

Travailler dans une ambiance thermique froide

AUTEURS :

E. Turpin-Legendre¹, L. Robert², J. Shettle³, C. Tissot⁴, C. Aubry⁵, B. Siano⁶

EN RÉSUMÉ

L'exposition à une ambiance thermique froide peut être à l'origine de gelures localisées des extrémités et d'hypothermie potentiellement graves. Sont concernés les salariés dont le processus de production les expose au froid, ceux qui travaillent en extérieur, dans l'eau ou en altitude. La caractérisation des contraintes thermiques fait appel à la métrologie et à la détermination et l'interprétation de la contrainte liée au froid (indice IREQ). Les mesures de prévention sont à la fois techniques, organisationnelles et individuelles. L'information et la formation des salariés sont importantes ainsi que la connaissance des mesures de secours d'urgence.

MOTS CLÉS

Travail au froid / Condition de travail / Évaluation des risques / Réglementation / Organisation du travail



L'homme est relativement bien armé pour lutter contre la chaleur [1], mais sa résistance au froid est faible. L'exposition au froid peut être à l'origine d'effets sur la santé et notamment de l'hypothermie, potentiellement grave, et de gelures localisées. Les salariés concernés par les ambiances froides de travail sont d'une part ceux qui travaillent habituellement et par nature dans un milieu froid (abattoirs, entrepôts frigorifiques, conditionnement de produits frais ou surgelés, entretien ou réparation de chambre froide...) et d'autre part

ceux qui travaillent en extérieur en saison froide. Il s'agit notamment des employés du bâtiment, des ouvriers agricoles ou forestiers, des personnes assurant l'entretien des routes et voies ferrées ainsi que la collecte des déchets, des policiers, pompiers, militaires, des pêcheurs, marins, ostréiculteurs, des commerçants travaillant sur des étalages extérieurs... Le travail en altitude (employés des stations de montagne) est aussi à considérer, de même que le travail en eau froide (plongeurs professionnels), ces milieux nécessitant des

Travailler dans une ambiance thermique froide

1. L'enquête SUMER (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels) dresse une cartographie des expositions des salariés aux principaux risques professionnels en France, permettant de définir des actions de prévention prioritaires pour les acteurs impliqués dans le domaine du travail et de la santé au travail

protections spécifiques. Enfin, les personnes se déplaçant en voiture dans le cadre de leur activité professionnelle sont également indirectement concernées par cette problématique du froid, en cas de neige ou verglas sur les routes.

D'après l'enquête SUMER 2010 (Surveillance médicale des expositions des salariés aux risques professionnels)¹, environ 13 % des salariés sont exposés aux intempéries, notamment dans la construction, l'administration publique, le transport, le commerce, et près de 5 % de salariés sont exposés au froid (inférieur à 15 °C) imposé par le processus de production notamment dans le commerce, la fabrication de denrées alimentaires [2].

Dans ce contexte, cet article aborde d'abord les aspects physiologiques concernant l'homme et le froid, puis les effets néfastes sur la santé d'une ambiance thermique froide. Les modalités d'évaluation des risques sont ensuite détaillées, ainsi que les mesures de prévention et les dispositions réglementaires.

PHYSIOLOGIE

LES ÉCHANGES THERMIQUES DU CORPS HUMAIN

L'homme est un homéotherme, tous les mécanismes physiologiques tendent à maintenir sa température centrale proche de 37 °C. Un ensemble de processus physiologiques appelé la thermorégulation permet cette relative constance de la température centrale. Elle repose sur un équilibre entre les apports (thermogénèse) et les pertes (thermolyse) de chaleur.

La thermogénèse est la capacité de l'organisme à produire de la chaleur par l'activité métabolique des organes qui assurent les échanges de base tels que la respiration et la cir-

culation sanguine. Cette production est relativement constante. Pour une personne de stature moyenne au repos dans un environnement neutre, elle est évaluée à 1 700 kcal par jour pour un homme et 1 500 kcal par jour pour une femme. De la chaleur est produite aussi lors de la digestion des aliments ou par une activité physique lors de contractions musculaires mais avec une production très variable.

La thermolyse est le processus qui permet la dissipation de la chaleur de l'organisme vers le milieu extérieur. Elle a lieu principalement au niveau de la peau et des voies respiratoires. La thermolyse s'effectue grâce à quatre mécanismes d'échanges thermiques que sont la convection, la conduction, le rayonnement et l'évaporation (**encadré 1**).

En ambiance froide, plusieurs types de contraintes locales peuvent apparaître de manière simultanée ou indépendante ; les salariés peuvent être confrontés au :

- **refroidissement par convection** : la combinaison d'une température basse et du vent accélère les pertes thermiques au niveau des surfaces corporelles chaudes. Par conséquent, les parties non protégées du corps, telles que le visage et les mains, peuvent se refroidir très rapidement et atteindre des températures basses en engendrant un risque très élevé de lésions ;
- **refroidissement par conduction** : le contact d'une surface froide, par exemple la préhension d'objets congelés, d'outils métalliques..., provoque immédiatement un échange de chaleur entre la peau chaude et la surface froide ;
- et au **refroidissement des voies respiratoires**.

L'organisme régule l'équilibre entre les apports et les pertes de chaleur, mais dans des environnements

très chauds ou très froids, cet équilibre est difficile à maintenir. Les différentes régulations pour maintenir cet équilibre sont présentées dans la **figure 1**.

La zone de confort thermique est une zone de neutralité thermique. L'équilibre des températures se fait de façon passive, l'organisme utilise peu d'énergie pour lutter contre le froid. La thermogénèse (au niveau du noyau) et la thermolyse (par la circulation cutanée et la respiration) s'équilibrent facilement. Le corps est en homéothermie, sa température centrale est relativement stable, autour de 37 °C.

La zone tolérable est une zone à l'intérieur de laquelle une thermogénèse et une thermolyse élevées permettent que l'homéothermie soit à peu près maintenue. En environnement froid, la vasoconstriction des vaisseaux sanguins limite la perte de chaleur et les frissons et l'activité physique permettent une production de chaleur.

La zone intolérable en environnement très froid est une zone où le bilan thermique est non équilibré. L'augmentation de la thermogénèse et la diminution de la thermolyse ne suffisent pas à maintenir l'homéothermie. Le noyau n'arrive plus à s'adapter, la température centrale n'est plus stable et si elle baisse de façon excessive, l'hypothermie peut être atteinte avec de graves conséquences sur la santé.

LES AMBIANCES FROIDES

Un environnement est considéré froid pour une température de l'air inférieure à 18 °C, température à laquelle se déclenchent des déperditions de chaleur supérieures à la normale [3]. Par ailleurs, pour une même température et pour une même durée d'exposition, les pertes de chaleur dans l'eau sont 25 fois supérieures à celles observées

✚ Encadré 1

➤ LES MÉCANISMES D'ÉCHANGE THERMIQUE

La convection : les échanges ont lieu entre un solide (corps) et un fluide (eau, sang, air environnant) de température différente lorsqu'il y a un déplacement de l'un par rapport à l'autre. Au sein même du corps, ces échanges thermiques ont lieu entre la circulation sanguine et les organes profonds, les tissus sous-cutanés et la peau. Ce type d'échange se retrouve aussi au niveau de la respiration entre les poumons et l'air ambiant où généralement l'air inspiré se réchauffe au contact des voies respiratoires. Entre l'individu et son environnement, ces échanges par convection sont fortement dépendants de la température et de la vitesse de l'air dans lequel évolue le sujet. En convection, on différencie deux mécanismes : la convection naturelle dès lors que le sujet se trouve dans un environnement où l'air est statique et la convection forcée dès que l'air est animé d'une vitesse (ventilation, déplacement de l'individu par exemple). Dans ce dernier cas, les échanges

de chaleur entre le sujet et l'environnement sont plus efficaces. C'est un mécanisme prépondérant dans les échanges thermiques humains.

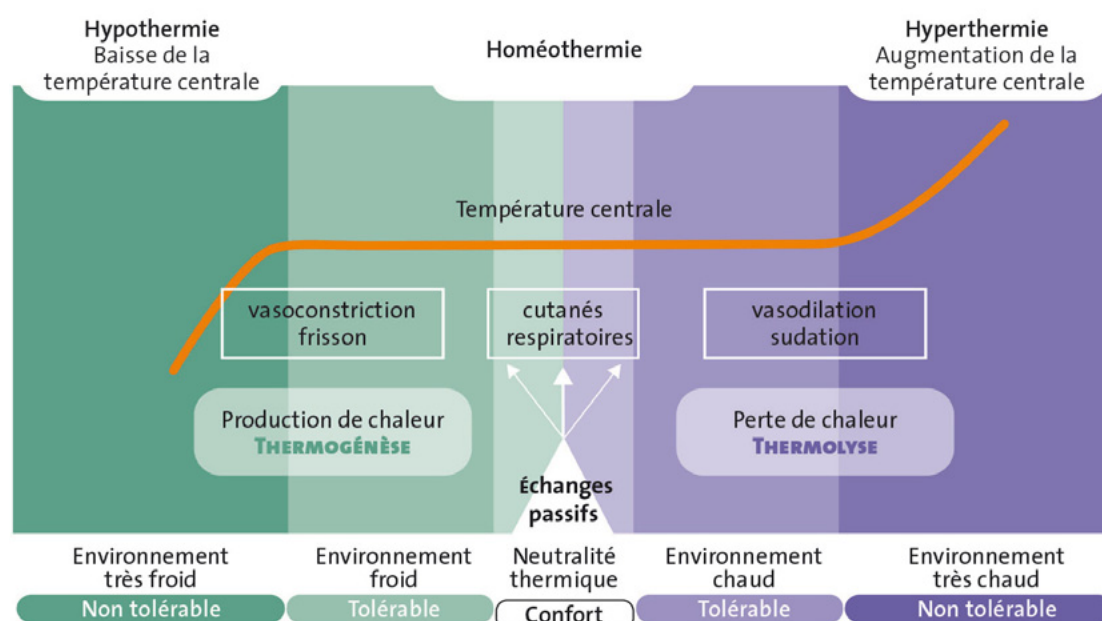
La conduction : les échanges par conduction apparaissent dès lors que 2 solides de température différente sont en contact (peau-vêtement, peau-outil, organe-organe...). Ce transfert de chaleur s'établit du point le plus chaud vers le plus froid. En milieu du travail, ces échanges sont le plus souvent négligeables car la surface d'échange est souvent restreinte et l'écart de température faible (exception de cas extrêmes comme les brûlures cutanées) mais ils peuvent avoir une influence sur la sensation de confort thermique.

Le rayonnement : les échanges par rayonnement s'effectuent entre des surfaces de température différente et sans contact direct. Ils dépendent de la surface cutanée exposée aux échanges et des températures moyennes

radiantes de chaque corps. Ce mécanisme de transfert thermique est très impactant sur le bilan thermique du corps. En milieu du travail, ces échanges peuvent être particulièrement significatifs et présenter un risque important.

L'évaporation : les échanges par évaporation de la sueur (Ev) prennent en compte deux phénomènes : la diffusion passive de la sueur à travers la peau (la per-évaporation ou la perspiration) et l'évaporation de la sueur en surface de la peau, phénomène actif de la sudation (transpiration). En effet, au niveau de la peau, le passage des molécules d'eau de l'état liquide (sueur) à l'état gazeux (vapeur) se traduit par une consommation d'énergie importante à l'origine d'une déperdition significative de chaleur. Dans le cas de ces échanges par évaporation, la vitesse et l'humidité de l'air sont des facteurs clés, mais l'activité et la nature des vêtements portés par les sujets le sont aussi.

Figure 1 : L'équilibre des échanges thermiques



Travailler dans une ambiance thermique froide

dans l'air, en raison d'une grande différence de conductivité thermique entre l'air et l'eau.

L'ensemble du corps se refroidit en profondeur (atteinte des tissus profonds) après une exposition prolongée ou répétée au froid. À 37 °C de température corporelle, la sensation de froid est bien présente avec mise en jeu des phénomènes de régulation physiologiques. L'hypothermie est atteinte lorsque la température corporelle descend en dessous de 35 °C avec une mise en jeu du pronostic vital si la température est inférieure à 32 °C. Lors de l'atteinte des tissus profonds, on observe un ralentissement des processus physiologiques des organes, ce qui entraîne une baisse du débit cardiaque.

Les extrémités et la peau sont particulièrement sensibles au refroidissement. La température cutanée en milieu tempéré est autour de 33 °C. En ce qui concerne les doigts, la température d'inconfort est proche de 20 °C. Un refroidissement faible des doigts situe la température cutanée autour de 24 °C et un refroidissement élevé autour de 15 °C [4]. Le seuil de douleur est à 15 °C [5]. Le refroidissement des mains diminue la dextérité manuelle, phénomène visible dès l'exposition à une température extérieure de 15 °C. Les mouvements des doigts sont altérés, moins précis, moins rapides, les doigts sont engourdis. En ce qui concerne **les voies respiratoires et les poumons**, ils sont peu affectés par l'inhalation d'un air froid sec pour des personnes en bonne santé.

La réponse physiologique du corps à une ambiance froide est de deux types, soit il limite la perte de chaleur (diminution de la thermolyse), soit il augmente sa production de chaleur (thermogénèse). Afin de limiter la déperdition de chaleur qui provient des organes profonds

et qui est véhiculée jusqu'à la périphérie par le réseau sanguin, la circulation sanguine périphérique est diminuée par le phénomène de vasoconstriction (diminution du diamètre des petits vaisseaux sanguins). Le transport de chaleur jusqu'à la peau est limité, la déperdition de chaleur par convection et conduction au niveau de la peau est diminuée. La chaleur est ainsi maintenue dans les parties centrales et vitales du corps.

Le corps a différents moyens pour augmenter sa production de chaleur. Le frisson, travail involontaire des fibres musculaires superficielles, permet de doubler le métabolisme énergétique. Il est souvent précédé par une augmentation du tonus musculaire. L'activité physique, travail musculaire volontaire, aide à compenser les pertes de chaleur, cependant, ces deux modes de production de chaleur sont limités dans le temps. Au cours de la digestion, la transformation des aliments produit également de la chaleur. De plus, le froid entraîne une stimulation de la faim induisant une augmentation des apports alimentaires et donc caloriques.

FACTEURS INDIVIDUELS INFLUENÇANT LA THERMORÉGULATION

ACCLIMATATION

Il existe une acclimatation pour les personnes exposées au froid mais les ajustements physiologiques sont au mieux modestes [6]. Une acclimatation locale par une limitation de la vasoconstriction cutanée périphérique permet aux mains de rester plus chaudes. La circulation du sang est meilleure au niveau de la main, la performance manuelle est conservée, la douleur est diminuée. De même, les frissons apparaissent pour une température corporelle plus basse. Il s'agit donc

d'une adaptation cardiovasculaire et cutanée. Lors d'expositions répétées au froid, les salariés s'adaptent et perçoivent moins d'inconfort. Cette acclimatation diminue l'effet de distraction que peut provoquer le froid et améliore le jugement et la prudence.

CONDITION PHYSIQUE ET ACTIVITÉ PHYSIQUE

Une bonne condition physique et l'entraînement améliorent les capacités cardiovasculaires et ainsi les réponses physiologiques de la personne exposée au froid sont mieux adaptées. Le coût énergétique d'une activité physique est augmenté dans le froid, aussi une bonne condition physique aérobie favorise une thermogénèse plus importante et accroît l'endurance physique. La masse corporelle a un effet sur les capacités thermorégulatrices. Les personnes dont la masse musculaire et la couche de graisse isolante sont réduites risquent davantage de souffrir du froid.

ÂGE

Les mécanismes de thermorégulation diminuent avec l'âge en raison de la diminution de la masse musculaire, du vieillissement des systèmes endocrinien, cardiovasculaire et neurologique. Les réponses thermorégulatrices au froid baissent. Une hypothermie latente peut être observée chez les personnes âgées, souvent en association avec une malnutrition, une protection vestimentaire inadéquate et une mobilité réduite. Étant donné leur moindre résistance vasculaire, les personnes d'un certain âge sont aussi plus sujettes à des atteintes à la santé.

GENRE

Des différences morphologiques et fonctionnelles existent entre l'homme et la femme, ce qui se traduit par une moins grande capacité

physique chez la femme (moins de masse musculaire, un volume de sang réduit, une moindre capacité de transport de l'oxygène dans le sang). Ces différences expliquent les quelques variabilités des capacités thermorégulatrices entre les deux sexes. Les femmes ont plus souvent une hypersensibilité au froid et souffrent plus facilement du syndrome des « doigts blancs ». Par ailleurs, les femmes ont davantage de graisse sous-cutanée que les hommes, ce qui limite la perte de chaleur.

EFFETS SUR LA SANTÉ

Les vagues de froid intense peuvent avoir un impact sur la mortalité et la morbidité, mais n'ont jamais conduit, jusqu'ici, à des augmentations massives de la mortalité en France comme observé lors de certains étés caniculaires. Les effets du froid sont plus diffus, liés à des pathologies en lien direct avec le froid, mais aussi à des intoxications par le monoxyde de carbone dues à l'utilisation de moyens de chauffage défectueux ou inadaptés. D'autres effets indirects sont à considérer également, comme les traumatismes liés à des chutes ou accidents dus à la neige et au verglas, et les difficultés matérielles d'accès aux soins. La période hivernale est par ailleurs propice aux épidémies de maladies infectieuses, particulièrement à la grippe, largement responsable de la surmortalité saisonnière.

PATHOLOGIES DIRECTEMENT PROVOQUÉES PAR LE FROID

L'hypothermie correspond à une température corporelle centrale < 35 °C. Elle survient lorsque la perte de chaleur corporelle est supérieure à la production de chaleur corporelle. Le niveau de l'hypothermie et

sa vitesse d'installation dépendent du type d'environnement (air, eau), de sa température, de la durée d'exposition et de la présence d'éventuelles pathologies pouvant réduire ou inhiber les mécanismes physiologiques de lutte contre le froid [7]. L'intensité du froid ressenti est accentuée par le vent et l'humidité. Ainsi, sous un vent de 45 km/h, une température de -5 °C peut produire le même refroidissement corporel qu'une température proche de -15 °C sans vent. L'altitude est un milieu hostile pour l'activité physique du fait de l'hypoxie liée à la baisse de la pression partielle de l'oxygène dans l'air, associée à la baisse régulière de la température de l'air d'1° C tous les 150 mètres [8]. Par ailleurs, il est rappelé que, dans l'eau, les pertes de chaleur sont 25 fois supérieures à celles observées dans l'air par unité de temps [9].

En situation d'hypothermie, toutes les fonctions physiologiques se trouvent ralenties, y compris les

systèmes cardiovasculaires et respiratoires, la conduction nerveuse, l'acuité mentale, le temps de réaction neuromusculaire et le métabolisme. Les symptômes vont des frissons et de la léthargie à la confusion, au coma et au décès. Par degré de gravité croissante, on distingue (**tableau I**) :

- **les hypothermies légères (entre 35 et 32 °C)** : le sujet est conscient avec une baisse de la vigilance, il présente une sensation de froid intense avec des frissons généralisés, des douleurs musculaires et des extrémités froides ;
- **les hypothermies modérées (entre 32 et 28 °C)** : le sujet présente des troubles de la conscience, une hypoventilation, une hypotension, une bradycardie, il ne frissonne plus ;
- **les hypothermies sévères (en dessous de 28 °C)** : le sujet est comateux et peut présenter une apnée. Sans prise en charge d'urgence, l'évolution se fait vers l'arrêt cardio-respiratoire et le décès.

↓ **Tableau I**

> MANIFESTATIONS DE L'HYPOTHERMIE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE CENTRALE, d'après [6, 9, 10]

STADE	Signes et symptômes
Hypothermie légère (35 à 32 °C)	Frissons intenses, hypertension artérielle, tachycardie
	Amnésie, dysarthrie, confusion, troubles du comportement
	Ataxie, apathie
Hypothermie modérée (32 à 28 °C)	Stupeur
	Arrêt des frissons, pupilles dilatées
	Arythmie cardiaque, baisse du débit cardiaque
	Inconscience
	Hypoventilation
Hypothermie sévère (< 28 °C)	Fibrillation ventriculaire possible
	Perte des réflexes et du contrôle des mouvements
	Coma, anesthésie à la douleur
	Réduction du débit sanguin cérébral
	Hypotension, bradycardie, œdème pulmonaire
	Absence de réflexe cornéen, absence de réflexes
	Encéphalogramme plat (< 19 °C), asystolie

Travailler dans une ambiance thermique froide

En fonction de l'état de conscience de la victime, des mesures de secours visant à la réchauffer sont préconisées (**encadré 2**).

La gelure est une lésion localisée, le plus souvent au niveau des extrémités, causée par l'action directe du froid au cours d'une exposition plus ou moins longue à une température inférieure à 0 °C [11]. Elle peut cependant être observée pour des températures basses positives en présence de vent [8]. Elle se caractérise par un gel des tissus et une insensibilité à sa phase d'installation qui retarde sa prise en charge. La sémiologie de la gelure associe le plus souvent une cyanose persistante et des phlyctènes plus ou moins nécrotiques dont l'étendue fait le pronostic [12]. Les sites les plus fréquents sont les pieds (avec atteinte préférentielle du gros orteil) et les mains (avec respect habituel du pouce), mais la face peut également être atteinte, en particulier le nez et les oreilles. Les gelures profondes peuvent aboutir à des amputations. Dans le milieu professionnel, la gelure peut être provoquée en quelques secondes par le contact de la main nue avec un corps métallique très froid.

Le « pied de tranchées » ou « pied d'immersion en eau froide » est le résultat d'une exposition prolongée (24 à 36 heures) des extrémités inférieures à un froid humide [7]. Décrit initialement chez les Poilus de la Grande Guerre, cette affection peut survenir en cas de catastrophe naturelle et atteint rarement les travailleurs exposés au froid.

Diverses **pathologies cutanées** peuvent être provoquées par le froid [13] : en effet, l'exposition au froid entraîne un ensemble de réponses adaptatives visant à préserver la température interne, mais le maintien de la température cutanée n'est pas une priorité physiologique chez l'homme. Aussi, les mécanismes de thermorégulation se font aux dé-

↓ Encadré 2

➤ SECOURIR EN CAS DE COUP DE FROID (HYPOTHERMIE)

- Prévenir ou faire prévenir les secours et surveiller la victime jusqu'à l'arrivée des secours après avoir appelé le **18, 15 ou 112**.
- Si la victime est consciente :
 - ➔ l'installer au repos, couchée, dans un local abrité et chauffé ;
 - ➔ lui retirer ses vêtements humides ou mouillés et l'entourer dans une couverture ;
 - ➔ lui faire boire des boissons chaudes et sucrées, sans alcool ni caféine.
- Si la victime est inconsciente :
 - ➔ la coucher sur le côté (position latérale de sécurité) ;
 - ➔ lui assurer une protection thermique de la même façon (retrait des vêtements humides ou mouillés, enveloppement dans une couverture, éventuellement une couverture de survie) ;
 - ➔ assurer sa surveillance jusqu'à l'arrivée des secours.

pens de la microcirculation cutanée, ce qui peut provoquer la survenue de diverses dermatoses parmi lesquelles on trouve :

- **la xérose hivernale** : peau sèche et rêche, préférentiellement au niveau du visage et de la face antérieure des jambes, pouvant toucher également le dos des mains, les avant-bras, le tronc. Les personnes de tout âge peuvent être affectées, mais les processus de vieillissement sensibilisent la peau à un tel état de réactivité au froid [13] ;

- **les engelures** : gonflements inflammatoires et douloureux, de couleur rouge violacée, parfois accompagnés de crevasses, provoqués par le froid et affectant surtout les extrémités des membres et le visage (doigt, orteil, oreille, nez...). Ces lésions surviennent préférentiellement chez la femme (90 %), dans le contexte d'un terrain vasculaire particulier (acrocyanose). Elles régressent spontanément sans trouble résiduel, mais la récurrence est fréquente [7] ;

- **l'urticaire au froid** : le plus souvent idiopathique et acquise, se manifeste par un érythème prurigi-

neux des zones cutanées exposées au froid ;

- **le syndrome de Raynaud** : résulte de la constriction des petites artérioles des extrémités, souvent sous l'influence du froid. Les manifestations cliniques débutent par une pâleur cutanée, souvent suivie par un érythème et une cyanose. La maladie de Raynaud est cinq fois plus fréquente chez les femmes que chez les hommes.

Les pathologies favorisées par le froid sont les infections respiratoires, les pathologies cardiovasculaires, les maladies métaboliques et endocriniennes et la dépression nerveuse, avec un effet retardé d'une à quatre semaines [14].

● Sur le plan respiratoire, l'inhalation d'air froid peut provoquer un bronchospasme : c'est donc un facteur aggravant chez des sujets présentant un terrain asthmatique. Le froid pourrait également favoriser les pathologies infectieuses respiratoires en diminuant les résistances immunitaires et en favorisant la pénétration d'agents

infectieux du fait de l'assèchement des muqueuses [9].

● Le froid favorise **les pathologies cardiovasculaires**, en particulier les maladies coronariennes et les accidents vasculaires cérébraux. La vasoconstriction périphérique entraîne une élévation de la pression systolique et de la fréquence cardiaque, pouvant entraîner des crises d'angine de poitrine, voire un infarctus chez les sujets à risque, surtout en cas d'activité physique importante [8]. Quand les mécanismes de défense sont dépassés, le rythme ralentit, une arythmie peut survenir et conduire dans les cas extrêmes à l'arrêt cardiaque et au décès. D'autre part, l'augmentation de la pression artérielle liée à la libération de catécholamines augmente le risque d'hémorragie cérébrale. Enfin, quelques études retrouvent un lien entre baisse de la température centrale et survenue de dissection artérielle.

● Le travail au froid (température sèche inférieure à 15 °C) favorise l'apparition des troubles musculo-squelettiques du membre supérieur. Le froid est en effet associé à un accroissement de la force exercée et à une réduction de la force maximale volontaire. Par ailleurs, compte tenu du port de gants, à tâche égale, l'opérateur doit exercer une force plus grande en environnement froid qu'en environnement neutre. Enfin, le froid a tendance à exacerber les effets des vibrations transmises au système main/bras [15].

● L'instabilité du diabète et l'augmentation des complications vasculaires sont de règle en climat froid [8, 9].

FACTEURS INDIVIDUELS AGGRAVANTS

L'âge avancé constitue un facteur défavorable : les réponses thermorégulatrices au froid diminuent avec l'âge, en raison d'une réduction

de la masse musculaire et du vieillissement des systèmes endocrinien, cardiovasculaire et neurologique [9].

Les personnes très maigres (avec un indice de masse corporelle inférieur à 18,5) présentent trop peu de graisses corporelles pour être protégées du froid, et ont souvent un métabolisme ralenti avec une faible thermogénèse.

L'hypothyroïdie réduit le métabolisme et altère la thermogénèse ainsi que les réponses comportementales. L'insuffisance surrénale et l'hypopituitarisme peuvent aussi augmenter la sensibilité à l'hypothermie.

L'exposition aux ambiances froides climatiques augmenterait le risque d'accouchement prématuré [16].

Par ailleurs, la fatigue, le manque de sommeil, la déshydratation et la sous-alimentation sont susceptibles d'augmenter les risques liés au froid.

Le tabagisme est un facteur aggravant car la nicotine entraîne une vasoconstriction périphérique qui réduit la dextérité manuelle et augmente le risque de gelure.

La consommation d'alcool ou de drogues constitue aussi un facteur aggravant. L'alcool entraîne une vasodilatation cutanée périphérique qui accroît la perte de chaleur, réduit la thermogénèse et perturbe le fonctionnement de l'appareil thermorégulateur par son effet anesthésique central. Il supprime la douleur, premier signe d'alerte au froid, peut modifier les capacités de jugement et altérer la conscience, ce qui est source d'accident du travail.

La caféine, présente dans le café et le thé, mais aussi dans les produits chocolatés et les boissons énergisantes, a également un effet vasodilatateur et ne permet donc pas, contrairement aux idées reçues, de se réchauffer efficacement.

Certains médicaments peuvent être responsables de la survenue ou de l'aggravation de symptômes liés au froid en interagissant avec les mécanismes d'adaptation de l'organisme (empêchement du fonctionnement normal des mécanismes de réchauffement du corps, altération de la vigilance perturbant les capacités de l'individu à mettre en œuvre les mesures adéquates pour se protéger du froid) [17] :

● certains médicaments contre la tension et l'angine de poitrine peuvent altérer les mécanismes de lutte contre le froid ;

● les médicaments prescrits pour traiter une hypothyroïdie peuvent empêcher l'augmentation du métabolisme qui est nécessaire pour la production de chaleur ;

● les médicaments pour traiter des troubles mentaux : les neuroleptiques peuvent dérégler le thermostat central de l'organisme et provoquer une baisse de la température ; les sels de lithium peuvent devenir toxiques en cas de baisse de leur élimination ;

● la plupart des médicaments agissant sur la vigilance peuvent altérer les capacités à lutter contre le froid (sédatifs, hypnotiques).

AUTRES EFFETS DU FROID

Le froid agit péjorativement sur les **performances mentales** : une diminution modérée de la température affecte dans un premier temps les performances mentales : temps de réaction, temps de décision, cognition... [8]. Un froid accentué diminue plus sévèrement ces performances et peut provoquer des malaises, assoupissements, conduire à des erreurs ou à des accidents.

Chez les patients atteints de **drépanocytose**, le refroidissement cutané est un facteur déclenchant les crises douloureuses [9].

Travailler dans une ambiance thermique froide

L'exposition au froid peut provoquer tout type d'accident lié à la perte de dextérité, ainsi que les traumatismes par chute, glissade, sur un sol gelé et les accidents de la route liés à la neige ou au verglas.

Enfin, la digoxine et certains médicaments pour traiter une épilepsie seront moins bien distribués dans l'organisme.

La **base de données Épicea** [18] de l'INRS contient de nombreux exemples d'accidents du travail liés au froid. L'analyse de 65 récits d'accidents survenus entre 1982 et 2016 a permis d'identifier six catégories d'accidents :

- une exposition aux températures froides lors de travaux en extérieur : chantiers, centrales à béton, gravières, gardiennage... (renversement d'ouvrage en béton dû à une mauvaise prise du béton, effondrement de fouille, descente d'engin et glissade sur des plateformes ou sols gelés et glissants, glissade sur des toitures gelées et glissantes, présence de neige masquant des zones fragiles) ;
- une température froide dans des locaux, ateliers... induisant des dysfonctionnements sur des machines ou lors de processus, ou l'utilisation d'appareils de chauffage défectueux ;
- l'action du froid émanant de procédés naturellement froids (cryobroyage, autoclave, azote, présence de produits chimiques gelés et pouvant être incompatibles avec d'autres ou pouvant s'enflammer) à l'origine d'explosion en cas de contact entre des ambiances froides et chaudes ;
- les risques du travail en chambre froide négative pouvant être aggravés par l'utilisation de chariot et par une situation de travailleur isolé (exposant un salarié blessé à des températures très froides pendant plusieurs heures) ;

- le risque routier par temps hivernal ;
- le risque de noyade et d'hypothermie dans de l'eau très froide.

La lecture des récits montre notamment des situations de changement de procédés ou d'improvisation de mode opératoire dus à la présence de neige ou d'une période de froid. Les accidents liés au froid enregistrés dans Épicea se distinguent de l'ensemble des accidents par plusieurs caractéristiques :

- la proportion de travailleurs isolés est 3,5 fois plus importante parmi les victimes d'accident du travail en lien avec des ambiances froides (14 % contre 4 %) ;
- la répartition selon les mois de l'année montre logiquement un pic hivernal entre décembre et février ;
- la répartition selon le code des activités : l'alimentation, la chimie-caoutchouc-plasturgie, le bois-ameublement-papier-carton-pierres et terres à feu, se déclinant en une dizaine de codes NAF : 452BD (travaux de gros œuvre et organisation de chantiers), 142AE (extraction et préparation de matériaux alluvionnaires et de roches meubles), 151CA (production de viandes de volailles), 266AA (fabrication de produits en béton), 451AA (terrassement y compris travaux paysagers sauf horticulture), 555AA (cantines), 631DA (entreposage frigorifique), 746ZA (agences privées de recherches, entreprises de surveillance sans transport de fond), 900BE (enlèvement des ordures ménagères avec personnel de collecte...) ;
- plusieurs emplois sont plus fréquents parmi les victimes d'accidents liés au froid, particulièrement les conducteurs de chariot élévateur (9,2 % contre 1,4 %), les conducteurs d'engin de terrassement (6,2 % contre 1,7 %) et les chefs d'entreprise (6,2 % contre 1,4 %).

Des récits illustratifs sont présentés dans l'**encadré 3**.

BILAN DE L'ÉQUILIBRE THERMIQUE

Comme dans le cas de la contrainte à la chaleur [1], l'évaluation de la contrainte au froid repose sur l'équilibre thermique du corps dans son environnement de travail. Ce bilan dépend des différents échanges de chaleur entre le corps et l'environnement, régis par les caractéristiques de l'air, par l'activité physique du salarié et par l'isolement de sa tenue vestimentaire. Ce bilan d'équilibre thermique s'exprime en fonction des différents types d'échange thermique comme suit :

$$M - W +/ - C +/ - K +/ - R - \text{Cres} - \text{Eres} - \text{Ev} = 0$$

Où M est le métabolisme, W le travail, C les échanges par convection, K les échanges par conduction, R le rayonnement, Cres et Eres les échanges liés à la respiration et Ev l'évaporation de la sueur. Ces différents types d'échanges thermiques participent plus ou moins sensiblement à ce bilan. L'estimation de ces différents échanges et le respect ou non de cette équation d'équilibre va donc permettre de déterminer si la situation de travail engendre ou non une contrainte thermique pour le travailleur.

La caractérisation de la contrainte thermique ne peut donc se faire sans au préalable la mise en place d'une métrologie permettant de caractériser l'environnement du poste de travail. La mesure de grandeurs physiques, dont les températures de l'air et de rayonnement, l'humidité relative de l'air et la vitesse de l'air, est nécessaire. Bien qu'encadrées par une norme NF EN ISO 7726-2002 : *Appareils de mesure des gran-*

Encadré 3

> RÉCITS D'ACCIDENTS DU TRAVAIL D'APRÈS LA BASE DE DONNÉES ÉPICEA DE L'INRS : www.inrs.fr/epicea

Un opérateur de 31 ans travaille sur une machine de cryobroyage de plantes dans un laboratoire pharmaceutique. Il se trouve face à un dysfonctionnement de la machine. La vis sans fin de la cuve de précongélation est bloquée par un corps étranger. L'opérateur procède à l'ouverture des couvercles de la cuve, ce qui provoque l'arrêt du système d'entraînement et l'arrêt de l'injection d'azote liquide. Quelques heures plus tard, son corps est découvert inanimé dans la cuve, les jambes et le bassin ainsi que les mains et les avant-bras gelés. Il paraît vraisemblable que l'opérateur a subi un choc thermique important et suffoqué en respirant un air glacé nettement inférieur à 0 °C et où la proportion d'oxygène issu de l'air ambiant était incertaine.

Un cariste de 30 ans, de trois ans d'ancienneté, travaillant dans une entreprise de production de viande de volailles, se trouvait dans un entrepôt à -28 °C au milieu d'un palettier à douze travées mobiles. Il venait de déposer une palette au sol en dehors de l'allée et s'apprêtait à renouveler l'opération de prise de palette lorsqu'il a vu, avant même de monter les fourches, des colis congelés tomber du haut du palettier, puis le palettier lui-même s'écrouler. Le transpalette s'est trouvé enfoui pendant quatre heures sous les produits évalués à 100 tonnes, dans cette ambiance très froide et dans le noir. L'engin possédait une protection renforcée et un système de dégivrage des vitres jusqu'à 0 °C. Disposant d'un moyen de communication avec l'extérieur du local, le cariste a pu donner sa position et être secouru.

Un soir de janvier dans l'est de la France, un agent de sécurité de 46 ans se rendait

avec sa voiture personnelle en mission. Son travail consistait à assurer le gardiennage nocturne d'un lycée situé à une soixantaine de kilomètres de chez lui. Il a eu un accident aux alentours de 21h30. Un automobiliste qui passait a trouvé sa voiture immobilisée dans un champ. Il s'est arrêté et a trouvé l'agent de sécurité mort à côté de son véhicule accidenté. D'après le médecin intervenu sur les lieux, il aurait pu être sauvé s'il avait été secouru à temps. Sa mort n'aurait pas pu être provoquée par ses blessures à elles seules, mais par le froid qu'il faisait ce soir-là (-o °C).

Un cariste de 33 ans conduisait un chariot automoteur pour manutentionner une bobine d'acier de dix tonnes sur une voie de circulation interne de l'entreprise, qui surplombe une rivière. Pour éviter des travaux de rebouchage de la voie de circulation, le cariste a dû se déplacer de la voie habituelle de roulement. L'ensemble chariot et bobine est passé à environ 1,50 m du bord du mur de soutènement. À ce moment-là, il y a eu affaissement et glissement du terrain. Le chariot a glissé avec les terres jusqu'au chemin de halage, où il s'est retourné avant de s'enfoncer dans la rivière. Le cariste resté au volant a pu s'extraire de la cabine, remonter à la surface et s'accrocher à une roue qui émergeait de l'eau. Il a été secouru dans un premier temps par un collègue de travail qui plongeait et le rejoignit, le maintenant hors de l'eau jusqu'à l'arrivée des secours. La température extérieure était de 2 °C. Le cariste ne savait pas nager. Le cariste souffrait d'un choc nerveux et d'une hypothermie générale. La température de son corps était de 32,8 °C à son arrivée à l'hôpital.

deurs physiques [19], ces mesures peuvent présenter des précautions de réalisation ou des subtilités qu'il s'avère judicieux de connaître pour garantir la caractérisation de la situation la plus représentative possible de la réalité de travail.

- La **température de l'air**, désignée également sous le terme température sèche, est mesurée par une grandeur physique continue. La gamme de température préconisée pour couvrir les situations de contrainte thermique doit être comprise entre -40 et 200 °C. De façon à ce que le rayonnement thermique des surfaces environnantes n'influe pas sur la mesure, il est recommandé de placer l'élément sensible (bulbe d'un thermomètre ou soudure d'un thermocouple par exemple) dans un cylindre en métal qui réfléchit le rayonnement incident. Le cylindre « écran » peut être ou non ventilé, cela joue uniquement sur le temps de réponse de l'appareil ; il sera plus rapide dans le cas d'un cylindre ventilé.

- La **température moyenne de rayonnement** : dans les ambiances thermiques froides, le rayonnement est généralement négligeable devant les autres contributions au bilan thermique.

- La **vitesse de l'air** se caractérise par son amplitude et sa direction. Cependant, dans la caractérisation de la contrainte, n'est pris en compte que l'amplitude de la vitesse, soit sa valeur intrinsèque. Sa mesure peut être réalisée par des anémomètres à fil ou boule chaude ou bien par des anémomètres à hélice ; la gamme de mesure conseillée doit couvrir 0,2 à 20 m/s. La vitesse de l'air est une grandeur très fluctuante, aussi, pour diminuer les effets de cette caractéristique propre, il est recommandé d'enregistrer la mesure de la vitesse pendant la durée de stabilisation du globe et de considérer la

Travailler dans une ambiance thermique froide

moyenne des valeurs obtenues. En revanche, connaître les fluctuations de vitesse permet de renseigner ou d'objectiver des situations d'inconfort local dont peuvent souffrir certains salariés à des postes de travail spécifiques.

Dans le cas spécifique de salariés exerçant à l'extérieur, la vitesse de l'air va impacter directement la température perçue par le corps humain : on parle de **refroidissement éolien** (*wind chill* en anglais), pour désigner la sensation de froid produite par le vent sur un organisme qui dégage de la chaleur, alors que la température réelle de l'air ne s'abaisse pas. Cet indice de refroidissement éolien R_c , aussi désigné par WCI pour *Wind Chill Index*, est particulièrement pertinent pour les travailleurs évoluant en extérieur en période hivernale ; il est donné pour une température d'air et une vitesse de vent. Le tableau dans l'**encadré 4** regroupe les différentes valeurs du refroidissement éolien assorties des risques associés.

● Enfin, la quatrième grandeur physique à mesurer est l'**humidité de l'air**. L'air est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. La quantité de cette vapeur d'eau va permettre de déterminer l'humidité de l'air. La mesure de l'humidité se fait généralement grâce à l'utilisation d'une sonde capacitive de gamme 5 à 95 %. En complément de la mesure des caractéristiques liées à l'environnement, il est nécessaire d'estimer le métabolisme du sujet, reflet de son activité physique et l'isolement de sa tenue de travail. Ces grandeurs sont également explicitées par des normes.

Le métabolisme énergétique est la source de chaleur la plus importante fournie au corps, il correspond à la somme du métabolisme de base et de celui d'activité. Le métabolisme de base correspond aux besoins énergétiques incom-

pressibles de l'organisme. Il peut être estimé à partir du taux d'oxygène consommé par le corps à l'identique d'une réaction de combustion, mais sur le terrain cela est difficilement mesurable. Aussi il existe des formules empiriques permettant d'estimer ce métabolisme selon que l'on est un homme ou une femme et ce, en fonction de l'âge, de la taille et du poids du sujet. Au métabolisme de base s'ajoute le métabolisme d'activité qui est un métabolisme supplémentaire lié à une activité physique donnée. Cette grandeur est analogue à une puissance et s'exprime en $W.m^{-2}$. La détermination du métabolisme est détaillée dans une norme spécifique NF EN ISO 8996 : 2005 - *Détermination du métabolisme énergétique* [20]. Un exemple de tableau de métabolisme pour des activités usuelles est fourni en **annexe 1** (p. 44).

L'isolement vestimentaire (I_{cl}) de la tenue de travail du salarié est encadré par une norme spécifique, la norme ISO 9920-2009 : *Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire* [21]. Étant donné qu'il est assez fastidieux de calculer l'isolement thermique d'une tenue vestimentaire, cette norme fournit des tableaux de données de l'isolement vestimentaire I_{cl} pour des tenues complètes ou pour différentes pièces vestimentaires devant être ajoutées pour avoir l'isolement de la tenue complète. Toutes ces données ont été obtenues de façon empirique en employant un mannequin thermique en position debout dans une ambiance où la vitesse de l'air est inférieure à 0,2 m/s. Deux exemples de tableaux d'isolement vestimentaire pour quelques tenues de travail, extraits de la norme précédemment citée, sont fournis en **annexe 2** (p. 45). Le premier regroupe

un exemple d'isolement vestimentaire de quelques tenues de travail au froid pour un salarié en situation statique, tandis que le second propose des exemples d'isolement thermique à la fois pour une situation statique du salarié mais aussi pour une situation de marche par vent nul (situation dynamique).

L'indice IREQ

La mesure des paramètres décrits précédemment permet de définir/calculer l'évaluation de l'isolement des vêtements requis pour maintenir le bilan thermique du corps à l'équilibre qui constitue la méthode d'évaluation des risques généralement utilisée en situation de travail au froid. Cette méthode est encadrée par la norme NF EN ISO 11079-2008 : *Détermination et interprétation de la contrainte liée au froid en utilisant l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) et les effets du refroidissement local* [4] (**figure 2** p. 38). En effet, les basses températures associées au refroidissement par le vent peuvent mettre en danger l'équilibre thermique du corps humain. En choisissant correctement les vêtements, il est souvent possible de contrôler et réguler les pertes thermiques corporelles afin de compenser la variation du climat environnant ou intérieur.

L'équation bilan précédente (cf. p. 34) est alors résolue pour l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) qui permet de maintenir l'équilibre thermique du corps en respectant les critères d'astreinte physiologique spécifiés. Le calcul de l'IREQ est réalisé à l'aide d'un outil en ligne de l'Université de Lund (Suède), à partir des données mesurées et estimées [22]. La valeur IREQ obtenue est ensuite comparée à la protection thermique du vêtement du travailleur. Si l'isolement thermique du vêtement porté par le salarié est inférieur à la valeur prescrite, une durée

Encadré 4

> L'INDICE DE REFROIDISSEMENT ÉOLIEN

L'indice de refroidissement éolien R_c est un indice standardisé utilisé au Canada et aux États-Unis, qui s'exprime par un nombre sans dimension mais s'apparentant à une température ressentie. Cela signifie que la valeur indiquée équivaut à la sensation ressentie sur la peau par une journée à cette température et à cette vitesse de vent.

Par exemple à $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ par un vent de 30 km/h , l'indice éolien R_c est de $-19,5$; ce qui équivaut à une sensation sur le corps d'une température extérieure de $-19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vitesse vent à 10 m d'altitude		Température extérieure mesurée sous abris												
km/h	m/s	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
0	0	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
5	1,4	9,8	4,1	-1,6	-7,3	-12,9	-18,6	-24,3	-30,0	-35,6	-41,3	-47,0	-52,6	-58,3
10	2,8	8,6	2,7	-3,3	-9,3	-15,3	-21,2	-27,2	-33,2	-39,2	-45,1	-51,1	-57,1	-63,0
15	4,2	7,9	1,7	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1	-35,2	-41,4	-47,6	-53,7	-59,9	-66,1
20	5,6	7,4	1,1	-5,2	-11,6	-17,9	-24,2	-30,5	-36,8	-43,1	-49,4	-55,7	-62,0	-68,3
25	6,9	6,9	0,5	-5,9	-12,3	-18,8	-25,2	-31,6	-38,0	-44,5	-50,9	-57,3	-63,7	-70,2
30	8,3	6,6	0,1	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6	-39,1	-45,6	-52,1	-58,7	-65,2	-71,7
35	9,7	6,3	-0,4	-7,0	-13,6	-20,2	-26,8	-33,4	-40,0	-46,6	-53,2	-59,8	-66,4	-73,1
40	11,1	6,0	-0,7	-7,4	-14,1	-20,8	-27,4	-34,1	-40,8	-47,5	-54,2	-60,9	-67,6	-74,2
45	12,5	5,7	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8	-41,5	-48,3	-55,1	-61,8	-68,6	-75,3
50	13,9	5,5	-1,3	-8,1	-15,0	-21,8	-28,6	-35,4	-42,2	-49,0	-55,8	-62,7	-69,5	-76,3
55	15,3	5,3	-1,6	-8,5	-15,3	-22,2	-29,1	-36,0	-42,8	-49,7	-56,6	-63,4	-70,3	-77,2
60	16,7	5,1	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5	-43,4	-50,3	-57,2	-64,2	-71,1	-78,0
65	18,1	4,9	-2,1	-9,1	-16,0	-23,0	-30,0	-36,9	-43,9	-50,9	-57,9	-64,8	-71,8	-78,8
70	19,4	4,7	-2,3	-9,3	-16,3	-23,4	-30,4	-37,4	-44,4	-51,4	-58,5	-65,5	-72,5	-79,5
75	20,8	4,6	-2,5	-9,6	-16,6	-23,7	-30,8	-37,8	-44,9	-51,9	-59,0	-66,1	-73,1	-80,2
80	22,2	4,4	-2,7	-9,8	-16,9	-24,0	-31,1	-38,2	-45,3	-52,4	-59,5	-66,6	-73,7	-80,8
85	23,6	4,3	-2,9	-10,0	-17,2	-24,3	-31,5	-38,6	-45,7	-52,9	-60,0	-67,2	-74,3	-81,5
90	25,0	4,1	-3,1	-10,2	-17,4	-24,6	-31,8	-39,0	-46,1	-53,3	-60,5	-67,7	-74,9	-82,0
95	26,4	4,0	-3,2	-10,4	-17,7	-24,9	-32,1	-39,3	-46,5	-53,7	-61,0	-68,2	-75,4	-82,6
100	27,8	3,9	-3,4	-10,6	-17,9	-25,1	-32,4	-39,6	-46,9	-54,1	-61,4	-68,6	-75,9	-83,1

Ce tableau est assorti de zones de risque sur la santé en fonction de la valeur de l'indice R_c

$0,0 < R_c$	Sans risque de gelures ni d'hyperthermie (pour une exposition normale)
$-10,0 < R_c \leq 0,0$	Faible risque de gelures
$-28,0 < R_c \leq -10,0$	Faible risque de gelures et d'hypothermie
$-40,0 < R_c \leq -28,0$	Risque modéré de gelures en 10 à 30 minutes de la peau exposée et d'hypothermie
$-48,0 < R_c \leq -40,0$	Risque élevé de gelures en 5 à 10 minutes (voir note) de la peau exposée et d'hypothermie
$-55,0 < R_c \leq -48,0$	Risque très élevé de gelures en 2 à 5 minutes (voir note) sans protection intégrale ni activité
$R_c \leq -55,0$	Danger ! Risque extrêmement élevé de gelures en moins de 2 minutes (voir note) et d'hypothermie. Rester à l'abri.

Note : les risques de gelures peuvent survenir plus rapidement en cas de vents soutenus supérieurs à 50 km/h .

d'exposition admissible est calculée à partir des niveaux acceptables de refroidissement corporel.

Par définition, l'IREQ est l'isolement thermique résultant d'un vêtement, requis dans les conditions ambiantes réelles afin de maintenir le corps dans un état d'équilibre thermique à des niveaux acceptables de température du corps et de température cutanée. L'IREQ est donc :

a) une grandeur de mesure de la contrainte liée au froid, qui tient compte des effets de la température

de l'air, de la température moyenne de rayonnement, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air pour des niveaux définis de métabolisme énergétique ;

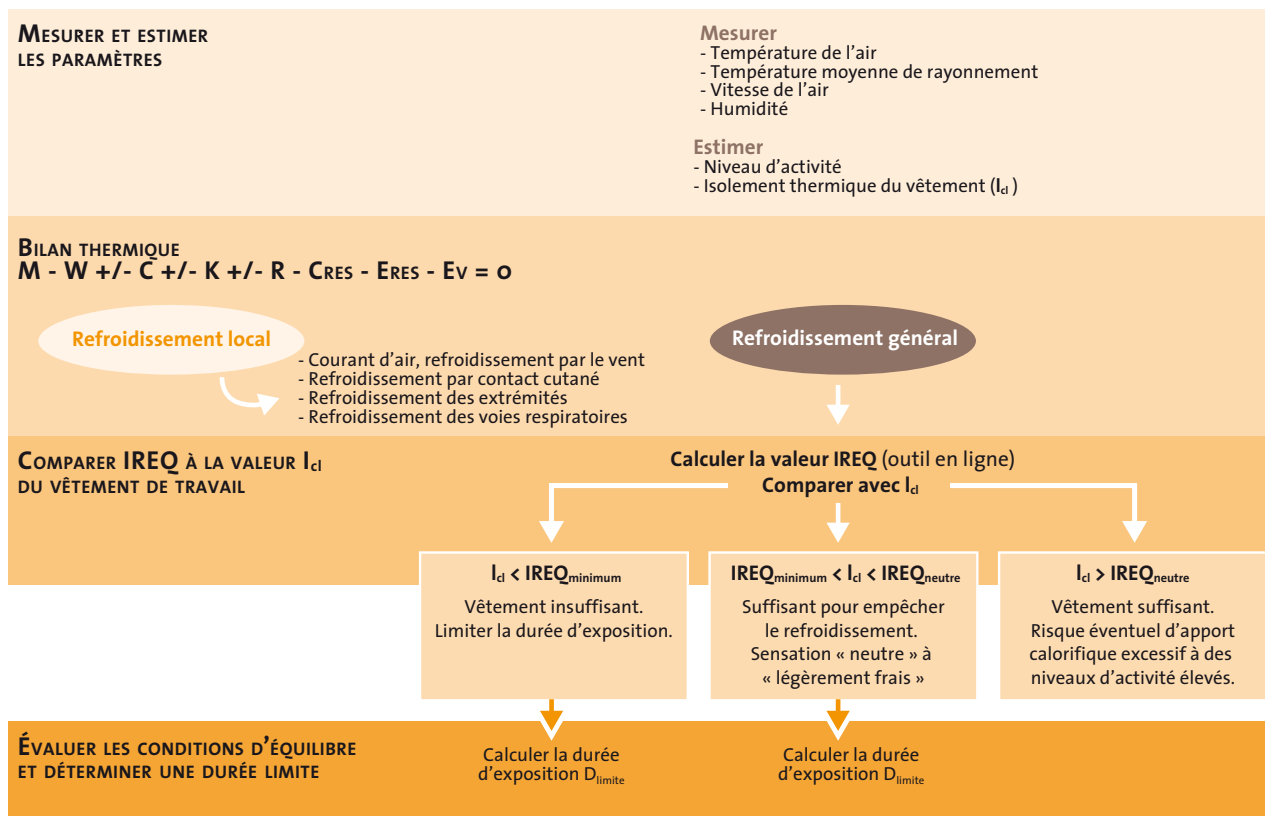
b) une méthode qui permet d'analyser les effets de l'environnement thermique et du métabolisme énergétique sur le corps humain dans un environnement de travail froid ;

c) une méthode qui permet de définir les exigences relatives à l'isolement thermique du vêtement et de choisir ensuite le vêtement à uti-

liser dans les conditions réelles de travail ;

d) et une méthode qui permet d'évaluer les variations des paramètres de l'équilibre thermique comme les mesures destinées à apporter des améliorations à la conception et de planifier la durée et les régimes de travail dans des conditions froides. Outre la définition de l'isolement requis, la norme d'évaluation du risque en environnements froids [4] insiste sur les refroidissements localisés. En effet, il est important de

Figure 2 : Procédure de détermination de l'indice de contrainte froide IREQ (isolement thermique requis du vêtement) et de la durée limite d'exposition



LES CRITÈRES D'ASTREINTES

IREQ « neutre » : faible astreinte physiologique → Température du corps maintenue – Absence de refroidissement

IREQ « minimum » : astreinte physique → Vasoconstriction périphérique – Absence de sudation – Sensation de froid

savoir que le refroidissement local d'une partie quelconque du corps, en particulier au niveau des mains, des pieds et de la tête, peut engendrer une gêne, une dégradation des performances manuelles et physiques et une blessure due au froid.

PRÉVENTION

Les mesures de prévention s'inscrivent dans la perspective d'une démarche globale, conçue le plus en amont possible, dès la conception des locaux, en passant par des mesures d'organisation du travail, d'information et de formation des salariés, particulièrement nécessaires ici en raison de l'importance de la protection individuelle.

Dans une situation de contrainte au froid, se distinguent deux types d'actions de prévention qui doivent être menées en parallèle : les actions techniques qui visent à agir sur les paramètres régissant l'équilibre thermique du corps dans son environnement et les actions organisationnelles qui elles, visent à agir sur la situation de travail.

Un Guide national relatif à la prévention et à la gestion des impacts sanitaires et sociaux liés aux vagues de froid [23] a été diffusé conjointement par les ministères chargés de la Santé, du Travail, de l'Intérieur et de la Cohésion des territoires pour l'hiver 2018-2019. Il est organisé autour de quatre axes stratégiques (prévenir et anticiper les effets des vagues de froid, protéger les populations, informer et communiquer,

capitaliser les expériences) déclinés sous forme de fiches. La fiche 8 concerne spécifiquement le milieu de travail.

LES ACTIONS SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL

En présence d'une baisse des températures, il est nécessaire de repenser l'organisation du travail en extérieur en veillant notamment à limiter le temps d'exposition au froid, organiser des rotations de tâches, des pauses et un temps de récupération supplémentaire, modifier les rythmes de travail en fonction des conditions climatiques du moment (température, verglas, pluie, neige...), planifier les activités de travail en extérieur en tenant compte des prévisions météorolo-

giques, réorganiser le travail pour accomplir les tâches au froid durant les périodes plus chaudes de la journée, limiter le travail sédentaire au froid, privilégier le travail d'équipe, éviter que des salariés travaillent de manière isolée, porter une attention particulière aux salariés intérieurs.

Le rythme de travail doit également être aménagé pour tenir compte de la période d'acclimatement à l'ambiance thermique, l'idéal étant de permettre à chaque opérateur d'adopter son propre rythme de travail, en fonction de son adaptation personnelle à la température.

Si les températures sont glaciales, le salarié qui travaille en extérieur doit avoir accès à un local chauffé pour se reposer, pouvoir disposer de boissons chaudes, éventuellement de douches chaudes, avoir la possibilité de sécher ses vêtements et stocker ceux de rechange dans une ambiance tempérée.

L'optimisation des mesures organisationnelles nécessite aussi l'information et la formation des salariés. Les zones concernées doivent être signalées : « zone basse température ». La température ambiante des lieux de travail doit être surveillée. Les recommandations et gestes de premiers secours doivent être affichés. Certaines situations de travail imposent une vigilance particulière : local ou espace clos, travailleur isolé...

LES ACTIONS TECHNIQUES

Les actions techniques vont directement impacter les différents paramètres intervenant dans le bilan thermique du corps. Pour ce qui est des paramètres liés à l'environnement : température de l'air, vitesse, humidité et température de rayonnement, il s'agit d'actions techniques générales.

Les actions techniques à mener concernant la température et l'hu-

midité visent, lorsque cela est possible et ne modifie pas le procédé industriel, à une élévation de la température et une limitation des apports de froid, comme les courants d'air et les sources d'humidité. Ces actions peuvent se décliner au niveau général du bâtiment en repensant l'isolation thermique des murs et toiture, voire le changement des surfaces vitrées par des vitrages thermiquement plus performants que l'existant. Cela concerne également les postes de travail localisés comme les abris de chantier, les bureaux, les postes de surveillance.

Pour supprimer des courants d'air ou des entrées d'air froid, dans certaines configurations, il peut être utile de placer des bâches, des rideaux ou des écrans déflecteurs ou créer des zones tampons. C'est le cas par exemple sur les quais de déchargement de marchandises ou à l'entrée de grandes surfaces commerciales qui sont munies souvent de sas ou portes automatiques.

En ce qui concerne les sources intérieures de froid, comme l'usage d'appareils spécifiques, il est recommandé de les placer dans un local dédié, ventilé et isolé et de calorifier les parois ou canalisations froides. Dans ce cas, il est nécessaire de veiller à ne pas favoriser par ces actions les zones de condensation, c'est pourquoi il faut veiller à conserver une ventilation suffisante mais en ne dépassant pas 0,15 m/s pour éviter le ressenti de courant d'air.

Par ailleurs, il est nécessaire de choisir pour les sols des matériaux permettant d'éviter le risque de glissade.

Concernant le contact du salarié avec une surface froide, il est recommandé d'isoler thermiquement les surfaces métalliques de contact, d'utiliser des outils avec un manche faiblement conducteur et des sièges en matériaux thermiquement isolants.

Enfin, la mise en place d'aide à la manutention manuelle, afin de réduire la charge physique de travail et la transpiration des salariés, est aussi préconisée.

FORMATION ET INFORMATION

Les salariés doivent être formés et informés sur les risques liés au travail en ambiance froide et leur prévention, les signes d'alerte et les symptômes d'effets sur la santé ainsi que les mesures d'urgences. Si besoin, la formation des secouristes sera complétée.

D'autres mesures sont susceptibles également de diminuer les risques liés à une ambiance thermique froide, et les salariés doivent en être informés. Il s'agit notamment de bien se nourrir en privilégiant les aliments riches en sucres lents (féculents), les soupes et autres boissons chaudes pour éviter la déshydratation (à l'exception du thé et du café) et d'éviter l'alcool qui, contrairement aux idées reçues, ne réchauffe pas !

LES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

La fourniture de vêtements et d'équipements de protection adaptés contre le froid doit permettre d'assurer une bonne protection thermique sans nuire aux exigences liées aux missions à effectuer, notamment en termes de mobilité et de dextérité. En fonction des ambiances thermiques, il est possible d'envisager le port de vêtements chauds, de gants, de sous-gants, de bottes fourrées et d'un bonnet. L'important est d'adapter le vêtement de travail aux conditions de froid tout en conservant la bonne aisance des mouvements à effectuer ; de donner aux salariés les moyens de faire sécher leur vêtement ou d'en changer régulièrement. Il est pré-

Travailler dans une ambiance thermique froide

conisé de multiplier les couches de vêtements amples favorisant l'emprisonnement d'air statique qui est un très bon isolant thermique. Il est intéressant de commencer par une couche isolante et absorbante près de la peau pour permettre d'éloigner la transpiration puis de terminer par une couche extérieure imperméable au vent et à l'humidité mais perméable à la vapeur d'eau pour éliminer la transpiration si le salarié est amené à effectuer des tâches physiques.

Le choix des équipements de protection individuelle et des vêtements pour travailler en environnement froid doit donc respecter différents critères : efficacité vis-à-vis du froid, confort, compatibilité avec les autres EPI nécessaires au travail, persistance d'une mobilité et d'une dextérité correctes. Les fabricants proposent des gammes de vêtements conformes à la norme EN 14058 [24] pour des environnements modérément froids (température supérieure à -5 °C) ou à la norme EN 342 [25] pour des environnements très froids (température d'air inférieure à -5 °C).

La protection des extrémités est capitale. Les gants de protection contre le froid doivent répondre à la norme EN 511 [26] et les chaussures de sécurité à la norme EN 345 [27] avec semelle isolante contre le froid. Il est important de ne pas négliger la tête et le cou, car près de 30 % de la chaleur corporelle est évacuée par le crâne et la bouche, et de rester vigilant sur la protection des mains. Le port d'un bonnet isolant adaptable au casque permet d'empêcher une perte de chaleur excessive par la tête. Lorsque le port d'un casque n'est pas nécessaire, différents modèles de cagoules sont disponibles en fonction de l'analyse des risques.

LE RÔLE DU SERVICE DE SANTÉ AU TRAVAIL

Le service de santé au travail (SST) conseille l'employeur, les salariés et leurs représentants sur les mesures nécessaires afin d'éviter ou de diminuer les risques professionnels, notamment en participant à l'évaluation des risques dans le cadre de l'élaboration de la fiche d'entreprise et dans le cadre de son action sur le milieu de travail, au service de la prévention et du maintien dans l'emploi des travailleurs, qu'il conduit avec les autres membres de l'équipe pluridisciplinaire.

Il participe ainsi à la mise en place des mesures de prévention en lien avec l'employeur et le Comité social et économique (CSE), ainsi qu'à l'information des salariés et notamment des salariés les plus à risque (antécédents médicaux, prise de médicaments, travailleurs vieillissants, intérimaires...).

Il a un rôle particulier dans l'organisation des secours en lien avec les structures d'urgences locales.

RÉGLEMENTATION

Aucune indication de température minimale en deçà de laquelle il est dangereux ou interdit de travailler n'est donnée dans le Code du travail. Cependant, certaines dispositions relatives aux ambiances particulières de travail répondent au souci d'assurer des conditions de travail adaptées en cas de grand froid.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Conformément aux dispositions du Code du travail, l'employeur est tenu de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé

physique et mentale des travailleurs (art. L. 4121-1 et suivants du Code du travail), en application des principes généraux de prévention. Il doit notamment prendre en considération les ambiances thermiques, dont le risque de grand froid, dans le cadre de sa démarche d'évaluation des risques, de l'élaboration du document unique d'évaluation des risques (DUER) et de la mise en œuvre d'un plan d'actions prévoyant des mesures de prévention.

Les entreprises sont tenues de suivre les mesures préconisées par les directions régionales des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (DIRECCTE). Des agents de contrôle de l'inspection du travail peuvent intervenir pour s'assurer du respect des règles de prévention. Ainsi, l'absence de chauffage dans les locaux peut entraîner, par exemple, une mise en demeure suivie de sanctions pénales.

Ces actions de prévention se traduisent par des actions d'information et de formation ainsi que la mise en place d'une organisation et de moyens adaptés.

Certaines dispositions réglementaires plus ciblées, consacrées à l'aménagement des situations de travail, répondent en outre au souci d'assurer des conditions de travail satisfaisantes, y compris dans des ambiances de travail où les températures sont basses. L'employeur doit notamment :

- aménager les postes de travail extérieurs de telle sorte que les travailleurs soient protégés contre les conditions atmosphériques (art. R. 4225-1 du Code du travail) ;
- veiller à ce que les locaux fermés affectés au travail soient chauffés pendant la saison froide, en s'assurant que le chauffage maintienne une température convenable et

qu'il ne donne lieu à aucune émanation délétère (article R. 4223-13 du Code du travail).

Les dispositions prises pour assurer la protection des salariés contre les températures extrêmes nécessitent l'avis du médecin du travail et du CSE. Le médecin du travail, en sa qualité de conseiller de l'employeur, des travailleurs, des représentants du personnel et des services sociaux, pourra par ailleurs proposer des mesures pour améliorer les conditions de vie et de travail dans l'entreprise, adapter les postes et les rythmes de travail à la santé des salariés.

Il pourra également proposer, par écrit et après échange avec le salarié et l'employeur, des mesures individuelles d'aménagement, d'adaptation ou de transformation du poste de travail ou des mesures d'aménagement du temps de travail justifiées par des considérations relatives notamment à l'âge ou à l'état de santé physique et mental du travailleur (art. L. 4624-3 à L. 4624-6 du Code du travail).

DROIT DE RETRAIT DU SALARIÉ

S'agissant de l'exercice du droit de retrait des salariés (art. L. 4131-1 à L. 4131-4 du Code du travail), il est rappelé que celui-ci s'applique strictement aux situations de danger grave et imminent. En effet, si un salarié se sent menacé par un risque grave de blessure ou d'accident, en raison de sa situation de travail, il peut alors interrompre ses activités et quitter son poste de travail, ou bien refuser de s'y installer, tant que son employeur n'a pas mis en place les mesures de prévention adaptées.

Ce dispositif s'apprécie subjectivement du point de vue du salarié. En effet, le salarié n'a pas à prouver qu'il y a bien un danger, mais doit se sentir menacé par les tempéra-

tures extrêmes par exemple de son poste de travail. C'est bien au salarié d'apprécier au regard de ses compétences, de ses connaissances et de son expérience si la situation présente pour lui un danger « grave » et « imminent » pour sa vie ou sa santé.

Dans les situations de travail par grand froid, une évaluation des risques et la mise en place de mesures de prévention appropriées permet toutefois en principe de limiter les situations de danger.

DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES

CHANTIERS BTP

Les travailleurs doivent disposer, soit d'un local permettant leur accueil dans des conditions de nature à préserver leur santé et leur sécurité en cas de survenance de conditions climatiques susceptibles d'y porter atteinte, soit d'aménagements de chantiers les garantissant dans des conditions équivalentes (art. R. 4534-142-1 du Code du travail).

Pour certaines activités, l'entrepreneur peut, sous certaines conditions, décider d'arrêter le travail pour intempéries après consultation du CSE (art. L. 5424-9 du Code du travail). Au sens du Code du travail, sont considérées comme des intempéries, les conditions atmosphériques et les inondations lorsqu'elles rendent dangereuses ou impossible l'accomplissement du travail eu égard soit à la santé ou à la sécurité des salariés, soit à la nature ou à la technique du travail à accomplir.

JEUNES TRAVAILLEURS

Les jeunes travailleurs de moins de 18 ans ne peuvent être affectés qu'à des travaux qui ne sont pas susceptibles de porter atteinte à leur sécurité, à leur santé ou à

leur développement (art. L. 4153-8 du Code du travail). À cet égard, le Code du travail prévoit l'interdiction de les affecter à des travaux les exposant à une température extrême susceptible de nuire à la santé (art. D. 4153-36 du Code du travail).

DISPOSITIONS APPLICABLES AUX MAÎTRES D'OUVRAGE

Le maître d'ouvrage doit se conformer à certaines règles relatives à l'aménagement des locaux de travail. Ainsi, les équipements, les locaux de travail ainsi que les locaux annexes (de restauration, sanitaires et médicaux) doivent être conçus de manière à permettre l'adaptation de la température à l'organisme humain pendant le temps de travail, compte tenu des méthodes de travail et des contraintes physiques supportées par les travailleurs. Ces dispositions ne font pas obstacle à celles du Code de la construction et de l'habitation relatives aux caractéristiques thermiques des bâtiments autres que d'habitation (art. R. 4213-7 à R. 4213-9 du Code du travail).

DISPOSITIF « PÉNIBILITÉ »

Les températures extrêmes font partie des facteurs de risques professionnels concernés par le dispositif pénibilité. Les salariés exposés plus de 900 heures par an à une température inférieure à 5 °C sont ainsi susceptibles d'acquiescer des points crédités sur le compte personnel de prévention (C2P) et de bénéficier de mesures de compensation. La température s'entend comme étant la température liée à l'activité elle-même ; les températures extérieures n'étant pas prises en considération dans le cadre de ce dispositif (art. D. 4163-2 du Code du travail)².

2. Instruction n°DGT/DSS/SAFSL/2016/178 du 20 juin 2016 relative à la mise en place du compte personnel de prévention de la pénibilité.

Travailler dans une ambiance thermique chaude

CONCLUSION

Le travail en ambiance froide concerne à la fois les salariés exposés à des températures inférieures à 15 °C par le processus de production, mais également les nombreux salariés travaillant en extérieur et exposés aux intempéries, notamment dans les bâtiments et travaux publics, l'administration publique, le transport, le commerce. Dans de tels environnements, en l'absence de mesures de prévention, les capacités d'adaptation physiologique du corps humain peuvent être dépassées et entraîner des conséquences pour la santé (gelures, syndrome de Raynaud...) dont la plus grave est l'hypothermie. En situation d'hypothermie, toutes les fonctions physiologiques sont ralenties et la

symptomatologie, allant des frissons à la confusion, au coma et au décès, nécessite une prise en charge d'urgence. Par ailleurs, le froid peut être responsable de chutes sur sol gelés ou d'accidents de la route.

L'évaluation de la contrainte thermique fait appel à la détermination de l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) pour laquelle il sera nécessaire de mesurer les grandeurs thermo-aérauliques caractérisant l'environnement de travail (température de l'air, humidité, vitesse...). Par ailleurs, pour les salariés travaillant en extérieur en hiver, il est pertinent d'utiliser l'indice de refroidissement éolien, aux différentes valeurs duquel sont assortis des risques associés.

La prévention des risques liés aux ambiances thermiques froides passe par des mesures organisa-

tionnelles (temps d'exposition au froid, rotation des tâches, pauses, rythmes de travail...), des mesures techniques (isolation thermique des bâtiments, écrans déflecteurs, zones tampons...), la fourniture de vêtements et d'équipements de protection adaptés permettant d'assurer une bonne protection thermique et intégrant les exigences de l'activité, la formation et l'information des salariés notamment aux premiers secours. Les services de santé au travail, de par leur rôle de conseil des acteurs de l'entreprise, interviennent aux différentes étapes de la démarche de prévention et spécifiquement dans l'élaboration des mesures d'urgence.

POINTS À RETENIR

- L'exposition des salariés à une ambiance thermique froide peut être à l'origine d'effets sur la santé potentiellement graves : gelures, hypothermie...
- Des mécanismes physiologiques de thermorégulation, notamment la vasoconstriction et le frisson, peuvent être débordés dans certaines situations, qu'il faut identifier en réalisant une évaluation des risques.
- L'évaluation de la contrainte thermique se base sur la mesure de grandeurs environnementales caractérisant l'environnement du poste de travail et l'estimation du métabolisme du sujet pour déterminer l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ).
- En fonction de l'évaluation des risques, diverses mesures de prévention sont possibles, de la conception des locaux à l'organisation du travail, en passant par des mesures techniques, l'information et la formation des salariés.
- Aucune indication de température minimale au-delà de laquelle il est dangereux ou interdit de travailler n'est donnée dans le Code du travail : il est de la responsabilité de l'employeur de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé des salariés exposés à des ambiances thermiques froides.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | ROBERT L, TURPIN-LEGENDRE E, SHETTLE J, TISSOT C ET AL. - Travailler dans une ambiance thermique chaude. Grand angle TC 165. *Réf Santé Trav.* 2019 ; 158 : 31-55.
- 2 | VINCK L - Les expositions aux risques professionnels. Les ambiances et contraintes physiques. Enquête Sumer 2010. *Synth Stat. Synth Éval.* 2014 ; 8 : 1-186.
- 3 | VOGT JJ - Chaleur et froid. In: STELLMAN JM (Ed) - Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, 3^e édition française, traduction de la 4^e édition anglaise. Volume 2. Genève : Bureau international du travail (BIT) ; 2000 : 1-20, 4838 p.
- 4 | Ergonomie des ambiances thermiques. Détermination et interprétation de la contrainte liée au froid en utilisant l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) et les effets du refroidissement local. Norme française homologuée NF EN ISO 11079. Février 2008. Indice de classement X 35-215. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2008 : 43 p.
- 5 | Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. Norme française homologuée NF EN ISO 9886. Juillet 2004. Indice de classement X 35-207. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2004 : 24 p.
- 6 | Cold Stress. Update 2018. In: TLVs and BEIs with 7th edition documentation. Cincinnati : ACGIH ; 2018 : 1 CD-Rom.
- 7 | SAVOUREY G, LAUNAY JC, MELIN B - Physiopathologie et prévention des troubles liés à l'exposition à la chaleur ou au froid. *ADSP.* 2003 ; 45 : 4-9.
- 8 | BITTEL J, SAVOUREY G - Travail au froid. Encyclopédie médico-chirurgicale. Toxicologie, Pathologie professionnelle 16-400-A-10. Paris : Éditions scientifiques et médicales Elsevier ; 2004 : 10 p.
- 9 | LAUNAY JC, BOURRILHON C, SAVOUREY G - Travail au froid. Encyclopédie médico-chirurgicale. Pathologie professionnelle et de l'environnement 16-400-A-10. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2011 : 16 p.
- 10 | Hypothermies de l'adulte. In: AUBRON C, LEROLLE N, SCHWEBEL C, TERZI N (Eds) - Médecine intensive, réanimation, urgences et défaillances viscérales aiguës. 6^e édition. Collège des enseignants de médecine intensive et réanimation. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2018 : 699 p.
- 11 | MAGNAN MA, CAUCHY E, BECKER F - Acrosyndrome de l'extrême : les gelures. *Lett Méd Vasc.* 2012 ; 21 : 30-37.
- 12 | CAUCHY E, MARSIGNY B - Gelures des extrémités. Mise à jour et prise en charge. *Rev Méd Suisse.* 2003 ; 2437 (www.revmed.ch/RMS/2003/RMS-2437/23001).
- 13 | QUATRESOOZ P, PIÉARD-FRANCHIMONT C, PAQUET P, PIÉARD G - Le fond de l'air est frais, le froid est piquant et la peau en pâtit. *Rev Méd Liège.* 2008 ; 63 (1) : 18-22.
- 14 | LAAIDI K, PASCAL M, UNG A, BELANGER F ET AL. - Froid et santé. Note de position de l'Institut de veille sanitaire. Santé publique France, 2010 (www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/climat/grand-froid/documents/rapport-synthese/froid-et-sante-note-de-position-de-l-institut-de-veille-sanitaire).
- 15 | APTEL M, CAIL F, AUBLET-CUVELIER A - Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS). Guide pour les préventeurs. 2^e édition. Éditions INRS ED 957. Paris : INRS ; 2011 : 94 p.
- 16 | LI S, CHEN G, JAAKKOLA JJK, WILLIAMS G ET AL. - Temporal change in the impacts of ambient temperature on preterm birth and stillbirth: Brisbane, 1994-2013. *Sci Total Environ.* 2018 ; 634 : 579-85.
- 17 | Informations sur les traitements médicamenteux en cas d'épisode de grand froid. Questions/réponses. In: Produits de santé et grand froid. Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM), 2009 ([https://ansm.sante.fr/Dossiers/Conditions-climatiques-extremes-et-produits-de-sante/Grand-froid-et-produits-de-sante/\(offset\)/1](https://ansm.sante.fr/Dossiers/Conditions-climatiques-extremes-et-produits-de-sante/Grand-froid-et-produits-de-sante/(offset)/1)).
- 18 | TISSOT C - Épicea, une base de données sur les accidents du travail au service de la prévention. Pratiques et métiers TM 43. *Réf Santé Trav.* 2017 ; 152 : 91-97.
- 19 | Ergonomie des ambiances thermiques. Appareils de mesure des grandeurs physiques. Norme française homologuée NF EN ISO 7726. Janvier 2002. Indice de classement X 35-202. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2002 : 62 p.
- 20 | Ergonomie de l'environnement thermique. Détermination du métabolisme énergétique. Norme française homologuée NF EN ISO 8996. Février 2005. Indice de classement X 35-205. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2005 : 30 p.
- 21 | Ergonomie des ambiances thermiques. Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire. Norme française homologuée NF EN ISO 9920. Août 2009. Indice de classement X 35-206. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2009 : 121 p.
- 22 | NILSSON HA, HOLMER I - Calculation of required clothing insulation. IREQ 2008 version 4.2. University of Lund, 2008 (www.eat.lth.se/fileadmin/eat/Termisk_miljoe/IREQ2009ver4_2.html).
- 23 | Instruction interministérielle n°DGS/VSS2/DGSCGC/DGT/DGOS/DGCS/SGMAS/2018/236 du 18 octobre 2018 relative à la prévention et la gestion des impacts sanitaires et sociaux liés aux vagues de froid 2018-2019. In: Legifrance. Ministère chargé de la santé, 2018 (<http://circulaires.legifrance.gouv.fr/index.php?action=afficherCirculaire&hit=1&r=44119>).
- 24 | Habillement de protection - Vêtements de protection contre les environnements frais. Norme française homologuée NF EN 14058. Novembre 2017. Indice de classement S 74-605. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2017 : 30 p.
- 25 | Vêtements de protection. Ensembles vestimentaires et articles d'habillement de protection contre le froid. Norme française homologuée NF EN 342. Janvier 2005. Indice de classement S 74-501. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2005 : 20 p.
- 26 | Gants de protection contre le froid. Norme française homologuée NF EN 511. Juin 2006. Indice de classement S 75-506. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2006 : 17 p.
- 27 | Équipement de protection individuelle. Chaussures de sécurité. Norme française homologuée NF EN ISO 20345. Février 2012. Indice de classement S 73-502. Saint-Denis La Plaine : AFNOR ; 2012 : 39 p.

ANNEXE 1 Métabolisme pour les activités usuelles

La norme ISO 8996 [20] expose les méthodes qui permettent de déterminer la production de chaleur métabolique. Dans la norme NF EN ISO 11079 de détermination de l'IREQ (isolement thermique requis du vêtement), le tableau ci-dessous donne des exemples d'activités et les valeurs associées à la production de chaleur métabolique [4].

Classe ^a	W · m ⁻²	Exemples
Repos	65	Repos, position assise.
Métabolisme énergétique très faible	80	Travail manuel léger (écriture, frappe à la machine, dessin); inspection, assemblage ou triage de matériaux très légers.
Métabolisme énergétique faible	100	Travail des mains (petits outils d'établi); travail des bras (conduite de véhicule dans des conditions normales, manœuvre d'un interrupteur à pied ou à pédale); usinage avec des outils de faible puissance; marche occasionnelle.
Métabolisme énergétique faible à modéré	140	Travail des mains et des bras à allure modérée; montage et assemblage de matériaux légers.
Métabolisme énergétique modéré	165	Travail soutenu des mains et des bras (cloutage, limage); travail avec des équipements et des outils légers; travail des bras et des jambes (manœuvre sur chantier de camions, tracteurs ou engins).
Métabolisme énergétique modéré à élevé	175	Travail des bras et du tronc; travail au marteau pneumatique; manipulation intermittente de matériaux modérément lourds; poussée ou traction de charrettes légères ou de brouettes; marche à une vitesse de 4 km/h à 5 km/h; conduite de motoneige.
Métabolisme énergétique élevé	230	Travail intense des bras et du tronc; transport de matériaux lourds, pelletage; travail au marteau; tronçonnage d'arbres; sciage manuel; excavation; marche à une vitesse de 5 km/h à 6 km/h; poussée ou traction de charrettes à bras ou de brouettes lourdement chargées; enlèvement de copeaux de pièces moulées; pose de blocs de béton; conduite de motoneige en terrain lourd.
Métabolisme énergétique très élevé	290	Activité très intense à allure rapide proche du maximum; travail à la hache; pelletage ou excavation à un rythme intensif; action de monter des escaliers, une rampe ou une échelle; marche rapide à petits pas; course; marche à une vitesse supérieure à 6 km/h; marche dans la neige épaisse.
Métabolisme énergétique ultraélevé (jusqu'à 1 h à 2 h)	400	Activité très intense soutenue sans pause; travail d'urgence et de sauvetage à haute intensité.
^a Le métabolisme énergétique indiqué est basé sur une moyenne de 60 min d'un travail continu en équipe.		

ANNEXE 2 Exemples de tableaux de valeurs d'isolement thermique de tenues vestimentaires

La norme ISO 9920- 2009 : *Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire* propose deux tableaux spécifiques (les tableaux A.4 et A.5) de valeurs d'isolement thermique pour le froid [21].

EXTRAIT DU TABLEAU A.4 : VALEURS D'ISOLEMENT THERMIQUE DE DIVERSES TENUES VESTIMENTAIRES DE PROTECTION CONTRE LE FROID

I_{cl} est l'isolement vestimentaire exprimé en « clo » existant entre la surface corporelle et la surface extérieure du vêtement dans des conditions de référence statiques. Le clo est une unité mesurant l'isolation thermique utilisée pour les vêtements (clo venant de *clothes* en anglais), 1 clo = 0,155 m².K.W⁻¹. Il s'agit de l'isolation vestimentaire qui permet à une personne au repos de maintenir son équilibre thermique dans une atmosphère calme à 21 °C. Au-dessus, la personne transpire, en dessous, elle ressent le froid.

N°	Tenue vestimentaire (Les numéros qui suivent la désignation des pièces vestimentaires font référence au Tableau B.2)	Combinaison	Masse g	f_{cl}	I_{cl}		I_T	
					clo	m ² .K.W ⁻¹	clo	m ² .K.W ⁻¹
479	Caleçon 23, maillot de corps 31							
	Chemise 70, pantalon 91, veste 151	435	3 783	1,42	1,86	0,288	2,36	0,366
	Surveste 198, surpantalon 180	190						
	Chaussettes 254, chaussures 255	198						
484	Caleçon 23, maillot de corps 31							
	Combinaison 120	480	1 780	1,35	1,42	0,220	1,95	0,302
	Pantalon isolant 204, veste isolante 229	204						
	Chaussettes 254, chaussures 255	229						
491	Maillot de corps 47, caleçon 48	481						
	Combinaison 120	188	2 920	1,43	1,63	0,253	2,13	0,330
	Surveste 188	251						
	Chaussettes 254, chaussures 255, chapeau 259, gants 251	259						
492	Maillot de corps 47, caleçon 48							
	Combinaison 120, surveste 188, surpantalon 180	491 190	3 720	1,49	2,34	0,363	2,82	0,437
	Gants 251, chapeau 259, chaussettes 254, chaussures 255							

TABLEAU SUITE
→ → →

TABLEAU A.4 (suite)

N°	Tenue vestimentaire (Les numéros qui suivent la désignation des pièces vestimentaires font référence au Tableau B.2)	Combinaison	Masse g	f_{cl}	I_{cl}		I_T	
					clo	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$	clo	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
493	Maillot de corps 47, caleçon 48 Pantalon isolant 204, veste isolante 229 Surpantalon 180, surveste 188 Chaussettes 254, chaussures 255, chapeau 259, gants 251		4 390	1,48	2,55	0,395	3,03	0,470
494	Caleçon 23, maillot de corps 31 Chemise 73, pantalon 96, veste 160 Surveste 188 Chapeau 259, gants 251, chaussettes 254, chaussures 255		3 552	1,43	1,60	0,248	2,10	0,325

EXTRAIT DU TABLEAU A.5 : VALEURS D'ISOLEMENT THERMIQUE DE DIVERSES TENUES VESTIMENTAIRES DE PROTECTION CONTRE LE FROID EN SITUATION STATIQUE DU SALARIÉ ET EN SITUATION DE MARCHÉ (DYNAMIQUE)

L'indice BSAC représente le pourcentage de la surface corporelle recouverte par les vêtements, à l'exception des chaussures et ceintures.

N°	Description de la tenue	BSAC %	Masse g	f_{cl}	I_{cl} clo		I_T clo	
					Statique	Dynamique	Statique	Dynamique
601	Combinaison d'expédition par grand froid avec cagoule (combinaison, une pièce garnie de duvet), sous-vêtements haut et bas longs isothermes, moufles avec doublures molletonnées, chaussettes épaisses, bottes étanches calorifugées	98,9	2 804	1,5	3,67	3,21	4,12	3,54
602	Combinaison de ski une pièce, sous-vêtements haut et bas longs isothermes, serre-tête/oreille tricotés, lunettes, gants de ski isolants, chaussettes de ski fines au genou, bottes étanches calorifugées	97,1	2 357	1,28	1,6	1,13	2,13	1,51
603	Combinaison de ski une pièce à rembourrage synthétique et avec cagoule, sous-vêtements haut et bas longs isothermes, lunettes, gants de ski isolants, chaussettes de ski fines au genou, bottes étanches calorifugées	98,8	2 494	1,27	1,97	1,53	2,51	1,92
604	Veste de ski avec rembourrage synthétique amovible, sous-vêtements bas longs isothermes, tricot à col roulé à mailles, pantalons de ski à rembourrage synthétique, chapeau, lunettes, doublure de mitaines avec entre-doublures de gants pelucheuses amovibles, chaussettes de ski fines au genou, bottes étanches calorifugées	98,5	2 943	1,34	2,3	1,75	2,81	2,12