prolongé avec des surfaces métalliques d'une température inférieure à 15 °C peut nuire à la dextérité;
- le contact prolongé avec des surfaces métalliques d'une température inférieure à 7 °C peut provoquer un engourdissement;
- le contact prolongé avec des surfaces métalliques d'une température inférieure à 0 °C peut provoquer une gelure;
- un bref contact avec des surfaces métalliques d'une température inférieure à -7 °C peut provoquer une gelure;
- tout contact avec des liquides dont la température est inférieure à 0 °C est à éviter.

Tableau 42.27 • Classification de la résistance thermique (*I*) au refroidissement par convection des gants et moufles

Catégorie	<i>I</i> (m <sup>2</sup> °C/W)
1	0,10 ≤ <i>I</i> < 0,15
2	0,15 ≤ <i>I</i> < 0,22
3	0,22 ≤ <i>I</i> < 0,30
4	<i>I</i> ≤ 0,30

Source: d'après CEN, 1995.

Tableau 42.28 • Classification de la résistance thermique de contact des gants et moufles (*I*)

Catégorie	<i>I</i> (m <sup>2</sup> °C/W)
1	0,025 ≤ <i>I</i> < 0,05
2	0,05 ≤ <i>I</i> < 0,10
3	0,10 ≤ <i>I</i> < 0,15
4	<i>I</i> ≤ 0,15

Source: d'après CEN, 1995.

D'autres matériaux présentent des risques du même ordre, mais à des températures plus basses pour ceux qui sont moins conducteurs (plastiques, bois, mousse).

La protection qu'offrent les gants contre le refroidissement par contact peut être déterminée à l'aide de la norme européenne EN 511. Elle distingue quatre catégories de protection (voir tableau 42.28).

### Le refroidissement de la peau par convection

L'indice «Wind Chill» (WCI) constitue une méthode empirique simple pour évaluer le refroidissement de la peau non protégée (visage) (norme ISO 11079, 1993b). Cette méthode permet de prévoir la déperdition de chaleur des tissus à partir de la température de l'air et de la vitesse du vent.

Le tableau 42.29 donne les valeurs de refroidissement correspondant à différentes valeurs de WCI. On assimile souvent le WCI à la température de refroidissement. Dans des conditions calmes (1,8 m/s), celle-ci a en effet la même valeur WCI que la combinaison réelle de la température et du vent. Le tableau 42.30 donne les températures de refroidissement équivalentes pour d'autres combinaisons de vitesse du vent et de température de l'air. Ce tableau s'applique à des personnes actives et chaudement vêtues. Il y a un risque de gelure lorsque la température équivalente descend au-dessous de -30 °C; au-dessous de -60 °C, la peau peut geler en 1 à 2 minutes.

### Le refroidissement des voies respiratoires

L'inhalation d'air froid et sec peut poser des problèmes aux personnes sensibles à +10 ou +15 °C. Les personnes en bonne santé qui effectuent un travail léger à modéré n'auront besoin de protection particulière des voies respiratoires qu'à partir de -30 °C. Il est déconseillé d'exercer une activité très pénible avec exposition

Tableau 42.29 • Indice «Wind Chill» (WCI), température de refroidissement équivalente (*T<sub>eq</sub>*) et temps de gel de la chair exposée

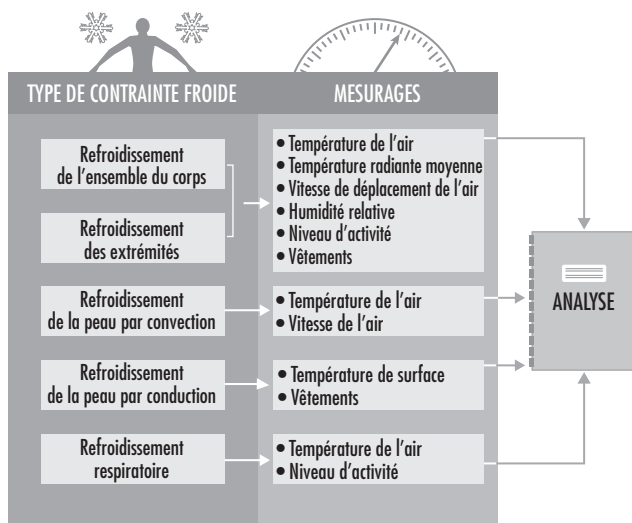
WCI (W/m <sup>2</sup> )	<i>T<sub>eq</sub></i> (°C)	Effet
1 200	-14	Très froid
1 400	-22	Froid très vif
1 600	-30	La chair exposée gèle en 1 heure
1 800	-38	
2 000	-45	La chair exposée gèle en 1 minute
2 200	-53	
2 400	-61	La chair exposée gèle en 30 secondes
2 600	-69	

Tableau 42.30 • Pouvoir de refroidissement du vent sur la chair exposée exprimé sous forme de température de refroidissement équivalente dans des conditions presque calmes (vitesse du vent 1,8 m/s)

Vitesse du vent (m/s)	Lecture réelle du thermomètre (°C)										
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
	Température de refroidissement équivalente (°C)										
1,8	0	-5	-10	-15	-20	-25	<u>-30</u>	<u>-35</u>	<u>-40</u>	<u>-45</u>	<u>-50</u>
2	-1	-6	-11	-16	-21	-27	<u>-32</u>	<u>-37</u>	<u>-42</u>	<u>-47</u>	<u>-52</u>
3	-4	-10	-15	-21	-27	<u>-32</u>	<u>-38</u>	<u>-44</u>	<u>-49</u>	<u>-55</u>	<u>-60</u>
5	-9	-15	-21	-28	<u>-34</u>	<u>-40</u>	<u>-47</u>	<u>-53</u>	<u>-59</u>	<u>-66</u>	<u>-72</u>
8	-13	-20	-27	<u>-34</u>	<u>-41</u>	<u>-48</u>	<u>-55</u>	<u>-62</u>	<u>-69</u>	<u>-76</u>	<u>-83</u>
11	-16	-23	<u>-31</u>	<u>-38</u>	<u>-46</u>	<u>-53</u>	<u>-60</u>	<u>-68</u>	<u>-75</u>	<u>-83</u>	<u>-90</u>
15	-18	-26	<u>-34</u>	<u>-42</u>	<u>-49</u>	<u>-57</u>	<u>-65</u>	<u>-73</u>	<u>-80</u>	<u>-88</u>	<u>-96</u>
20	-20	-28	<u>-36</u>	<u>-44</u>	<u>-52</u>	<u>-60</u>	<u>-68</u>	<u>-76</u>	<u>-84</u>	<u>-92</u>	<u>-100</u>

Les valeurs soulignées représentent un risque de gelure.

Figure 42.26 • Relation entre le risque de refroidissement et les procédures d'évaluation requises



prolongée au froid (les épreuves athlétiques d'endurance, par exemple), lorsque la température est inférieure à -20 °C.

Les mêmes recommandations s'appliquent au refroidissement de l'œil. En pratique, l'extrême inconfort et la gêne visuelle que provoque le refroidissement de l'œil exigent le port de lunettes de sécurité ou d'autre moyen de protection bien avant que cette exposition ne devienne dangereuse.

### Les mesurages

Selon le type de risque prévisible, plusieurs types de mesurage sont nécessaires (voir figure 42.26). Les procédures de collecte des données et le degré d'exactitude des mesures seront fonction du but recherché. Les informations nécessaires concernent les variations dans le temps des paramètres climatiques, le niveau d'activité ou les vêtements; une procédure simple de pondération par le temps (norme ISO 7726, 1998) leur sera appliquée.

### Les mesures de prévention contre la contrainte thermique froide

Les divers types d'actions et les mesures à prendre pour maîtriser et réduire les contraintes thermiques froides impliquent un certain nombre de considérations dont il faudra tenir compte aux stades de la préparation et de la planification des postes de travail, ainsi que pendant le travail proprement dit. Cet aspect est traité dans une autre partie du présent chapitre et ailleurs dans l'*Encyclopédie*.

## Références bibliographiques

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1990: *Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1989-1990* (New York).
- . 1992: «Cold stress», dans *Threshold Limit Values for Physical Agents in the Work Environment* (New York).
- Bedford, T., 1940: «Environmental warmth and its measurement», *Medical Research Memorandum No. 17* (Londres, HMSO).
- Belding, H.S. et Hatch, T.F., 1955: «Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain», *Heating, Piping and Air Conditioning*, vol. 27, pp. 129-136.
- Bittel, J.H., 1987: «Heat debt as an index for cold adaptation in men», *Journal of Applied Physiology*, vol. 62, n° 4, pp. 1627-1634.
- Bittel, J.H., Livecchi-Gonnot, G.H., Hanniquet A.M. et Etienne, J.L., 1989: «Thermal changes observed before and after J.L. Etienne's journey to the North Pole», *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 58, pp. 646-651.
- Bittel, J.H., Nonotte-Varly, C., Livecchi-Gonnot, G.H., Savourey, G. et Hanniquet, A.M., 1988: «Physical fitness and thermoregulatory reactions in a cold environment in men», *Journal of Applied Physiology*, vol. 65, n° 5, pp. 1984-1989.
- Bligh, J. et Johnson, K.G., 1973: «Glossary of terms for thermal physiology», *ibid.*, vol. 35, n° 6, pp. 941-961.
- Botsford, J.H., 1971: «A wet globe thermometer for environmental heat measurement», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 32, pp. 1-10.
- Boutelier, C., 1979: «Survie et protection des équipages en cas d'immersion accidentelle en eau froide», publication AG-211 (Neuilly-sur-Seine, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD)).
- Brouha, L., 1960: *Physiology in Industry* (New York, Pergamon Press).
- Burton, A.C. et Edholm, O.G., 1955: *Man in a Cold Environment* (Londres, Edward Arnold).
- Chen, F., Nilsson H. et Holmér, I., 1994: «Cooling responses of finger pad in contact with an aluminum surface», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 55, n° 3, pp. 218-222.
- Comité européen de normalisation (CEN), 1992: EN342: *Protective Clothing Against Cold* (Bruxelles).
- . 1995: EN511: *Gants de protection contre le froid* (Bruxelles).
- Commission des communautés européennes (CCE), 1988: *Proceedings of a Seminar on Heat Stress Indices* (Luxembourg, Health and Safety Directorate).
- Daanen, H.A.M., 1993: «Deterioration of manual performance in cold and windy climates», dans *The Support of Air Operations Under Extreme Hot and Cold Weather Conditions*, Publication CP-540 of the Aerospace Medical Panel (AMP) of the Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD) of the North Atlantic Treaty Organisation (NATO) (Victoria, Canada).
- Dasler, A.R., 1974: «Ventilation and thermal stress, ashore and afloat», dans chap. 3, *Manual of Naval Preventive Medicine* (Washington, DC, Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery).
- . 1977: «Heat stress, work functions and physiological heat exposure limits in man», dans *Thermal Analysis — Human Comfort — Indoor Environments*, NBS Special Publication 491 (Washington, DC, US Department of Commerce).
- Deutsches Institut für Normung (DIN), 1992: 7943-2: *Schlafsäcke, Thermophysologische Prüfung* (Berlin).
- DuBois, D. et DuBois, E.F., 1916: «Clinical calorimetry X: A formula to estimate the appropriate surface area if height and weight be known», *Archives of Internal Medicine*, vol. 17, pp. 863-871.
- Eagan, C.J., 1963: «Introduction and terminology», *Federation Proceedings*, vol. 22, pp. 930-933.
- Edwards, J.S.A., Roberts, D.E. et Mutter, S.H., 1992: «Relations for use in a cold environment», *Journal of the Wildlife Medicine*, vol. 3, pp. 27-47.
- Enander, A., 1987: *Sensory Reactions and Performance in Moderate Cold*, thèse de doctorat (Solna, National Institute of Occupational Health).
- Fuller, F.H. et Brouha, L., 1966: «New engineering methods for evaluating the job environment», *ASHRAE Journal*, vol. 8, n° 1, pp. 39-52.
- Fuller, F.H. et Smith, P.E., 1980: «The effectiveness of preventive work procedures in a hot workshop», dans F.N. Dukes-Dobos et A. Henschel (directeurs de publication): *Proceedings of a NIOSH Workshop on Recommended Heat Stress Standards*, Publication No. 81-108 (Washington, DC, DHSS (NIOSH)).
- . 1981: «Evaluation of heat stress in a hot workshop by physiological measurements», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 42, pp. 32-37.
- Gagge, A.P., Fobelets, A.P. et Berglund, L.G., 1986: «A standard predictive index of human response to the thermal environment», *ASHRAE Transactions*, vol. 92, pp. 709-731.
- Gisolfi, C.V. et Wenger, C.B., 1984: «Temperature regulation during exercise: Old concepts, new ideas», *Exercise and Sports Sciences Reviews*, vol. 12, pp. 339-372.
- Givoni, B., 1963: *A new method for evaluating industrial heat exposure and maximum permissible work load*, Paper submitted to the International Biometeorological Congress in Paris, France, September 1963.
- . 1978: *L'homme, l'architecture et le climat* (Paris, Editions du Moniteur).
- Givoni, B. et Goldman, R.F., 1972: «Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing», *Journal of Applied Physiology*, vol. 32, n° 6, pp. 812-822.
- . 1973: «Predicting heart rate response to work, environment and clothing», *ibid.*, vol. 34, n° 2, pp. 201-204.
- Goldman, R.F., 1988: «Standards for human exposure to heat», dans I.B. Mekjavic, E.W. Banister et J.B. Morrison (directeurs de publication): *Environmental Ergonomics* (Philadelphie, Taylor and Francis).
- Hales, J.R.S. et Richards, D.A.B., 1987: *Heat Stress. Physical Exertion and Environment*. Proceedings of the 1st World Conference on Heat Stress, Physical Exertion and Environment, held in Sydney, Australia, 27 April-1 May 1987 (Amsterdam, New York, Excerpta Medica).
- Hammel, H.T., 1963: «Summary of comparative thermal patterns in man», *Federation Proceedings*, vol. 22, pp. 846-847.
- Havenith, G., Heus, R. et Lotens, W.A., 1990: «Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: Changes due to posture, movement and wind», *Ergonomics*, vol. 33, n° 8, pp. 989-1005.
- Hayes, 1988, dans *Environmental Ergonomics*, *op. cit.*
- Holmér, I., 1988: «Assessment of cold stress in terms of required clothing insulation-IREQ», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 3, pp. 159-166.
- . 1993: «Work in the cold. Review of methods for assessment of cold stress», *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 65, pp. 147-155.
- . 1994: «Cold stress: Part 1 — Guidelines for the practitioner»; Part 2 — The scientific basis (knowledge base) for the guide», *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 14, n° 1-2, pp. 139-160.
- Houghton, F.C. et Yaglou, C.P., 1923: «Determining equal comfort lines», *Journal of ASHVEE*, vol. 29, pp. 165-176.
- Kenneth, W., Sathasivam, P., Vallerand, A.L. et Graham, T.B., 1990: «Influence of caffeine on metabolic responses of men at rest in 28 and 5 °C», *Journal of Applied Physiology*, vol. 68, n° 5, pp. 1889-1895.
- Kenney, W.L. et Fowler, S.R., 1988: «Methylcholine-activated eccrine sweat gland density and output as a function of age», *ibid.*, vol. 65, n° 3, pp. 1082-1086.
- Kerslake, D.M.C.K., 1972: *The Stress of Hot Environments* (Cambridge, Cambridge University Press).
- LeBlanc, J., 1975: *Man in the Cold* (Springfield, Illinois, Charles C. Thomas Publications).
- Leithead, C.A. et Lind, A.R., 1964: *Heat Stress and Head Disorders* (Londres, Cassell).
- Lind, A.R., 1957: «A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everybody's work», *Journal of Applied Physiology*, vol. 18, pp. 51-56.
- Lotens, W.A., 1989: «The actual insulation of multi-layer clothing», *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 15, supplément n° 1, pp. 66-75.
- . 1993: *Heat Transfer from Humans Wearing Clothing*, thèse (Technical University Delft, Pays-Bas).
- Lotens, W.A. et Havenith, G., 1991: «Calculation of clothing insulation and vapour resistance», *Ergonomics*, vol. 34, n° 2, pp. 233-254.
- Maclean, D. et Emslie-Smith, D., 1977: *Accidental Hypothermia* (Oxford, Londres, Edimbourg, Melbourne, Blackwell Scientific Publications).
- Macpherson, R.K., 1960: «Physiological responses to hot environments», *Medical Research Council Special Report Series No. 298* (Londres, HMSO).
- Martineau, L. et Jacobs, I., 1988: «Muscle glycogen utilization during shivering thermogenesis in humans», *Journal of Applied Physiology*, vol. 65, n° 5, pp. 2046-2050.
- Maughan, R.J., 1991: «Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise», *Journal of Sports Sciences*, vol. 9, numéro spécial, été, pp. 117-142.
- McArdle, B., Dunham, W., Halling, H.E., Ladell, W.S.S., Scalt, J.W., Thomson, M.L. et Weiner, J.S., 1947: «The prediction of the physiological effects of warm and hot environments», *Medical Research Council Report 47/391* (Londres, RNP).
- McCullough, E.A., Jones, B.W. et Huck, P.E.J., 1985: «A comprehensive database for estimating clothing insulation», *ASHRAE Transactions*, vol. 91, pp. 29-47.
- McCullough, E.A., Jones, B.W. et Tamura, T., 1989: «A database for determining the evaporative resistance of clothing», *ibid.*, vol. 95, pp. 316-328.
- McIntyre, D.A., 1980: *Indoor Climate* (Londres, Applied Science Publishers, Ltd).
- Nielsen, B., 1984: «Dehydration, rehydration and thermoregulation», dans E. Jokl et M. Hebbelinc (directeurs de publication): *Medicine and Sports Science* (Bâle, S. Karger).
- . 1994: «Heat stress and acclimation», *Ergonomics*, vol. 37, n° 1, pp. 49-58.
- Nielsen, B., Sjøgaard, G., Ugelvig, J., Knudsen, B. et Dohlmann, B., 1986: «Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks», *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 55, n° 3, pp. 318-325.
- Nielsen, R., Olesen, B.W. et Fanger, P.O., 1985: «Effect of physical activity and air velocity on the thermal insulation of clothing», *Ergonomics*, vol. 28, n° 12, pp. 1617-1631.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), 1972: *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments*, DHHS (NIOSH) Publication No. 72-10269 (Washington, DC).
- . 1986: *Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments (Revised Criteria 1986)*, DHHS (NIOSH) Publication No. 86-113 (Washington, DC).

- Nishi, Y. et Gagge, A.P., 1977: «Effective temperature scale useful for hypo- and hyperbaric environments», *Aviation, Space and Environmental Medicine*, vol. 48, n° 2, pp. 97-107.
- Olesen, B.W., 1985: «Heat stress», dans *Bruel and Kjaer Technical Review No. 2* (Danemark, Bruel and Kjaer).
- Olesen, B.W., Sliwinka, E., Madsen, T.L. et Fanger, P.O., 1982: «Effect of body posture and activity on the thermal insulation of clothing: Measurements by a movable thermal manikin», *ASHRAE Transactions*, vol. 88, pp. 791-805.
- Organisation internationale de normalisation (ISO), 1989a: *Ambiances chaudes — Estimations de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (Température humide et de globe noir)* (ISO 7243) (Genève).
- 1989b: *Ambiances thermiques chaudes — Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise* (ISO 7933) (Genève).
- 1990: *Ergonomie — Détermination de la production de chaleur métabolique* (ISO 8896) (Genève).
- 1992: *Evaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques* (ISO 9886) (Genève).
- 1993a: *Ergonomics of the Thermal Environment — Medical Supervision of Individuals Exposed to Hot or Cold Environments* (ISO 12894) (Genève).
- 1993b: *Evaluation of Cold Environments — Determination of Required Clothing Insulation, IREQ* (ISO 11079) (Genève).
- 1994: *Ambiances thermiques modérées — Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique* (ISO 7730) (Genève).
- 1995: *Ergonomie des ambiances thermiques — Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire* (ISO, 9920) (Genève).
- 1998: *Ergonomie des ambiances thermiques — Appareils de mesure des grandeurs physiques* (ISO 7726) (Genève).
- Organisation mondiale de la santé (OMS), 1969: «Problèmes de santé associés au travail dans des conditions de contrainte thermique», *Série de rapports techniques*, n° 412 (Genève).
- Pandolf, K.B., Cadarette, B.S., Sawka, M.N., Young, A.J., Francesconi, R.P. et Gonzales, R.R., 1988: «Thermoregulatory responses of middle-aged and young men during dry-heat acclimation», *Journal of Applied Physiology*, vol. 65, n° 1, pp. 65-71.
- Parsons, K.C., 1993: *Human Thermal Environments* (Hampshire, Royaume-Uni, Taylor and Francis).
- Reed, H.L., Brice, D., Shakir, K.M., Burman, K.D., D'Alessandro, M.M. et O'Brian, J.T., 1990: «Decreased free fraction of thyroid hormones after prolonged Antarctic residence», *Journal of Applied Physiology*, vol. 69, n° 4, pp. 1467-1472.
- Rowell, L.B., 1983: «Cardiovascular aspects of human thermoregulation», *Circulation Research*, vol. 52, n° 4, pp. 367-379.
- 1986: *Human Circulation Regulation During Physical Stress* (Oxford, Oxford University Press).
- Sato, K. et Sato, F., 1983: «Individual variations in structure and function of human eccrine sweat gland», *American Journal of Physiology*, vol. 245, n° 2, pp. R203-R208.
- Savourey, G., Barnavol, B., Caravel, J.P., Feuerstein, C. et Bittel, J.H., 1996: «Hypothermic general cold adaptation induced by local cold acclimation», *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 73, n° 3-4, pp. 237-244.
- Savourey, G., Caravel, J.P., Barnavol, B. et Bittel, J.H., 1994: «Thyroid hormone changes in a cold air environment after local cold acclimation», *Journal of Applied Physiology*, vol. 76, n° 5, pp. 1963-1967.
- Savourey, G., Vallerand, A.L. et Bittel, J.H., 1992: «General and local cold adaptation after a ski journey in a severe arctic environment», *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, vol. 64, n° 2, pp. 99-105.
- Vallerand, A.L., Jacobs, I. et Kavanagh, M.F., 1989: «Mechanism of enhanced cold tolerance by an ephedrine-caffeine mixture in humans», *Journal of Applied Physiology*, vol. 67, n° 1, pp. 438-444.
- van Dilla, M.A., Day, R. et Siple, P.A., 1949: «Special problems of the hands», dans R. Newburgh (directeur de publication): *Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing* (Philadelphia, W.B. Saunders and Co.).
- Vellar, O.D., 1969: *Nutrient Losses through Sweating* (Oslo, Universitetsforlaget).
- Vogt, J.J., Candas, V., Libert, J.P. et Daull, F., 1981: «Required sweat rate as an index of thermal strain in industry», dans K. Cena et J.A. Clark (directeurs de publication): *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort* (Amsterdam, Elsevier), pp. 99-110.
- Wang, L.C., Man, S.F. et Belcastro, A.N., 1987: «Metabolic and hormonal responses in theophylline-increased cold resistance in males», *Journal of Applied Physiology*, vol. 63, n° 2, pp. 589-596.
- Whelan, M.E., MacHattie, L.E., Goodings, A.C. et Turl, L.H., 1955: «The diffusion of water vapour through luminae with particular reference to textile fabrics», *Textile Research Journal*, vol. 25, n° 3, pp. 197-223.
- Wissler, E.H., 1988: «A review of human thermal models», dans *Environmental Ergonomics*, op. cit.
- Woodcock, A.H., 1962: «Moisture transfer in textile systems. Part I», *Textile Research Journal*, vol. 32, pp. 628-633.
- Yaglou, C.P. et Minard, D., 1957: «Control of heat casualties at military training centers», *Archives of Industrial Health*, vol. 16, pp. 302-316.

Références complémentaires

- Alm, N.O., 1992: «Strategies for accident prevention in circumpolar regions», *Arctic Medical Research*, vol. 50, supplément n° 7, pp. 99-101.
- Anonyme, 1993: *The support of air operations under extreme hot and cold weather conditions*, Publication AGARD/NATO C10-304 (Neuilly-sur-Seine, Advisory Group for Aerospace Research and Development (AGARD) of the North Atlantic Treaty Organisation (NATO)).
- Bennett, P.B. et Elliot, D.H., 1991: *The Physiology and Medicine of Diving* (Londres, Baillière Tindall).
- Burton, A.C. et Edholm, O.G., 1969: *Man in a Cold Environment* (New York, Hafner Publishing Company, Inc.).
- Clark, R.P. et Edholm, O.G., 1985: *Man and his Thermal Environment* (Londres, Edward Arnold).
- Eiken, O., Kaiser, P., Holmér, I. et Baer, R., 1989: «Physiological effects of a mouth-borne heat exchanger during heavy exercise in a cold environment», *Ergonomics*, vol. 32, n° 6, pp. 645-653.
- Enander, A.E., 1987: «Effects of moderate cold on performance of psychomotor and cognitive tasks», *Ergonomics*, vol. 30, n° 10, pp. 1431-1445.
- 1990: «Working performance in the cold», *Proceedings of Working and Survival in the Cold* (Trondheim, Sintef Unimed), pp. 69-92.
- Fanger, P.O., 1970: *Thermal Comfort* (New York, McGraw-Hill Book and Co.).
- Francis, T.J. et Golden, F.S., 1985: «Non-freezing cold injuries: The pathogenesis», *Journal of the Royal Naval Medical Services*, vol. 71, n° 1, pp. 3-8.
- Frimodt-Moller, B. et Bay-Nielsen, H., 1992: «Classification of accidents in the Arctic. A suggestion for adaptation of the Nordic classification for accident monitoring», *Arctic Medical Research*, vol. 51, supplément n° 7, pp. 15-21.
- Granberg, P.O., 1995: «Human endocrine responses to the cold», *ibid.*, vol. 54, n° 2, pp. 91-103.
- Granberg, P.O., Hassi, J., Holmér, I., Larsen, T., Refsum, H., Ytrehus, K. et Knip, M., 1991: «Cold physiology and cold injuries. Proceedings of the Nordic Conference on cold. Tromsø, Norway, January 30-February 2, 1991», *ibid.*, vol. 50, supplément n° 6, pp. 5-160.

- Hamlet, M.P., 1988: «Human cold injuries», dans K.B. Pandolf, M.N. Sawka et R.R. Gonzalez (directeurs de publication): *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes* (Alexandria, Virginie, US Army Research Institute of Environmental Medicine), pp. 435-466.
- Holmér, I. (directeur de publication), 1994: *Work in Cold Environments* (Solna, National Institute of Occupational Health).
- Ingall, T.J., 1993: «Hyperthermia and hypothermia», dans P.A. Low (directeur de publication): *Clinical Autonomic Disorders* (Boston, Little Brown and Co.).
- Khogali, M. et Hales, J.R.S., 1983: *Heat Stroke and Temperature Regulation* (Sydney, Academic Press.)
- Leppäluoto, J. (directeur de publication), 1995: «Effects of cold on the human organism», *Arctic Medical Research*, vol. 54, supplément n° 2.
- Litchfield, P., 1987: «Manual performance in the cold: A review of some of the critical factors», *Journal of the Royal Naval Medical Services*, vol. 73, n° 3, pp. 173-177.
- Lloyd, E.L., 1986: *Hypothermia and Cold Stress* (Londres, Sydney, Croom Helm).
- Mekjavic, I.B., Banister, E.W. et Morrison, J.B. (directeurs de publication), 1988: *Environmental Ergonomics* (Philadelphie, Taylor and Francis).
- Mekjavic, I.B. et Bligh, J., 1987: «The pathophysiology of hypothermia», dans D.J. Osborne (directeur de publication): *International Reviews of Ergonomics* (Londres, Taylor and Francis), vol. 1, pp. 201-218.
- Middaugh, J., 1992: «Epidemiology of injuries in northern areas», *Arctic Medical Research*, vol. 51, supplément n° 7, pp. 5-14.
- Mills, W.J., 1991: «Cold injury», *Alaska Medicine*, vol. 35, pp. 1.
- Morton, W.E. et Hearle, J.W.S., 1975: *Physical Properties of Textile Fibres* (Londres, Heinemann).
- Newburgh, L.H. (directeur de publication), 1949: *Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing* (Philadelphia, W.B. Saunders and Co.).
- Nishi, Y. et Gagge, A.P., 1970: «Moisture permeation of clothing — A factor governing thermal equilibrium and comfort», *ASHRAE Transactions*, vol. 76, n° 1, pp. 137-145.
- Organisation internationale de normalisation (ISO), 1984: *Thermal Environments — Specifications Relating to Appliances and Methods for Measuring Physical Characteristics of the Environment* (Genève).
- 1993: *Assessment of the Influence of the Thermal Environment using Subjective Judgement Scales* (Genève).
- 1995: *Ergonomics of the Thermal Environment. Principles and Application of International Standards* (ISO 11933) (Genève).
- Pandolf, K.B., Sawka, M.N. et Gonzales, R.R., 1988: *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes* (Indianapolis, Benchmark Press).
- Parsons, K.C., Fox, J.G. et Metz, B., 1995: «Heat stress indices», *Ergonomics*, vol. 38 (numéro spécial), n° 1, janv.
- Savourey, G., Barnavol, B., Caravel, J.P., Barbe, G. et Bittel, J.H., 1993: «Induction d'un syndrome polaire de la 'tri-iodothyronine' en laboratoire chez l'homme», *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (Paris), pp. 607-610.
- Shitzer, A., Stroschein, A., Santee, W.E., Gonzales, R.R. et Pandolf, K.B., 1991: «Quantification of conservative endurance times in thermally insulated cold-stressed digits», *Journal of Applied Physiology*, vol. 71, n° 6, pp. 2528-2535.
- Toner, M.M. et McArdle, W.D., 1988: «Physiological adjustments of man to the cold», dans *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, op. cit.
- Young, A.J., 1988: «Human adaptation to cold», dans *Human Performance Physiology and Environmental Medicine at Terrestrial Extremes*, op. cit.