



TRAVAILLER DANS DES AMBIANCES THERMIQUES CHAUDES OU FROIDES : QUELLE PRÉVENTION ?

❶ Physiologie des échanges
thermiques du corps humain
P. 38

❷ Trop chaud ou trop froid,
quels effets sur la santé ?
P. 43

❸ Chaud, froid : comment
évaluer le risque
P. 49

❹ Mesures physiologiques
et données subjectives
pour l'évaluation des risques
P. 55

❺ Prévention :
des solutions
P. 59

❻ Ambiances thermiques :
que prévoit la réglementation ?
P. 64

De nombreux métiers obligent les salariés à évoluer dans des environnements marqués par des températures contraignantes, froides ou chaudes.

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. En période estivale, les salariés sont susceptibles d'être exposés à de fortes chaleurs, dont les effets se feront particulièrement sentir si les machines, produits ou procédés de travail dégagent de la chaleur, si leurs vêtements de travail empêchent l'évaporation de la sueur, ou si leurs tâches nécessitent une activité physique intense.

Le froid intense, comme la forte chaleur, entraînent des impacts plus ou moins marqués sur l'état de santé, et des mesures de prévention sont indispensables dans ces situations de contrainte thermique. Ce dossier présente successivement les mécanismes physiologiques qui régissent l'équilibre thermique du corps humain, les effets sur la santé résultant d'expositions au froid ou à la chaleur, les méthodes disponibles pour évaluer les risques par la métrologie ou les mesures physiologiques, les actions de prévention à mettre en œuvre, et les dispositions réglementaires correspondant à ces situations.

PREVENTION AND WORKING IN HOT OR COLD THERMAL ENVIRONMENTS – Many jobs require workers to operate in environments with inconveniently hot or cold temperatures. Both intense cold and intense heat have a more or less marked effect on health, and prevention measures are essential in these situations of thermal constraint. This dossier successively presents the physiological mechanisms governing the thermal balance of the human body, the health effects resulting from exposure to cold or heat, the methods available for assessing risks by metrology or physiological measurements, the prevention actions to be implemented, and the regulatory provisions corresponding to these situations.

PHYSIOLOGIE DES ÉCHANGES THERMIQUES DU CORPS HUMAIN

De nombreux métiers exposent les salariés à des environnements professionnels marqués par des températures chaudes ou à des ambiances thermiques froides, qu'elles soient en extérieur, et liées au climat, ou en intérieur à leur poste de travail. Ils sont ainsi exposés à des risques pour la santé qui peuvent être graves. Cet article présente les mécanismes physiologiques de régulation lors des échanges thermiques et aborde les adaptations physiologiques en ambiance chaude ou froide. L'influence des facteurs individuels est également décrite.

EMMANUELLE
TURPIN-
LEGENDRE
INRS,
département
Homme
au travail

Les échanges thermiques

L'homme est un homéotherme: un ensemble de processus physiologiques, appelé thermorégulation, permet de maintenir une relative constance de sa température centrale autour de valeurs proches de 37°C. Pour cela, il est nécessaire qu'au niveau de l'organisme, il y ait un équilibre entre les apports et les pertes de chaleur. Les apports sont de deux ordres: principalement la production interne de chaleur (thermogenèse), qui comprend le métabolisme de base et l'activité physique, et l'absorption de chaleur du milieu extérieur (soleil, murs: en touchant un mur chaud par exemple, air ambiant chaud...). Les pertes de chaleur (thermolyse) ont lieu principalement au niveau de la peau et des voies respiratoires. Des facteurs individuels influencent cette thermorégulation:

- l'ensemble des organes profonds (essentiellement, les muscles, le système nerveux central et les viscères) qu'on appelle noyau produit de la chaleur qui est éliminée vers le milieu ambiant principalement au niveau de la surface cutanée. En neutralité thermique, ce transfert se réalise naturellement par un gradient de température grâce à la circulation sanguine (la chaleur va du milieu le plus chaud vers le plus froid). La peau est l'interface qui permet la perte de chaleur, afin de conserver la température centrale stable autour de 37°C, alors même que la température périphérique est variable (mais très souvent en dessous de 37°C);
- l'organisme possède deux systèmes d'échanges: la peau, qui est prépondérante, et les voies respiratoires. Quatre mécanismes d'échange sont abordés ici, en se focalisant sur les aspects physiologiques. La convection est un transfert de chaleur par circulation d'air ou de liquide, en présence de températures différentes, qui a lieu entre la circulation sanguine et les organes profonds et entre la surface d'échanges pulmonaires et l'air ambiant au niveau de la respiration. La conduction se produit dès lors que des zones



© Fabrice Dimier pour l'INRS 2015

de températures différentes sont en contact, tels qu'entre les tissus-sous cutanées et la peau, lorsqu'il y a conduction de la chaleur du noyau central à la peau. Les échanges par évaporation de la sueur prennent en compte deux phénomènes, la diffusion passive de la sueur à travers la peau (perspiration) et l'évaporation de la sueur en surface de la peau, phénomène actif de la sudation (transpiration). 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. Les échanges par rayonnement thermique s'effectuent entre des surfaces distantes l'une de l'autre.

L'équilibre des échanges thermiques

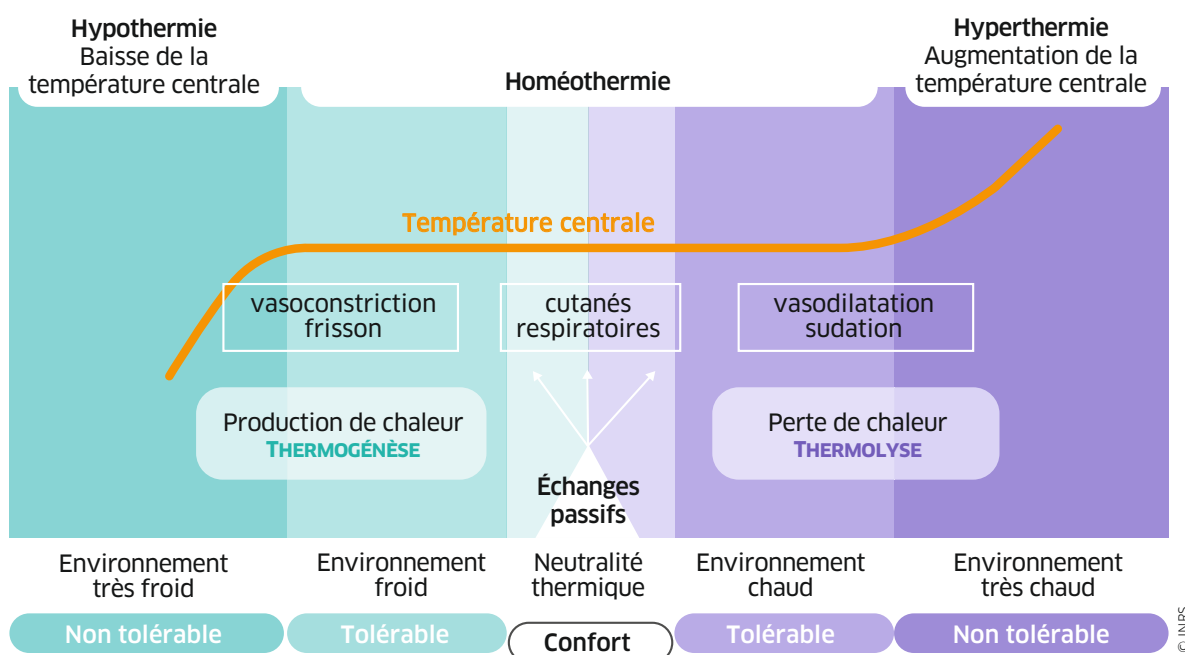
Quel que soit le niveau métabolique et la température du milieu ambiant, la thermorégulation permet à l'organisme humain, « à sang chaud », de conserver une température constante. Elle repose sur un équilibre entre les apports (thermogénèse) et les pertes (thermolyse) de chaleur.

- 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 la respiration et la circulation sanguine, par exemple. Cette production est relativement constante. La dépense énergétique, pour une personne de stature moyenne au repos et dans un environnement neutre, est évaluée à 1700 kcal par jour pour un homme et 1500 kcal par jour pour une femme. Par ailleurs, la digestion des aliments ou une activité physique produisent de la chaleur, à des niveaux très variables.
- La thermolyse est le processus qui permet la dissipation de la chaleur de l'organisme vers le milieu extérieur. Elle s'effectue grâce aux quatre mécanismes d'échange thermique vus précédemment. La perte par rayonnement thermique est le principal mode de perte de chaleur (elle représente environ 60% des pertes de chaleur). Les pertes par évaporation (environ 22%) se font au niveau de la peau (perspiration et sudation) ainsi qu'au niveau des voies respiratoires, mais à un niveau plus faible dans ce dernier cas. La convection intervient à hauteur de 15%. Le sang venant du noyau central réchauffe la peau, puis il y a perte de chaleur dans l'air ambiant. En milieu ambiant froid, la combinaison d'une température basse et du vent accélère les pertes thermiques au niveau des surfaces cutanées corporelles plus chaudes. La quantité de sang réchauffant les parties non protégées

du corps, telles que le visage et les mains, ne suffit plus et ces parties peuvent refroidir très rapidement et atteindre des températures basses, engendrant un risque élevé de lésions. La peau au contact d'un corps froid perd de la chaleur par le phénomène de conduction (environ 3% des pertes de chaleur). Les pertes par convection et conduction dépendent du gradient de température entre la peau et les fluides et solides avec lesquels elle est en contact.

L'organisme cherche ainsi à maintenir une température centrale constante grâce à une régulation conduisant à un équilibre entre les apports et les pertes de chaleur. Les différentes régulations pour maintenir cet équilibre sont présentées dans la Figure 1¹.

- 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 chaud ou le froid. La thermogénèse (au niveau du noyau) et la thermolyse (par la circulation cutanée et la respiration) sont à un niveau minimal et 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 ou une thermolyse élevées permettent que l'homéothermie soit à peu près maintenue. En milieu chaud, les phénomènes de vasodilatation des vaisseaux sanguins et de sudation permettent la perte de chaleur. En environnement froid, la vasoconstriction des vaisseaux sanguins périphériques limite la perte de chaleur, et les frissons ainsi que l'activité physique permettent une production de chaleur.
- La zone non tolérable est une zone où le bilan thermique est déséquilibré. La thermogénèse et la ther-



← FIGURE 1
L'équilibre
des échanges
thermiques.

molyse n'arrivent pas à compenser les pertes et les apports de chaleur. Le noyau central n'arrive plus à s'adapter, la température centrale n'est plus stable. Si son augmentation est excessive en ambiance chaude ou sa baisse trop importante en ambiance froide, l'hyperthermie ou l'hypothermie peuvent être respectivement atteintes, avec de graves conséquences sur la santé.

Les ambiances chaudes

En ambiance chaude, l'apport de chaleur au niveau du noyau central se fait soit par convection, lorsque la température de l'air est supérieure à la température cutanée (inversion du gradient habituellement observé entre l'organisme et le milieu ambiant) ; soit par conduction, lorsqu'il y a un contact entre le corps et un solide dont la température est plus élevée ; soit par rayonnement thermique provenant de surfaces chaudes distantes. Dans ces trois cas, la température de la peau augmente, entraînant un réchauffement de la température du noyau central. Le corps réagit en « ouvrant les vannes », pour qu'il y ait évacuation de la chaleur à l'aide des mécanismes de vasodilatation cutanée et de sudation, accompagnés de l'augmentation du débit cardiaque. Si la température ambiante augmente excessivement, les échanges de chaleur ne suffisent pas pour préserver l'homéothermie, ce qui entraîne un stockage de chaleur et une élévation forte de la température centrale : c'est l'hyperthermie (*Cf. Article suivant pp. 43-48*).

En ce qui concerne la température centrale, la norme NF EN ISO 9886 [1] et l'Organisation mondiale de la santé [2] donnent des limites de température à ne pas dépasser, pour éviter une astreinte à la chaleur, telles que 38°C de température interne et un écart de 1°C entre avant et après l'exposition à la chaleur.

Le phénomène de vasodilatation cutanée

Afin d'abaisser la température centrale, un transfert de chaleur se crée entre l'intérieur du corps et sa surface, grâce à une augmentation de la circulation sanguine cutanée. Le diamètre des vaisseaux sanguins cutanés s'accroît, ce qui augmente le débit sanguin pour permettre une meilleure évacuation de la chaleur vers l'environnement, au niveau de la peau. Cette vasodilatation cutanée s'accompagne d'une augmentation du débit cardiaque due à l'accélération de la fréquence cardiaque. Lors d'une phase de récupération en environnement neutre, la fréquence cardiaque revient progressivement à sa valeur de base après trois minutes de repos environ.

La température cutanée est un paramètre à prendre en compte lors de l'évaluation des astreintes thermiques que peuvent subir les salariés ; c'est un critère de confort qui ne doit pas être sous-estimé, notamment par l'encadrement ou la maîtrise dans l'entreprise. La température cutanée (telle que définie dans les normes) en milieu neutre se situe autour

de 33°C [3], avec des températures de confort entre 32 et 34°C [4, 5], sachant que le seuil de douleur est reconnu à 43°C [1].

Le phénomène de sudation

La sudation est un phénomène actif qui, du fait de l'évaporation de la sueur à la surface de la peau, est le moyen le plus efficace de perdre de la chaleur. Aussi, la sudation est effective en termes de perte de chaleur si la sueur peut s'évaporer, c'est-à-dire si elle ne ruisselle pas, si elle n'est pas épongee et si l'air ambiant n'est pas saturé en vapeur d'eau. Plus les conditions ambiantes sont chaudes, plus les températures de la peau et de l'air tendent à s'égaliser. Dans ce cas, les échanges thermiques par rayonnement et convection sont moindres et l'évaporation de la sueur est la seule manière possible pour le corps de perdre de la chaleur.

Il faut être attentif au phénomène de déshydratation, qui peut survenir lors de sudations importantes, car la sudation entraîne une perte d'eau et de sels minéraux. La perte hydrique maximale doit être limitée à 5% de la masse corporelle, si les personnes peuvent boire librement, et à 3% de la masse corporelle, s'il n'y a pas de possibilité de s'hydrater [1, 6].

Les ambiances froides

Un environnement est considéré comme froid pour une température de l'air inférieure à 18°C, température à laquelle se déclenchent des déperditions de chaleur [3]. Par ailleurs, pour une même température et pour une même durée d'exposition, les pertes de chaleur corporelle pour un sujet plongé dans l'eau sont 25 fois supérieures à celles observées dans l'air, en raison d'une grande différence de conductivité thermique et des pertes par convection entre l'air et l'eau.

Après une exposition prolongée au froid, le corps se refroidit (atteinte des tissus profonds). En dessous de 37°C de température interne, on observe la mise en jeu des phénomènes de régulation physiologiques (frissons, vasoconstriction ; *Cf. ci-dessous*). L'hypothermie est atteinte lorsque la température interne descend en dessous de 35°C, avec une mise en jeu du pronostic vital si celle-ci devient inférieure à 32°C. Lors de l'atteinte des tissus profonds, il est observé un ralentissement des processus physiologiques au niveau des organes, ce qui entraîne une baisse du débit cardiaque.

Les extrémités du corps 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 [7]. Le seuil de douleur pour la température cutanée est à 15°C [1]. 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 ordres : il limite la perte de chaleur (diminution de la thermolyse) et il augmente sa production de chaleur (augmentation de la thermogénèse). Afin de limiter la déperdition de chaleur, 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 alors 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. En parallèle, le corps dispose de différents moyens pour augmenter sa production de chaleur. Le frisson, travail involontaire des fibres musculaires superficielles, permet d'augmenter la production de chaleur. De même, l'activité physique, en raison du travail musculaire volontaire, aide à compenser les pertes de chaleur. Cependant, ces deux modes de production de chaleur sont limités dans le temps. La thermogénèse alimentaire intervient également car, au cours de la digestion, la transformation des aliments produit de la chaleur. Ce mécanisme est renforcé par le fait que le froid entraîne une stimulation de la faim, induisant une augmentation des apports alimentaires et donc énergétiques (caloriques).

Facteurs individuels influençant la thermorégulation

Acclimatation

- En ambiance chaude, l'acclimatation est une adaptation physiologique transitoire permettant à l'organisme, après une exposition de plusieurs jours, de s'habituer à la chaleur. C'est un phénomène progressif dont les effets débutent dès le premier jour et se stabilisent vers le troisième ou le quatrième jour. Cette acclimatation se perd après environ huit jours sans exposition à la chaleur, ce qui demande d'être vigilant lorsque les salariés ne sont plus exposés, par exemple lors du retour de congés. Le salarié acclimaté à la chaleur présente des adaptations physiologiques qui se manifestent par une réduction de sa température centrale et de sa fréquence cardiaque de travail. Le seuil de déclenchement de la vasodilatation cutanée est abaissé et la sudation intervient plus tôt, c'est-à-dire qu'elle survient pour des températures centrales moins élevées. Le salarié acclimaté présente une sudation plus abondante avec une concentration de la sueur en sels minéraux plus faible (préservation de l'équilibre électrolytique de l'organisme) et une meilleure répartition de la

sueur sur le corps, qu'une personne non acclimatée.

- En ambiance froide, il existe une acclimatation, mais les ajustements physiologiques sont au mieux modestes. Une acclimatation locale, par limitation de la vasoconstriction cutanée périphérique, permet aux mains de rester plus chaudes. Ainsi, la circulation du sang est meilleure au niveau des mains, ce qui permet de conserver une dextérité manuelle et de diminuer la douleur. De même, les frissons apparaissent pour une température interne plus basse. Il s'agit donc d'une adaptation cardiovasculaire et



© Philippe Castano pour l'INRS/2011

cutanée. Lors d'expositions répétées au froid, cette acclimatation permet aux salariés de percevoir moins d'inconfort, de diminuer l'effet de distraction que peut provoquer le froid et d'améliorer le jugement et la prudence, en toutes situations (y compris celles de travail).

Découpe et transformation de poisson frais.

Condition physique et activité physique

Une bonne condition physique et l'exercice d'une activité physique améliorent les capacités cardiovasculaires, ce qui favorise une meilleure adaptation des réponses physiologiques de la personne exposée à la chaleur ou au froid. On constate aussi que la masse corporelle a un effet sur les capacités thermorégulatrices.

- De ce fait, en ambiance chaude, les capacités d'évacuation de la chaleur corporelle et d'adaptation sont améliorées (débit sudoral plus important, concentration en sels minéraux plus faible...). Chez les personnes



maigres, la tolérance à la chaleur est plus faible, en raison d'une plus grande sollicitation de leurs capacités de travail pour une tâche donnée. Chez les personnes obèses, les capacités de thermorégulation sont également diminuées, du fait principalement que les capacités cardiovasculaires sont moindres et le rapport entre la surface cutanée (pour la dissipation de chaleur) et le poids du corps (pour la génération de chaleur) est faible. De plus, leur excès de poids demande un plus grand effort musculaire à chaque mouvement, d'où une production de chaleur plus importante.

- En ambiance froide, le coût énergétique d'une activité physique est augmenté; aussi, une bonne condition physique favorise une thermogénèse plus importante et accroît l'endurance physique. Les personnes dont la masse musculaire ou la couche de graisse isolante sont réduites risquent davantage de souffrir du froid.

Âge

Les mécanismes de thermorégulation diminuent avec l'avancée en âge, en raison de la baisse de la masse musculaire, du vieillissement des systèmes endocrinien, cardiovasculaire et neurologique.

- En ambiance chaude, la dégradation de la tolérance à la chaleur chez les personnes vieillissantes est due à différents mécanismes, tels qu'une baisse des capacités cardiovasculaires et de la vasodilatation des vaisseaux sanguins, une élévation du seuil de déclenchement de la sudation et une température centrale plus longue à revenir à la normale. Soixante-dix pour cent des « coups de chaleur » (Cf. *Article suivant pp. 43-48*) surviennent chez des personnes de plus de 60 ans.

- En ambiance froide, 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 donc plus sensibles aux contraintes thermiques.

Genre

Les différences morphologiques et fonctionnelles sont importantes entre l'homme et la femme, ce qui se traduit en général par une moindre capacité physique chez la femme (moins de masse musculaire, un volume sanguin réduit, une moindre capacité de transport de l'oxygène dans le sang). Ces différences expliquent la variabilité des capacités thermorégulatrices entre les deux sexes.

- Ainsi, en ambiance chaude, en moyenne, les femmes transpirent moins, le déclenchement sudoral est plus lent, et les températures centrale et cutanée sont plus élevées, surtout en atmosphère humide. Cependant, après acclimatation à la chaleur et à capacités aérobies similaires, ces différences hommes-femmes disparaissent [8].

- En ambiance froide, les femmes présentent une tendance à l'hypersensibilité au froid et souffrent plus facilement du syndrome des « doigts blancs » (syndrome de Raynaud).

Rythme nyctéméral

La température centrale augmente au cours de la journée, en raison de la production de chaleur provenant de l'activité musculaire, pour atteindre son maximum autour de 17 heures. La température centrale minimale s'observe entre 3 et 5 heures du matin, ce qui est dû au repos physique et à l'influence du sommeil lent, au cours duquel la température de référence diminue.

Conclusion

Le corps humain, qu'il soit en ambiance chaude ou froide, possède différents systèmes de régulation, qui lui permettent de maintenir une température interne relativement constante. Le comportement ainsi que les facteurs individuels influencent cette thermorégulation; mais les processus physiologiques, dans la majorité des cas, parviennent à maintenir l'équilibre entre les apports et les pertes de chaleur. Dans les conditions extrêmes, la thermorégulation n'arrive plus à assurer cet équilibre; aussi, l'hyperthermie ou l'hypothermie peuvent être atteintes avec de graves conséquences pour la santé. ●

1. Il est difficile de définir les zones de confort thermique en termes de températures externes précises, pour plusieurs raisons: tout d'abord, parce que la diversité humaine ne permet pas de définir des zones communes pour l'ensemble des populations. Ensuite, en raison des températures ambiantes, des vêtements portés, de la charge physique de travail, il est difficile de donner des valeurs seuils, qui pourraient être utilisées de façon abusive, et qui dépendraient fortement de la grande diversité des situations de travail.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Norme NF ISO-9886 – Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2004.

[2] OMS – Health factors involved in working under conditions of heat stress. WHO Scientific Group on Health Factors Involved In Working under Conditions of Heat Stress. Genève, OMS, 1969, Technical report n° 412.

[3] VOGT J.J., METZ B. – Ambiances thermiques. In: SCHERRER J. – Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie. Paris, Masson, 1981, pp. 217-263.

[4] MAYER E. – Objective criteria for thermal comfort. *Building and Environment*, 1993, 28 (4), pp. 399-403.

[5] CUDDY J.S., HAILES W.S., RUBY B.C. – A reduced core to skin temperature gradient, not a critical core temperature, affects aerobic capacity in the heat. *Journal of Thermal Biology*, 2014, 43, pp. 7-12.

[6] Norme NF EN ISO 7933 – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2005.

[7] Norme EN ISO 11079 – Détermination et interprétation de la contrainte liée au froid en utilisant l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) et les effets du refroidissement local. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2008.

[8] MAIRIAUX P., MALCHAIRE J. – Le travail en ambiance chaude. Paris, Masson, 1990, 172 p.

TROP CHAUD OU TROP FROID, QUELS EFFETS SUR LA SANTÉ?

Qu'elles soient chaudes ou froides, les ambiances thermiques extrêmes ont un impact sur la santé des travailleurs qui y sont exposés. La forte chaleur peut entraîner une dégradation rapide et brutale de l'état de santé, nécessitant des soins urgents pour hyperthermie (coup de chaleur), déshydratation, voire coma. Les vagues de froid intense peuvent également avoir un impact sur la santé, mais n'ont jamais conduit jusqu'ici à des augmentations massives de la mortalité en France. Les effets du froid sont plus diffus, les manifestations principales étant l'hypothermie nécessitant des soins urgents et les gelures des extrémités. L'ensemble des effets potentiels de ces ambiances thermiques est présenté dans cet article, pour permettre de mesurer les enjeux de santé au travail.

CATHERINE
AUBRY,
INRS,
direction
des Études
et recherche

BERNARD
SIANO
INRS,
département
Études et
assistance
médicales

Effets sur la santé d'une ambiance thermique chaude

La canicule de l'été 2003, la plus grave jamais observée en France, a causé un excès de près de 15 000 décès en 15 jours et celle de 2006, près de 1 100 sur une période similaire. Les canicules de 2015 et de 2019 ont provoqué respectivement 1 700 et 1 400 décès supplémentaires [1]. Par ailleurs, en 2017, Santé Publique France a reçu 73 signalements d'événements sanitaires chez des travailleurs, en lien possible avec la chaleur extérieure. Parmi ceux-ci, dix concernaient des décès sur le lieu de travail. Ces décès touchaient principalement des hommes (9/10) travaillant en extérieur [2]. Pour l'été 2019, dix décès ont également été signalés sur le lieu de travail en lien suspecté avec la chaleur [1]. Une étude française récente a montré que les effets de la température ambiante sur la santé ne sont pas restreints aux températures extrêmes [3], et que l'augmentation du risque est globalement plus marquée et plus rapide pour la chaleur que pour le froid. Le changement climatique en cours a fait l'objet d'un avis de l'Anses en janvier 2018 [4], qui recommande de renforcer la mobilisation du monde du travail et de surveiller les effets liés à l'impact du changement climatique sur les risques professionnels.

Les conséquences sanitaires de l'exposition à une ambiance thermique chaude sont d'abord liées à la survenue de pathologies consécutives au dépassement des capacités d'adaptation physiologique de l'organisme. S'y ajoutent des effets neuropsychologiques, notamment cognitifs, qui jouent un rôle important dans l'impact global de la chaleur en milieu professionnel [4]. Les données épidémiologiques relatives aux effets sanitaires de conditions climatiques

chaudes, sur les travailleurs français, sont très peu nombreuses. Des données internationales confirment néanmoins l'existence d'une augmentation de la mortalité et, surtout, de la morbidité globale des populations de travailleurs en période estivale, liée à la survenue de pathologies induites par la contrainte thermique et à une hausse des accidents du travail. Ces effets touchent particulièrement les travailleurs dont les activités se déroulent en extérieur. Ils sont plus marqués lors des premiers épisodes de chaleur de l'été, ce qui est cohérent avec l'effet bénéfique de l'acclimatation [4].

Pathologies directement liées à la chaleur

Les affections directement liées à la chaleur peuvent être décrites selon une échelle de gravité croissante [5], sans que les différents niveaux puissent être précisément liés à une valeur de température corporelle, puisque la réponse physiologique au stress thermique varie d'une personne à l'autre et dépend aussi des conditions environnementales, des vêtements portés et de l'activité physique.

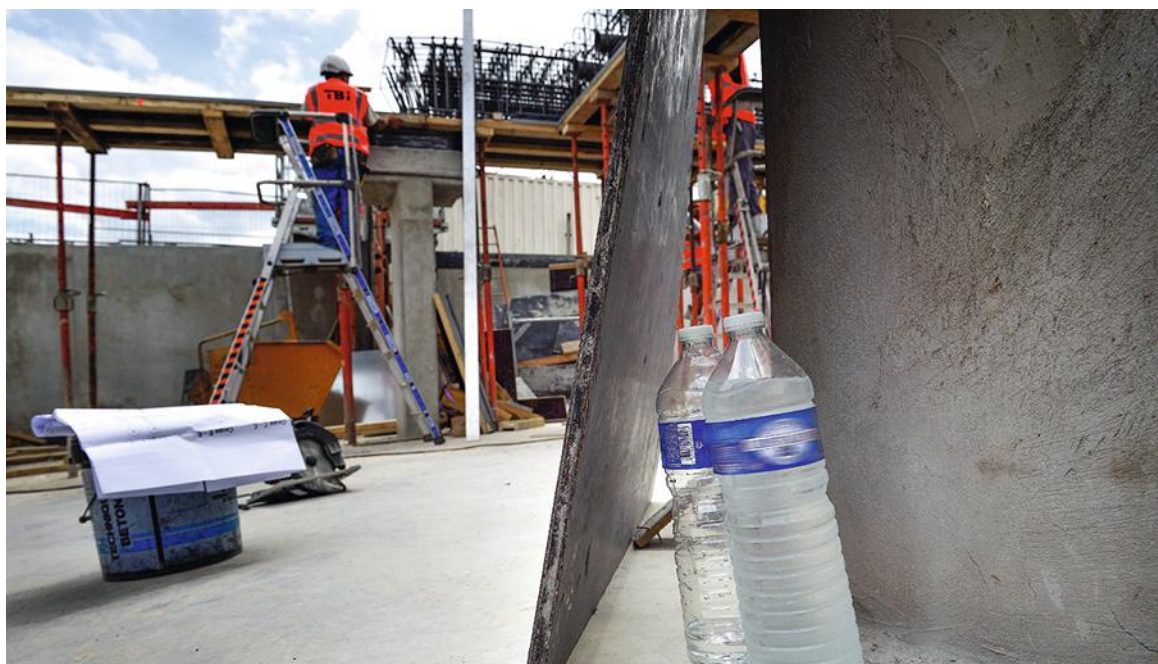
- **Dermite de chaleur** : il s'agit d'une éruption cutanée très irritante, siégeant sur les parties couvertes, par phénomène de macération lié à la sueur, favorisée par le port de tissus synthétiques.

- **Œdème des extrémités** : la chaleur provoque une vasodilatation périphérique, avec une gêne au retour veineux, aux extrémités des membres inférieurs. Cet œdème de chaleur touche surtout les sujets ayant des troubles vasculaires (insuffisance veineuse, hypertension, diabète), les femmes d'un certain âge. Il est favorisé par la sédentarité.

- **Crampes de chaleur** : il s'agit de spasmes musculaires douloureux, accompagnés de transpiration intense.



Des bouteilles d'eau sont mises à disposition sur les chantiers de construction lors d'épisodes de forte chaleur.



© Gaël Kerbaol/INRS/2015

Ils sont favorisés par l'effort musculaire (travail de force) et surviennent typiquement lors de l'arrêt de l'activité musculaire. Ces crampes touchent les muscles des membres ou les muscles abdominaux. Elles sont dues à une déshydratation entraînant un déséquilibre en électrolytes (sodium, potassium, magnésium, calcium).

- **Syncope**: il s'agit d'une perte de connaissance brève, qui survient à l'arrêt d'un effort physique intense en environnement chaud, et dont l'organisme récupère en position allongée, jambes surélevées.

- **Syndrome d'épuisement - déshydratation**: plus grave, il apparaît en quelques jours suite à l'altération du métabolisme provoquée par la perte sudorale, et comprend une asthénie, une transpiration abondante, voire un arrêt de la transpiration (facteur de gravité), des maux de tête, des nausées, des syncopes, des troubles du sommeil et du comportement, mais pas de troubles neurologiques. La température corporelle peut dépasser 38°C, mais sans atteindre 40°C.

- **Coup de chaleur**: c'est une défaillance aiguë de la thermorégulation, associant une hyperthermie majeure (température corporelle supérieure à 40°C) et des signes neurologiques: troubles du comportement, confusion mentale, délire, déficit focal, troubles de la conscience, voire coma. Le début peut être brutal ou précédé de troubles divers: fatigue, douleurs abdominales, vertiges, vomissements, crampes musculaires, sueurs profuses. L'hyperthermie menace particulièrement les personnes exposées à une chaleur ambiante excessive ou fournissant un travail physique intense et prolongé (hyperthermie maligne d'effort ou coup de chaleur d'exercice) avec une évacuation insuffisante de la chaleur, à cause d'un environnement trop chaud et humide ou de vêtements trop isolants. L'évolution peut être rapidement

défavorable: le décès survient dans 30 à 50% des cas, des séquelles neurologiques définitives peuvent être observées. C'est donc une urgence médicale qui doit être connue de tous, puisqu'elle met en jeu le pronostic vital [6] (Cf. Encadré 1).

Facteurs aggravants

De nombreux facteurs de risques individuels (âge avancé, pathologies chroniques, médicaments) peuvent altérer l'adaptation de l'organisme à la

ENCADRÉ 1 COUP DE CHALEUR ET PREMIERS SECOURS

(Source: site internet de l'INRS, dossier « travail à la chaleur ». Accessible sur: www.inrs.fr/risques/chaleur/ce-qu-il-faut-retenir.html)

Il s'agit d'une urgence vitale, vous devez impérativement:

- **Alerter ou faire alerter les secours:**
15, 18 ou 112.
- **Si la victime ne présente pas de troubles de la conscience:**
 - l'amener à l'ombre et/ou dans un endroit frais et bien aéré,
 - lui retirer ses vêtements,
 - la rafraîchir en faisant couler de l'eau froide sur son corps,
 - lui donner à boire de l'eau fraîche.
- **Si la victime perd connaissance: la mettre en position latérale de sécurité et la surveiller en attendant l'arrivée des secours.** Des gestes de secours supplémentaires seront appliqués sur avis médical.

forte chaleur [7]. Certaines pathologies susceptibles d'accentuer les effets néfastes de la chaleur peuvent affecter des travailleurs, comme des pathologies neuropsychiques (maladie de Parkinson, troubles mentaux, Alzheimer...), respiratoires, cardiovasculaires (hypertension artérielle, séquelles d'AVC...), rénales, endocriniennes (diabète, hyperthyroïdie) ou métaboliques (obésité, dénutrition...). Les personnes en situation de handicap physique ou psychique peuvent avoir des difficultés à se soustraire seules à la chaleur ou à adopter des comportements préventifs. De même, la consommation d'alcool ou de drogues stimulantes (amphétamines, cocaïne, ecstasy...) peut altérer les perceptions et les réactions des individus. De nombreux médicaments, par leur mécanisme d'action ou leurs effets indésirables, sont susceptibles d'aggraver les symptômes liés à la forte chaleur ou de limiter la capacité de l'organisme à se protéger contre la chaleur [8]: en provoquant des troubles électrolytiques (concentration sanguine et cellulaire en sels de sodium, en potassium, en calcium...) ou de l'hydratation (diurétiques), en altérant la fonction rénale, en empêchant la perte calorique de l'organisme, en induisant par eux-mêmes une hyperthermie, en abaissant la pression artérielle, ce qui induit un défaut de perfusion cérébrale, en abaissant la vigilance, ce qui peut altérer les facultés de défense contre la chaleur.

Autres effets sur la santé en lien avec des températures élevées

L'altération des performances cognitives lors d'une exposition à de fortes chaleurs, qui comporte des troubles de la mémoire et de l'attention, constitue un facteur de risque d'accident du travail par baisse de la vigilance, et peut également conduire à une irritabilité et des modifications de l'humeur [4]. La base de données Epicea [9] de l'INRS contient de nombreux exemples d'accidents du travail dans un contexte de forte chaleur. L'étude de 93 cas survenus entre 1983 et 2018 a permis d'identifier les métiers les plus fréquemment rencontrés: les métiers qualifiés du bâtiment, les manœuvres du bâtiment et des industries, les conducteurs de machines, les manutentionnaires, les conducteurs de poids lourds. Les lésions sont diverses et souvent multiples (brûlures, fractures, contusions, intoxications, asphyxies...). D'autres effets des températures extrêmement chaudes sont à craindre sur le lieu de travail: accroissement du risque d'explosion par dégradation des produits chimiques, évaporation des substances inflammables, diminution de l'énergie minimale à fournir pour atteindre le phénomène d'inflammation. Les risques d'intoxication chimique et de réaction allergique sont accrus par l'augmentation d'une part, des concentrations atmosphériques (évaporation accrue ou augmentation de la pulvéulence et de la volatilité des poussières) et d'autre part, de l'absorption respiratoire et cutanée *via* les méca-

nismes d'adaptation physiologique de l'organisme à la chaleur (augmentation de la ventilation pulmonaire et du débit sanguin cutané).

L'exposition chronique à la chaleur peut également entraîner des effets sur la reproduction. Des études chez les souris males exposées à un stress thermique au niveau du scrotum ont montré une baisse réversible des concentration, mobilité et viabilité des spermatozoïdes. Au niveau professionnel, une étude chez des soudeurs exposés à une élévation de la température scrotale a montré des anomalies dans la qualité du sperme [10]. Il a été observé un allongement du délai nécessaire à concevoir chez les femmes dont le partenaire exerce un métier exposant à la chaleur, ou qui reste assis longtemps dans un véhicule. Il existe également une plausibilité biologique d'un lien causal entre l'exposition de femmes enceintes à la chaleur et l'issue défavorable de grossesse. Cependant, la plupart des études concerne les facteurs climatiques, et il n'a pas été retrouvé de publication récente concernant spécifiquement le travail en ambiance chaude. La Suisse est le seul pays à avoir légiféré: les femmes enceintes qui travaillent à l'intérieur ne doivent pas être exposées à une température de plus de 28 °C [11].

Effets sur la santé d'une ambiance thermique froide

Pathologies directement provoquées par le froid

En cas d'exposition au froid, l'affection principale par sa gravité est l'hypothermie. Elle correspond à une température corporelle centrale inférieure à 35 °C. Elle survient lorsque la perte de chaleur 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) et de sa température, de la durée d'exposition, de l'activité physique du sujet, des vêtements portés et de la présence d'éventuelles pathologies pouvant réduire ou inhiber les mécanismes physiologiques de lutte contre le froid [12]. L'intensité du froid ressenti est accentuée par le vent et l'humidité. 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'un degré Celsius tous les 150 mètres. Dans l'eau, les pertes de chaleur sont 25 fois supérieures à celles observées dans l'air [13]. En situation d'hypothermie, toutes les fonctions physiologiques se trouvent ralenties, y compris les systèmes cardiovasculaire et respiratoire, 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 [14]. Par degré de gravité croissante, on distingue:

- **les hypothermies légères (entre 35 et 32 °C):** le sujet est conscient avec une baisse de la vigilance, il pré-





© Gael Kerbaol/INRS/2012

Habillage du personnel intervenant dans des ateliers de congélation avec des vêtements adaptés aux températures froides.

sente 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, un ralentissement du rythme cardiaque, il ne frissonne plus;

- **les hypothermies sévères (en dessous de 28°C)**: le sujet est comateux et peut faire des pauses respiratoires. Sans prise en charge d'urgence, l'évolution se fait vers l'arrêt cardio-respiratoire et le décès.

En fonction de l'état de conscience de la victime, des mesures de secourisme simples visant à la réchauffer sont préconisées (Cf. Encadré 2).

La gelure est une lésion localisée causée par l'action directe du froid au cours d'une exposition plus ou

moins longue à une température inférieure à 0°C [15]. Elle peut cependant être observée pour des températures basses positives en présence de vent. Elle se caractérise par un gel des tissus et une insensibilité à sa phase d'installation, qui retarde sa prise en charge. Les sites les plus fréquents sont les pieds (avec atteinte préférentielle du gros orteil) et les mains (avec respect habituel du pouce, qui est alors épargné), mais le visage peut également être atteint, 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 au contact d'un corps métallique très froid. Diverses pathologies cutanées peuvent être provoquées par le froid [16]:

- **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 favorisent son apparition;

- **les engelures**: gonflement inflammatoire et douloureux, de couleur rouge violacé, parfois accompagné de crevasses, provoqué par le froid et affectant surtout les extrémités des membres et le visage. Ces lésions surviennent préférentiellement chez la femme (90%), dans le contexte d'un terrain vasculaire particulier (acrocyanose). Elles régressent spontanément, mais la récurrence est fréquente;

- **l'urticaire au froid**: érythème prurigineux des zones cutanées exposées au froid;

- **le syndrome de Raynaud**: constriction des petites artérioles des extrémités, qui se manifeste d'abord par une pâleur cutanée, souvent suivie par un érythème et une cyanose.

Facteurs aggravants

L'âge avancé constitue un facteur défavorable: les réponses thermorégulatrices au froid diminuent avec l'âge, en raison d'une diminution de la masse musculaire et du vieillissement des systèmes endocriniens

ENCADRÉ 2

SECOURIR EN CAS DE COUP DE FROID (HYPOTHERMIE)

- Prévenir ou faire prévenir les secours: le 18, 15 ou 112 et surveiller la victime jusqu'à l'arrivée de ceux-ci.

- 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'envelopper 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, en position latérale de sécurité (PLS);
 - 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.

(Source: Références en santé au travail, 2019, n° 160, p. 32.
Accessible sur: www.rst-sante-travail.fr/).

et neurologiques [13]. Le tabagisme est également 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, 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'accidents 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.

Les personnes très maigres 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 ou hypophysaire peut aussi augmenter la sensibilité à l'hypothermie.

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]. C'est le cas de certains médicaments contre la tension et l'angine de poitrine, des médicaments prescrits pour traiter une hypothyroïdie, des neuroleptiques, des sels de lithium, de la plupart des médicaments agissant sur la vigilance (sédatifs, hypnotiques).

Autres effets du froid

Sur le plan respiratoire, l'inhalation d'air froid peut provoquer un spasme des bronches: 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 [13]. La période hivernale est par ailleurs propice aux épidémies de maladies infectieuses, particulièrement à la grippe, largement responsable de la surmortalité saisonnière. L'exposition au froid favorise les pathologies cardiovasculaires, en particulier les maladies coronariennes et les accidents vasculaires cérébraux. La vasoconstriction périphérique entraîne en effet une élévation de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque, qui peut conduire à des crises d'angine de poitrine, voire à des infarctus, chez les sujets à

risque, surtout en cas d'activité physique importante. À un stade plus avancé, le rythme cardiaque ralentit, une arythmie peut survenir et conduire, dans des cas extrêmes, à l'arrêt cardiaque et au décès. D'autre part, l'augmentation de la pression artérielle augmente le risque d'hémorragie cérébrale. L'instabilité du diabète et l'augmentation de ses complications vasculaires sont de règle en climat froid [13].

Le froid modéré agit péjorativement sur les performances mentales: temps de réaction, temps de décision, cognition.... Un froid accentué diminue plus sévèrement ces performances, et peut provoquer des malaises, assoupissements, conduire à des erreurs ou à des accidents.

Le travail au froid (température sèche inférieure à 15°C) favorise l'apparition de troubles musculo-squelettiques des membres supérieurs. Le froid est

ENCADRÉ 3

SECTEURS, SALARIÉS: QUI EST CONCERNÉ PAR LES AMBIANCES FROIDES ET CHAUDES AU TRAVAIL ?

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

En période estivale, la majorité des salariés est susceptible d'être exposée à de fortes chaleurs, dont les effets se feront particulièrement sentir si les machines, produits ou procédés de travail dégagent de la chaleur, si leurs vêtements de travail empêchent l'évacuation de la sueur, ou si leurs tâches nécessitent une activité physique intense. Sont particulièrement concernées par les ambiances de travail chaudes d'une part les personnes qui travaillent à l'extérieur (construction, travaux routiers, mines à ciel ouvert, agriculture, travailleurs forestiers, des espaces verts, salariés du transport, représentants, ripeurs...), d'autre part les professionnels qui travaillent à la chaleur de façon plus ou moins permanente (certains postes industriels tels que les fondeurs, verriers, soudeurs, les métiers du textile, de la teinturerie de la blanchisserie, les pompiers, les boulangers, les cuisiniers...).

En savoir plus: <http://www.inrs.fr/risques/environnements-specifiques-de-travail/ce-qu-il-faut-retenir.html>



en effet associé à un accroissement du tonus musculaire, de la force exercée, nécessaires pour accomplir les mêmes tâches, et à une réduction de la force maximale volontaire. De plus, compte tenu du port de gants pour s'isoler du froid, 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 [18]. Certains auteurs ont incriminé le froid dans la genèse des phénomènes arthrosiques au niveau des mains, mais sans preuve scientifique formelle.

Enfin, l'exposition au froid peut provoquer tout type d'accident lié à la perte de dextérité, ainsi que des traumatismes par chutes, glissades, sur un sol gelé, et les accidents de la route liés à la neige ou au verglas. La base de données Epicea [9] de l'INRS contient de nombreux exemples d'accidents du travail liés au froid, utilisant de l'azote liquide

La lecture des 65 récits d'accidents survenus entre 1982 et 2016 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 Epicea se distinguent de l'ensemble des accidents par la proportion élevée de travailleurs isolés, qui est 3,5 fois plus importante pour les victimes travaillant en ambiance froide (14% contre 4%), et par la répartition selon les mois de l'année, qui montre logiquement un pic hivernal entre décembre et février.

Conclusion

Le travail en ambiances thermiques extrêmes concerne les salariés exposés à des températures très chaudes ou très froides du fait du processus de production ou de l'environnement de travail, ainsi que les nombreux salariés travaillant en extérieur et exposés aux intempéries, notamment dans les bâtiments et travaux publics, l'administration publique, le transport, le commerce (Cf. Encadré 3). 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 mettant en jeu le pronostic vital: coup de chaleur ou hypothermie. Dans le cadre d'une démarche de prévention associant des mesures collectives organisationnelles et techniques, et des moyens de protection individuelle, la formation et l'information des salariés revêtent une importance particulière notamment sur les conduites à tenir en cas d'urgence. ●

1. Epicea est une base de données réunissant des récits d'accidents du travail, administrée par l'INRS. Accessible sur: <http://www.inrs.fr/publications/bdd/epicea.html>

Remerciements

Les auteurs remercient Claire Tissot pour son travail d'exploitation et d'analyse des récits d'accidents du travail liés aux ambiances thermiques dans la base Epicea.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bulletin de Santé publique – Canicule et santé – Été 2019. Santé publique France, 9 p.
- [2] PASCAL M., DAOUDI J., FOUILLET A. ET AL. – Principaux enseignements de la surveillance sanitaire des impacts des vagues de chaleur de 2015 à 2017 en France. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, juin 2018, n° 16-17, pp. 326-329.
- [3] – PASCAL M., WAGNER V., CORSO M. ET AL. – Heat and cold related-mortality in 18 French cities. *Environment International*, 2018, 121, pp. 189-198.
- [4] Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail – Évaluation des risques induits par le changement climatique sur la santé des travailleurs. Maisons-Alfort, Anses, Rapport d'expertise collective, 2018, 262 p.
- [5] Pathologies liées à la chaleur. *La revue du Praticien Médecine générale*, 2011, vol. 25, n° 863, pp. 457-458.
- [6] SALATHE C., PELLATON C., VALLOTON L., CORONADO M., LIAUDET L. – Le coup de chaleur d'exercice. *Revue Médicale Suisse*, 2012, 8, pp. 2395-9.
- [7] LAAIDI K., UNG A., PASCAL M., BEAUDEAU P. – Vulnérabilité à la chaleur: actualisation des connaissances sur les facteurs de risque. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire*, 2015, n° 5, pp. 76-82.
- [8] Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé – Mise au point sur le bon usage des médicaments en cas de vague de chaleur. ANSM, mai 2017. Accessible sur: www.ansm.sante.fr
- [9] TISSOT C. – Epicea. Une base de données sur les accidents du travail au service de la prévention. *Pratiques et métiers. Références en Santé au Travail*, 2017, 152, pp. 91-97. Accessible sur: www.rst-sante-travail.fr/
- [10] Heat. In: Reprotox. Reproductive Toxicology Center, 2018. Accessible sur: <https://reprotox.org/>
- [11] TROTTIER M., CROTEAU A., GOULET L. ET AL. – Analyse des données probantes sur le travail en ambiance thermique chaude et ses effets sur les issues de grossesse. Institut national de santé publique du Québec, 2008. Accessible sur: www.inspq.qc.ca/print/publications/819
- [12] SAVOUREY G., LAUNAY J.C., MELIN B. – Physiopathologie et prévention des troubles liés à l'exposition à la chaleur ou au froid. ADSP, décembre 2003, n° 45, pp. 4-9.
- [13] LAUNAY J.C., BOURRILHON C., SAVOUREY G. – Travail au froid. In: Encyclopédie médico-chirurgicale, Pathologie professionnelle et de l'environnement. Paris, Elsevier Masson, 2011, 16 p.
- [14] DANZL D.F. – Hypothermie. In: Edition professionnelle du manuel MSD. Accessible sur: www.msdmanuals.com/fr/professional
- [15] MAGNAN M.A., CAUCHY E., BECKER F. – Les acrosyndromes de l'extrême: les gelures. *Journal des Maladies Vasculaires*, septembre 2012, 37, 5, pp. 254-255.
- [16] QUATERSZOOZ P., PIERARD-FRANCHIMONT C., PAQUET P., PIERARD G.E. – Le fond de l'air est frais, le froid est piquant et la peau en pâtit. *Revue Médicale de Liège*, 2008, 63, 1, pp. 18-22.
- [17] AFSSAPS – Informations sur les traitements médicamenteux en cas d'épisode de grand froid. Questions/réponses (17/12/2009); accessible sur: <https://ansm.sante.fr>
- [18] INRS – Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS). Guide pour les préventeurs. ED 957, 2011, 97 p. Accessible sur: www.inrs.fr

CHAUD, FROID: COMMENT ÉVALUER LE RISQUE

Évaluer une situation de travail en ambiance thermique dégradée, trop chaude ou trop froide, est la base de toute démarche de prévention. Des indices appropriés existent selon l'ambiance thermique pour donner des repères aux préventeurs.

LAURENCE
ROBERT
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Facteurs influençant les échanges thermiques entre le corps et son environnement

Qu'il s'agisse d'une situation de travail au froid ou à la chaleur, la démarche d'évaluation des risques repose toujours sur l'analyse du maintien de l'équilibre thermique du salarié dans son environnement de travail. Ce bilan thermique dépend des différents échanges de chaleur entre le corps et son environnement. L'homme devant continuellement maintenir sa température interne constante, son bilan thermique au poste de travail doit s'approcher le plus possible de la neutralité, c'est-à-dire sans gain ni perte de chaleur excessive pour le corps. Cependant, la situation d'un salarié dans une ambiance thermique est influencée par un grand nombre de paramètres (vitesse du vent, température de rayonnement, niveau d'activité métabolique (énergétique), ou une combinaison de plusieurs de ces facteurs, etc.), qui peuvent s'avérer décisifs dans les mécanismes d'échange de chaleur.

Dans une démarche d'évaluation des risques, il est donc nécessaire de connaître ces différents facteurs, de savoir les estimer ou les mesurer pour juger de la situation et de proposer des pistes de prévention. On regroupe généralement les facteurs impactant ces échanges thermiques en trois catégories :

- les facteurs liés à l'environnement : température de l'air, température de rayonnement, vitesse et humidité de l'air ;
- les facteurs liés à l'activité du salarié c'est-à-dire son métabolisme (M) et le travail mécanique éventuellement effectué pour la réalisation de sa tâche de travail (W) ;
- les facteurs liés aux vêtements, avec l'isolement vestimentaire et la perméabilité du textile à la vapeur d'eau et, dans certains cas, leur réflectivité.

Le bilan « du corps » : situation thermique

En prenant en compte l'ensemble de ces facteurs, il est possible de définir les différents échanges thermiques entrant dans le bilan entre le corps et son environnement et ainsi, juger de la situation thermique d'un salarié dans l'environnement de son poste de travail. Ainsi, les échanges de chaleur suivants participent, de façon plus ou moins significative, au bilan thermique du corps :

- les échanges par convection (C), qui ont lieu entre un solide et un fluide, ici entre le corps et l'air dès lors qu'ils sont à des températures différentes et lorsqu'il y a un déplacement de l'un par rapport à l'autre. Ces échanges par convection sont donc fortement dépendants de la température de l'air et de sa vitesse. Lorsque l'air est animé d'une vitesse, par exemple en cas de ventilation ou si le sujet se déplace, ces échanges sont plus importants que lorsque l'air est statique. La convection est un mécanisme prépondérant dans les échanges thermiques humains ;
- les échanges par conduction (K), qui apparaissent dès lors qu'en différents points il y a des températures différentes, et qu'il y a un contact thermique (peau - vêtement, peau - outil...). 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, mais ils peuvent avoir une influence sur la sensation de confort thermique ;
- les échanges par rayonnement thermique (R), qui s'effectuent entre des surfaces de températures différentes et sans contact direct, comme le corps et les surfaces environnantes. Ces échanges dépendent de la surface cutanée exposée aux échanges et des températures moyennes de rayonnement de chaque surface environnante. Ce mécanisme de transfert thermique est très impactant sur le bilan thermique du corps. En milieu professionnel, ces échanges peuvent être particulièrement significatifs et présenter un risque important, comme lors d'un travail à proximité d'un four si des écrans et/ou des vêtements de protection appropriés ne sont pas utilisés ;
- les échanges par évaporation de la sueur (E_s), qui prennent en compte deux phénomènes, la diffusion passive de la sueur à travers la peau et son évaporation à la surface de la peau, phénomène actif de la sudation. Cette évaporation consomme une énergie importante, et est donc 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 ;



ENCADRÉ 1

LA PLACE DE LA MÉTROLOGIE ET DE L'ESTIMATION DES PARAMÈTRES CLÉS DANS LA CARACTÉRISATION DE LA CONTRAINTE



© Laurence Robert/INRS

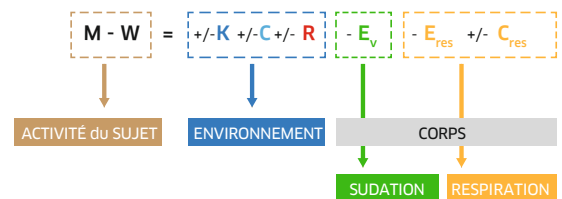
La caractérisation de la contrainte thermique nécessite à la fois de mettre en place une métrologie spécifique permettant la mesure de grandeurs physiques, mais également de savoir estimer le métabolisme et l'isolement vestimentaire de la tenue de travail du salarié. La mise en œuvre des mesures physiques

(températures de l'air et de rayonnement, l'humidité relative de l'air et la vitesse de l'air) est encadrée par la norme NF EN ISO 7726*.

- La mesure de la température de l'air est réalisée souvent à l'aide d'un thermomètre, d'un thermocouple ou d'une sonde de température. De façon à ce que le rayonnement thermique des surfaces environnantes n'influe pas la mesure, il est recommandé de protéger l'élément sensible par un cylindre en métal qui réfléchit le rayonnement incident.
 - La température moyenne de rayonnement est mesurée à l'aide d'un globe noir. Il s'agit d'un thermocouple placé dans un globe métallique peint en noir mat d'un diamètre de 15 cm. De cette mesure de température de globe est déduite la température moyenne de rayonnement, après application d'un facteur de correction qui prend en compte la température de l'air et de sa vitesse. Cette mesure simple requiert néanmoins une durée de stabilisation importante d'environ 30 minutes et nécessite d'être réalisée au niveau du poste de travail à caractériser.
 - La vitesse de l'air est mesurée soit par des anémomètres à fil chaud ou boule chaude, soit par des anémomètres à hélice. C'est une grandeur environnementale parfois très fluctuante qui peut générer des situations d'inconfort local.
 - L'humidité représente la proportion du mélange d'air sec et de vapeur d'eau contenu dans un volume d'air. La mesure de l'humidité se fait généralement grâce à l'utilisation d'une sonde capacitive.
- En parallèle à la mesure des caractéristiques liées à l'environnement, il est nécessaire d'estimer le métabolisme du sujet et son isolement vestimentaire.
- 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. La détermination du métabolisme est détaillée dans la norme spécifique NF EN ISO 8996*.
 - L'estimation de l'isolement vestimentaire est encadrée par la norme NF EN ISO 9920*.

* Normes : NF EN ISO 7726 (indice de classification Afnor : X35-202) – Ergonomie des ambiances thermiques. Appareils de mesure des grandeurs physiques. Afnor, Janvier 2002. NF EN ISO 8996 (indice de classification Afnor : X35-205) – Ergonomie de l'environnement thermique. Détermination du métabolisme énergétique. Afnor, Février 2005. NF EN ISO 9920 (indice de classification Afnor : X35-206) – Ergonomie des ambiances thermiques. Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire. Afnor, Août 2009.

• enfin, les échanges par la respiration qui sont de deux types car l'inspiration et l'expiration de l'air s'accompagnent à la fois d'échanges de chaleur (C_{res}) et d'échanges d'eau (E_{res}). Ces échanges sont initiés par la différence de température et la différence de teneur en eau qu'il existe entre l'air dans les poumons et l'air environnant. La température et l'humidité de l'air, mais aussi l'activité du salarié par l'intermédiaire de son débit respiratoire, sont des paramètres déterminants dans ce type d'échange de chaleur. En prenant en compte ces différents échanges, le bilan thermique du corps sur lequel va se baser la démarche d'évaluation du risque peut ainsi être détaillé :



L'ensemble des échanges thermiques est ramené à la surface du corps; ceux-ci sont exprimés en W/m^2 . Si ce bilan est équilibré ou proche de l'équilibre, alors le salarié n'est pas dans une situation contraignante thermiquement, mais il peut être en léger inconfort. Même si les grandeurs clés intervenant dans le bilan du corps, ainsi que les différents échanges thermiques, sont bien définis, il reste néanmoins très complexe de caractériser l'état de confort ou de contrainte thermique en jugeant de la situation sur l'ensemble de tous ces paramètres à la fois. Pour contourner cette difficulté, on introduit des indices, dits de « contrainte thermique », qui permettent de caractériser la situation d'un individu dans une ambiance donnée, en intégrant l'ensemble de ces facteurs.

Dans une ambiance chaude, si la somme des différents flux liés essentiellement à l'environnement vient s'ajouter au métabolisme, alors le bilan est largement positif pour le corps. Le salarié reçoit trop de chaleur par rapport à ce qu'il peut évacuer, principalement par sudation, et peut se retrouver en situation de contrainte chaude. Dans ce cas, la démarche d'évaluation de la contrainte va se baser sur l'indice d'astreinte thermique prévisible (ATP; Cf. Focus 1). Au contraire, si le bilan thermique du corps est très largement négatif, c'est-à-dire que le métabolisme et l'habillement ne suffisent pas à équilibrer les pertes de chaleur dues à un environnement trop froid, alors le salarié va se trouver en situation de contrainte froide. Le corps ayant nettement moins de possibilité de compenser un manque de chaleur, la démarche d'évaluation de la contrainte va reposer sur l'indice d'isolation vestimentaire requise (IREQ; Cf. Focus 2). ●

FOCUS 1 / Cas de l'exposition à la chaleur : l'indice d'astreinte thermique prévisible (ATP)

En situation de contrainte chaude, bien qu'il existe divers indices de contrainte, l'indice le plus couramment utilisé est l'indice ATP (pour astreinte thermique prévisible). Cet indice est encadré par la norme ISO 7933¹ (sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible), qui spécifie une méthode d'évaluation analytique et d'interprétation de la contrainte thermique subie par un sujet, dans un environnement thermique chaud. Elle permet de prédire le débit sudoral et la température corporelle centrale que l'organisme humain met en œuvre en réaction aux conditions de travail à la chaleur.

Comme explicité précédemment, le calcul de l'indice est basé sur les équations générales du bilan thermique d'un homme placé dans une ambiance thermique spécifiée, l'interprétation de cet indice ATP est effectuée sur la base de deux critères de contrainte et en fonction de deux limites d'astreintes pour le corps, qui sont la température rectale maximale (T_{max}) et la perte hydrique maximale (D_{max}). Les valeurs de ces limites d'astreinte sont fonction du degré d'acclimatation du sujet et de son accès à l'eau. En cas de déséquilibre thermique, l'élévation de la température centrale doit être limitée à une valeur maximale, de manière à réduire au maximum la probabilité de tout effet pathologique. De même, il convient de limiter la perte hydrique de l'organisme à une valeur maximale compatible avec le maintien de l'équilibre hydrominéral du corps.

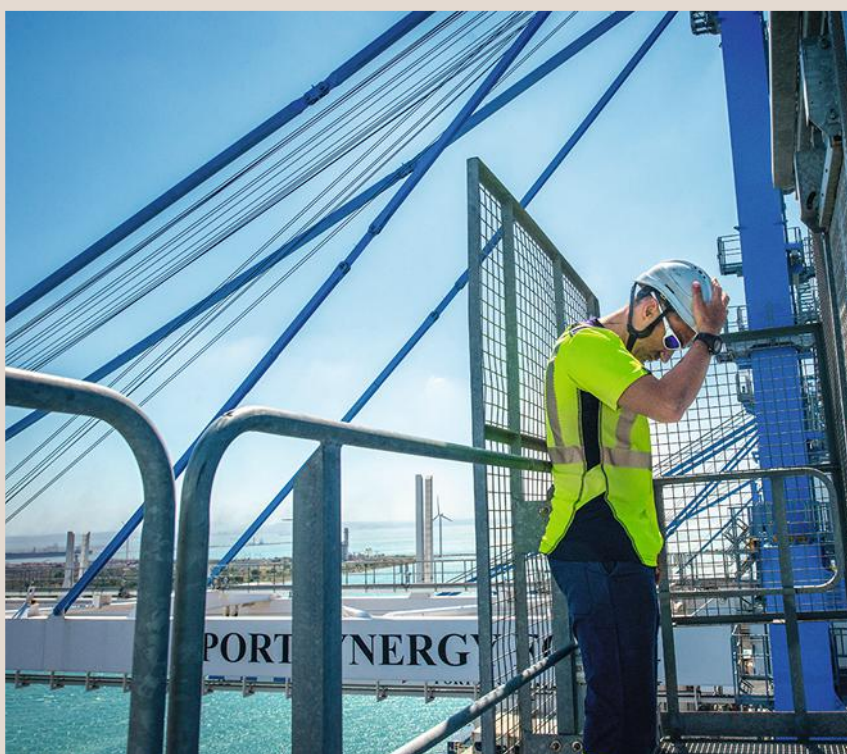
Les valeurs limites d'astreintes de ces deux grandeurs sont définies pour deux seuils distincts : un seuil d'alarme, qui est le niveau en deçà duquel un sujet en bon état de santé ne court pas de risque, et un seuil de danger, qui est le niveau au-delà duquel certains sujets, bien qu'ils soient en bon état de santé, peuvent déjà courir un risque. Dans un souci de prévention, les valeurs d'alerte sont considérées comme l'objectif à ne pas dépasser.

En ce qui concerne la perte hydrique maximale, pour un sujet ayant un libre accès à l'eau, la valeur retenue est une perte correspondant à 5% de la masse cor-

porelle du sujet. Si le sujet n'a pas accès à l'eau, alors cette valeur est réduite à 3% de la masse corporelle.

En ce qui concerne l'élévation de la température centrale maximale, basée sur des recommandations de l'OMS, elle ne doit pas dépasser 1°C. Dans la pratique, et ce dans un souci de prévention, les préventeurs des Carsat (Caisses d'assurance retraite et de santé au travail) ont adopté des valeurs seuils d'astreinte légèrement plus strictes : une élévation de la température centrale de 0,8°C et une perte hydrique de 3000 g, quel que soit le poids du sujet, en ayant accès à l'eau.

Ces deux dernières conditions permettent de définir une durée limite d'exposition (DLE) dans une situation donnée de contrainte à la chaleur. Lorsque cette DLE est supérieure à huit heures, il n'y a pas lieu de limiter la durée du poste de travail, pour un poste d'une durée de huit heures. En revanche, quand la DLE est inférieure à



© Fabrice Dimier pour l'INRS, 2018

cette durée, il convient d'organiser des pauses, dont la fréquence et la longueur permettent une récupération efficace. Si la DLE est inférieure à 30 minutes, une surveillance physiologique directe et individuelle est nécessaire, telle que présentée dans l'article suivant (Cf. p. 55).

1. Norme NF EN ISO 7933 – Ergonomie des ambiances thermiques. Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible. Afnor, Février 2005.



ENCADRÉ 2

EXPOSITION À LA CHALEUR D'UN CUEILLEUR DANS UNE CRISTALLERIE ARTISANALE



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS/2019

Dans l'industrie du verre, le cueilleur a pour mission de récupérer une boule de verre en fusion à une température avoisinant 1 100 °C à l'aide de son ferret, longue canne qu'il fait pivoter entre ses doigts lui assurant un mouvement de rotation continu. Cette boule de verre servira à façonner un objet: bouteille, flacon, boule de verre... De par cette activité, le cueilleur est continuellement situé devant un four à pot. Dans ces conditions, une évaluation du risque lié à l'exposition à la chaleur a été conduite sur le poste de cueilleur d'une cristallerie artisanale. L'étude de l'activité métabolique du salarié (120 W/m²) et de sa tenue vestimentaire (isolement vestimentaire de 0,54 Clo) associée aux mesures environnementales ont mené à la détermination des grandeurs qui entrent en considération dans l'estimation de l'indice d'astreinte thermique prévisible (ATP):

- température de l'air ambiant: 35,4 °C;
- température moyenne de rayonnement: 71 °C;
- humidité relative de l'air: 20,1 %;
- vitesse de l'air: 0,2 m/s.

Dans le cas de ce cueilleur de verre, les conditions de travail devant un four de verre en fusion ont conduit à une limitation de sa durée de travail à 51 minutes (durée calculée à l'aide des outils normalisés), car il s'agit d'une situation de travail évaluée très contraignante en application de l'indice ATP. Une modification de l'organisation du travail des cueilleurs a été proposée: alternance plus fréquente des temps

de pause et de travail, rotation de poste sur plusieurs salariés par exemple. Étant donné que la température de rayonnement est très importante (plus de 70 °C devant un four), il a été préconisé de mettre en œuvre des écrans devant les fours, écrans pouvant être amovibles le temps de la cueillette de verre. En outre, il a été conseillé au salarié de porter des tabliers réfléchissants pour limiter le rayonnement reçu.



© INRS



© INRS

FOCUS 2 / Cas de l'exposition au froid : l'indice d'isolation vestimentaire requise (IREQ)

Les basses températures, associées ou non à la présence de vent, peuvent mettre en danger l'équilibre thermique du corps humain. En effet, le corps possède peu de ressources internes pour lutter contre une perte excessive de chaleur. 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, qu'il soit intérieur ou extérieur. Aussi, la méthode d'évaluation des risques utilisée en contrainte froide est basée sur l'évaluation de l'isolement des vêtements – isolement requis pour maintenir le bilan thermique du corps à l'équilibre.

Cette méthode d'évaluation des risques est encadrée par la norme NF EN ISO 11079¹.

L'équation de bilan thermique utilisée, précédemment explicitée, est résolue pour l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ), qui permet de maintenir l'équilibre thermique en respectant les critères d'astreinte physiologique spécifiés. La valeur IREQ obtenue est ensuite comparée à la protection thermique du vêtement réellement porté par le travailleur. Si l'isolement thermique du vêtement porté par le salarié est inférieur à la valeur prescrite, une durée d'exposition admissible (D_{lim}) est calculée à partir des niveaux acceptables de refroidissement corporel.

Par définition, l'IREQ est l'isolement thermique 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 :

- 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; elle se mesure en Clo (*clothes* en anglais, vêtement) $1 clo = 0,155 K \cdot m^2/W$;
- un outil qui permet :
 - d'analyser les effets de l'environnement thermique et du métabolisme énergétique sur le corps humain, dans un environnement de travail froid;
 - de définir les exigences relatives à l'isolement thermique du vêtement et de choisir ensuite le vêtement à utiliser dans les conditions réelles de travail;
 - 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 NF EN ISO 11079 insiste sur les refroidissements localisés. En effet, il est important de savoir que le refroidissement local d'une partie quelconque du corps, en particulier des mains, des pieds et de la tête,

peut engendrer une gêne, une dégradation des performances manuelles et physiques et une blessure ou un accident dus au froid.

En environnement extérieur, les mesures de protection consistent le plus souvent à ajuster le vêtement ou à contrôler l'exposition. Plusieurs types de contraintes locales liées au froid peuvent apparaître de manière simultanée ou indépendante, les salariés peuvent être confrontés au :

- refroidissement local par convection, avec la combinaison d'une température basse et de vent. Les parties non protégées du corps, telles que le visage, les mains, la tête peuvent se refroidir très rapidement et atteindre des températures engendrant un risque de blessure;
- refroidissement par conduction dû au contact d'une surface froide;
- refroidissement des extrémités en raison de la vasoconstriction. Ce phénomène peut réduire l'apport de chaleur à des niveaux très bas. Les extrémités, notamment les doigts des mains et des pieds, vont se refroidir progressivement et atteindre des températures insupportables;
- refroidissement des voies respiratoires par l'inhalation d'air à basse température.

Pour conclure, cette démarche d'évaluation de la contrainte repose sur les principes généraux de l'équilibre thermique du corps dans un environnement de travail donné, avec une tenue vestimentaire donnée. Il s'agit bien d'une étude de poste pour un sujet « standard », apte au travail et non pas d'une étude de personne. Cette démarche d'évaluation nécessitant la mise en œuvre de métrologie, le calcul d'indices et l'interprétation de ces derniers pour juger d'une situation, n'est pas toujours aisée à conduire. Aussi, il est conseillé de se rapprocher des Centres de mesures physiques des Carsat, qui peuvent assurer un service de conseil et d'aide à l'évaluation d'une situation de travail. Il est rappelé également que l'INRS propose dans son offre de formation, une session spécifique intitulée : « Évaluer et prévenir les risques liés aux ambiances thermiques »². Cette formation comporte notamment des travaux pratiques, qui permettent de manipuler les différents outils de calcul des indices présentés plus haut, de comprendre les choix paramétriques, et de pouvoir adapter et formuler des recommandations de prévention.

1. Norme NF EN ISO 11079 (indice de classification Afnor : X35-215) – 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. Afnor, Février 2008.

2. Session AA0508 (du 22 au 26 mars 2021). Une « feuille de calcul », réalisée par la Carsat de Bretagne, est explicitée et utilisée lors de cette formation.



ENCADRÉ 3

EVALUATION DE LA CONTRAINTE FROIDE DE MONITEURS DE SKI

Les moniteurs de ski et autres agents des domaines skiables peuvent être confrontés à des températures extérieures et des vitesses de vent pouvant rapidement mener à une situation de contrainte froide, si leur activité et l'isolement de leur tenue ne suffisent pas à compenser les pertes de chaleur dues aux conditions extérieures. Une évaluation de l'exposition de moniteurs de ski est proposée ici.

Pour cette activité de travail, l'activité métabolique a été considérée comme modérée à élevée avec une valeur (M) extraite de la norme NF EN ISO 11079 à 175 W/m².

De même, après étude de la tenue de travail (combinaison de ski à rembourrage synthétique avec cagoule, sous-vêtement haut et bas longs isothermes, lunettes, gants de ski isolants, chaussettes de ski fines au genou et bottes étanches et calorifugées) et en accord avec le tableau A5 de la norme NF EN ISO 9920, l'isolement vestimentaire a été estimé à 1,97 Clo.

Pour évaluer différentes situations de travail pouvant être rencontrées, la température de l'air (T °C) a été considérée entre -5 et -20 °C et sa vitesse (V) entre 1,4 et 5,5 m/s, ce qui correspond à des vitesses de vent de l'ordre de 1 à 20 km/h. La température de rayonnement est du même ordre de grandeur que celle de l'air et l'humidité relative de l'air, considérée à 75 % (non nécessairement représentative de toutes les situations de travail au froid). La démarche de calcul de l'IREQ conduit à :

CONDITIONS EXTÉRIEURES (T °C ET V)	IREQ ASSURANT LA NEUTRALITÉ THERMIQUE	ISOLEMENT VESTIMENTAIRE DE LA TENUE DE TRAVAIL	DURÉE LIMITE
-5 °C et 1 km/h	1,4 Clo	1,97 Clo	Pas de durée limite
-10 °C et 10 km/h	2,1 Clo	1,97 Clo	Durée limitée à 4 h 30
-20 °C et 20 km/h	3,3 Clo	1,97 Clo	Durée limitée de 30 à 50 minutes

Dans le cas des moniteurs de ski, certaines conditions de travail peuvent donc conduire à une contrainte thermique significative. La vitesse de l'air se révèle être un paramètre très impactant sur le bilan thermique du corps (c'est la théorie canadienne de la « température ressentie »). C'est pourquoi en cas de vents forts associés à des températures faibles, le maintien au poste doit être limité dans le temps et la tenue de travail revue pour lui conférer une meilleure isolation thermique.

Cette évaluation permet d'attirer l'attention sur la vigilance à avoir pour d'autres postes de travail des domaines skiables. En effet, les postes de surveillance de remontées mécaniques, pour lesquels l'activité des salariés est moindre que celle des moniteurs de ski, peuvent être plus rapidement contraignants dans les mêmes conditions extérieures. De la même façon les postes de conducteur de motoneige, pour lesquels une vitesse d'air supplémentaire à celle du vent est induite par le déplacement du véhicule, peuvent aussi amener plus rapidement à des situations de contrainte froide.



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2013

MESURES PHYSIOLOGIQUES ET DONNÉES SUBJECTIVES POUR L'ÉVALUATION DES RISQUES

Quel que soit le milieu ambiant, un ensemble de processus physiologiques - appelé thermorégulation - présenté dans les articles précédents, permet à l'être humain de maintenir sa température centrale relativement constante, proche de 37°C. Dans certaines conditions, cette régulation fait défaut, d'où l'intérêt de disposer d'indices pour évaluer les risques et éviter les effets délétères des ambiances chaudes et froides sur la santé des salariés.

EMMANUELLE
TURPIN-
LEGENDRE
INRS,
département
Homme
au travail

Les mesures environnementales d'ambiance thermique caractérisent les conditions climatiques dans lesquelles le salarié est amené à travailler ; ce sont des mesures de contraintes thermiques. Le corps humain réagit à ces contraintes environnementales par des astreintes, c'est-à-dire des adaptations biologiques, physiologiques et psychologiques. Dans certains contextes, les indices thermiques environnementaux de contrainte thermique, décrits dans l'article précédent (*Cf. pp 49-54*), ne peuvent pas être utilisés. Il s'agit de situations à risques, telles que des expositions brèves à des contraintes thermiques élevées, non stables ou liées au port de tenues spécifiques. En effet, les indices d'exposition utilisés dans les modèles présentent des durées de stabilisation longues et les indices d'isolement thermique vestimentaire ne prennent pas en compte certains vêtements (étanches, en fourrure, aluminisés...). Seuls les indices physiologiques, simples d'utilisation, peuvent déterminer dans ces types de situations, si les salariés sont exposés ou non à une astreinte thermique excessive [1, 2]. Associé à l'enregistrement de ces données objectives, le recueil de données subjectives apporte un complément nécessaire à l'analyse de la situation.

Indices physiologiques

Les indices physiologiques présentés ci-dessous s'appliquent principalement en ambiance chaude. En effet, en ambiance froide, seules des mesures de température corporelle sont disponibles.

La fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque (FC) est un indice simple, précis, fiable et peu coûteux à mesurer. Il permet de déterminer la dépense énergétique liée à une tâche, et est utilisé en tant qu'indice pour quantifier

l'astreinte thermique, l'adaptation physiologique à la chaleur. Il calcule l'augmentation de la fréquence cardiaque de récupération après l'activité, selon la notion d'extra-pulsations cardiaques thermiques (EPCT) proposée par Vogt en 1981 [3], reprise par la norme NF EN ISO 9886 [4] et Meyer en 2014 [1]. En effet, au cours de l'activité, la fréquence cardiaque s'élève, du fait de la dépense énergétique et de la production de chaleur métabolique. Cette élévation permet en effet l'augmentation du débit sanguin nécessaire au transfert de la chaleur accumulée dans le noyau interne (organes profonds) vers la peau où elle sera dissipée. À l'arrêt de l'activité, la fréquence cardiaque diminue rapidement, traduisant la récupération métabolique, dont la durée est d'environ trois minutes, tandis que la récupération thermique, due à la baisse progressive de la température corporelle, est plus lente. Ainsi, le recueil de la fréquence cardiaque et le calcul des EPCT permettent de quantifier l'astreinte thermique.

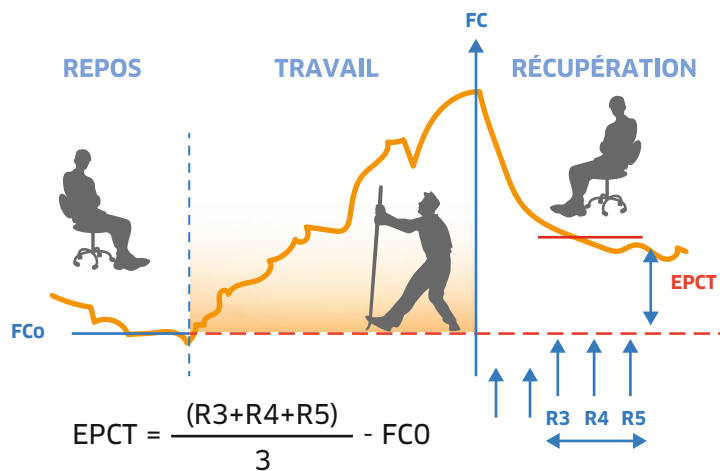
Les EPCT sont la moyenne des fréquences cardiaques de récupération des troisième (R3), quatrième (R4) et cinquième (R5) minutes après l'activité, de laquelle est soustraite la fréquence cardiaque de repos (FC0) :

$$EPCT = \frac{(R3+R4+R5)}{3} - FC0$$

La FC0 est la fréquence cardiaque moyenne enregistrée pendant cinq minutes avant l'activité, en condition environnementale neutre, le salarié étant assis sans parler. Les différentes phases de l'activité à analyser pour le calcul des EPCT sont décrites dans la *Figure 1*.

Afin d'éviter une astreinte thermique excessive, les EPCT ne doivent pas dépasser 30 battements par minute (bpm) [3, 4]. En effet, des études [1, 3]





↑ FIGURE 1
Phases d'activité
à étudier pour
calculer les
extra-pulsations
cardiaques
thermiques (EPCT).

ont montré le lien entre les EPCT et la mesure de la température interne. Elles montrent que l'indice EPCT donne une bonne estimation de la température interne et qu'en moyenne, 30 bpm d'EPCT correspondent à une augmentation de 1°C de la température interne [4].

La température interne

En ambiance chaude, la température interne est un bon indicateur d'astreinte thermique, mais elle est difficile à obtenir. En effet, sa mesure n'est pas unique, car elle peut être estimée par la mesure de différentes parties du corps. La température buccale, facilement enregistrable, est une mesure corporelle suffisamment représentative de la température interne, pour être préconisée en situation de travail.

Elle est mesurée à l'aide d'un capteur muni d'une thermistance à usage unique, placé sous la langue. Cette mesure est prise pendant cinq minutes, en phases de repos, avant et après l'exposition. Elle doit être enregistrée impérativement bouche fermée afin d'éviter les échanges thermiques par convection et évaporation à la surface des muqueuses buccales, qui perturberaient la mesure.

L'indice d'astreinte à la chaleur est la différence de température buccale, mesurée avant et après l'exposition. La valeur seuil à ne pas dépasser est de 1°C. Au-delà de cette valeur, il est considéré que le salarié subit une astreinte thermique excessive [4]. En ambiance froide, en dessous de 37°C de température interne, la sensation de froid est bien présente avec mise en jeu des phénomènes de régulation physiologiques (vasoconstriction, frissons). L'hypothermie est atteinte lorsque la température interne descend en dessous de 35°C.

La sudation

La sudation est nécessaire pour permettre à l'organisme d'évacuer la chaleur interne. Cependant, il est important de mesurer la perte sudorale lors d'expositions relativement longues (environ une heure) et lorsque l'activité physique est importante. La mesure de la sudation se réalise par la pesée des salariés avant et après l'exposition, en ambiance tempérée, en tenue légère, sur une balance de précision +/- 50 g et en surveillant les ingestions et excréctions.

La perte hydrique maximale doit être limitée à 5% de la masse corporelle si les personnes peuvent



Certains postes de travail en cuisine peuvent exposer à la chaleur, de façon plus ou moins conséquente.

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2017

ENCADRÉ

EXEMPLE D'UN CHANTIER DE DÉSAMANTAGE



© Gael Kerbaol/INRS/2012

↑ Combinaison Tyvek®.

Onze salariés ont brossé l'amiante de murs et de plafonds, debout, au sol ou sur un échafaudage, les bras au-dessus des épaules. Ils portaient des combinaisons étanches Tyvek® (Tyvek-Pro.Techs type 5) et un masque à induction d'air (Cf. Photo ci-contre).

La température de l'air dans la zone de désamiantage était à $26 \pm 1^\circ\text{C}$, l'humidité relative à $43 \pm 3\%$ et le travail a été estimé « modéré », avec une dépense énergétique comprise entre 133 et $150 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Les salariés ont travaillé environ 70 ± 15 minutes en confinement.

Afin de s'assurer que le port d'une combinaison étanche ne crée pas une astreinte thermique excessive, des mesures d'indices physiologiques et des données subjectives ont été enregistrées.

Les mesures de fréquence cardiaque ont permis de calculer une valeur moyenne d'EPCT de 7 ± 8 bpm, inférieure à la valeur limite acceptable de 30 bpm. La valeur moyenne de variation de température buccale ($0,33 \pm 0,32^\circ\text{C}$) est inférieure à la valeur limite de 1°C . Les pertes sudorales moyennes n'ont pas dépassé la valeur maximale de 3% de perte de masse corporelle. La température cutanée moyenne ($33,80 \pm 0,88^\circ\text{C}$) se situe dans la plage de confort ($32 - 34^\circ\text{C}$). Ces résultats montrent qu'en moyenne, les salariés ne subissent pas d'astreinte thermique excessive, en raison d'un environnement thermique et d'une charge physique modérés. En ce qui concerne les données subjectives, les salariés ont coté l'astreinte physique globale à 13, selon l'échelle RPE de Borg, ce qui correspond à un effort physique « un peu dur ». Sur ce chantier de désamiantage, les tâches sollicitaient fortement les membres supérieurs et le dos, ce qui pouvait provoquer des contraintes musculaires locales élevées. Par ailleurs, les salariés ont estimé être peu gênés par les appareils de protection respiratoire. Cependant, ils ont considéré que cette

combinaison étanche était peu confortable, peu rafraîchissante, peu robuste, mais toutefois peu encombrante. Les aspects négatifs du port de cette tenue peuvent être expliqués par l'humidité retenue dans la combinaison. Ainsi, l'analyse des indices physiologiques ne montre pas d'astreinte excessive à la chaleur, mais le ressenti des salariés doit être pris en compte pour optimiser la situation de travail.

Dans ce type de chantier avec port de combinaison étanche, la durée d'exposition doit être limitée [11]. En effet, la combinaison étanche favorise l'accumulation de vapeur d'eau jusqu'à un point de saturation, qui empêche la sécrétion de sueur et son évaporation. Ceci limite la perte de chaleur et contribue à l'apparition d'une astreinte thermique.

De plus, l'organisation du travail doit faciliter l'accès à l'eau, afin d'éviter le phénomène de déshydratation (l'hydratation est possible uniquement hors zone).

boire librement et à 3% de la masse corporelle, s'il n'y a pas de possibilité de s'hydrater [4, 5].

La température cutanée

Lors d'interventions très brèves, la température interne n'a pas le temps de varier et la sudation de s'enclencher. Aussi, dans cette situation, la température cutanée, qui varie rapidement, est le paramètre à étudier, bien qu'elle ne permette pas d'évaluer une astreinte thermique [4]. En effet, elle est considérée comme un critère de confort thermique, mais elle n'est pas à négliger pour autant. La notion d'inconfort exprimée par un salarié est importante et elle doit être prise en considération, car c'est un élément d'alerte d'une situation à risque thermique, qui doit s'accompagner de la mise en œuvre d'une démarche de prévention. Les températures à la surface du corps sont très variées et sont influencées par les échanges thermiques par conduction, convection, rayonnement

et évaporation, ainsi que par les variations du débit sanguin. Il convient de mesurer des températures locales qui, par pondération, permettent d'obtenir une température cutanée moyennée. Ces mesures peuvent s'effectuer au moyen d'un capteur de rayonnement infrarouge ou par contact avec un capteur de température cutanée. En ambiance chaude, quatre points de mesurage sont suffisants alors qu'en ambiance froide, 8 ou 14 points sont recommandés avec des points supplémentaires au niveau des doigts et des orteils [4]. La température cutanée en milieu neutre se situe autour de 33°C [3] avec des températures de confort entre 32 et 34°C [6, 7] sachant que le seuil de douleur est reconnu à 43°C [4]. En ambiance froide, 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 [8].



Données subjectives

En complément des données objectives mesurées, les échelles de jugements subjectifs sont utilisées pour quantifier les astreintes thermiques, le confort, et aussi l'astreinte physique dans des situations où s'additionnent parfois aux conditions chaudes ou froides, des charges physiques élevées. L'utilisation conjointe des données objectives et subjectives renforce l'analyse des risques.

Que ce soit en ambiance chaude ou froide, des échelles de jugements subjectifs permettent de quantifier la transpiration, la respiration, l'état de la peau, le confort... [9]. La Figure 2 présente un exemple d'échelles subjectives.

FIGURE 2 →
Exemple d'échelles de jugements subjectifs pour quantifier l'astreinte thermique et le confort. Les chiffres sans commentaire permettent de nuancer la réponse.

Ma respiration est	Je transpire
1/ tout à fait normale	0/ pas du tout
2/	1/ à peine
3/ je suis un peu gêné(e)	2/ nettement
4/	3/ énormément
5/ je suis très gêné(e)	
6/	
7/ je manque d'air	

Ma peau est	Cet équipement vous a-t-il gêné dans cette tâche
1/ sèche	1 – pas du tout
2/ un peu mouillée	2 – un peu
3/ mouillée	3 – moyennement
4/ très mouillée	4 – beaucoup
5/ trempée	

En ce qui concerne l'évaluation de la charge physique de travail, de nombreuses échelles de quantification existent, mais les échelles de Borg [10] font l'objet d'un consensus d'efficacité [1]. Elles sont de deux types: l'échelle d'évaluation globale RPE (*Rating of perceived exertion*) qui s'appuie sur l'étude de la fréquence cardiaque et interroge l'intensité de la charge physique de travail, et l'échelle locale CR 10 (*Categorical rating 10*) en lien avec la force générée, qui interroge la perception de l'intensité de l'effort (Cf. Figure 3).

FIGURE 3 →
Échelles de Borg. Les chiffres sans commentaire permettent de nuancer la réponse.

6 — rien	0 — rien
7 — extrêmement faible	0,5 — très très faible
8 —	1 — très faible
9 — très faible	2 — faible
10 —	3 — modéré
11 — faible	4 — un peu dur
12 —	5 — dur
13 — un peu dur	6 —
14 —	7 — très dur
14 — dur	8 —
16 —	9 —
17 — très dur	10 — très très dur
18 —	• — maximal
19 — extrêmement dur	
20 — maximal	

Borg RPE

Borg CR10

Conclusion

Afin d'évaluer si des situations sont à risques, pour les salariés exposés à des environnements chauds ou froids, des indices physiologiques et des échelles subjectives peuvent être utilisés. Ils sont d'autant plus nécessaires lorsque la situation de travail ne permet pas l'utilisation des indices de contrainte (environnement non stable, bref et intense, port de tenue particulière). L'association de données objectives et subjectives est toujours bénéfique, car elles sont complémentaires dans l'analyse d'une situation de travail. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MEYER J.P., TURPIN-LEGENDRE E., GINGEMBRE L., HORVAT F., DIDRY G. – Évaluation des astreintes thermiques à l'aide de la fréquence cardiaque: les extrapulsoires cardiaques thermiques (EPCT). *Références en santé au travail*, 2014, TM 34. Accessible sur: <http://www.rst-sante-travail.fr/>
- [2] TURPIN-LEGENDRE E., MEYER J.P. – Intérêt des mesures physiologiques et subjectives pour quantifier l'astreinte thermique. Cas particulier du port de combinaisons étanches. *Références en Santé au Travail*, 2012, TC 141. Accessible sur: <http://www.rst-sante-travail.fr/>
- [3] VOGT J.J., METZ B. – Ambiances thermiques. In: Scherrer J. *Précis de physiologie du travail, notions d'ergonomie*. Paris, Masson, 1981, pp. 217-263.
- [4] Norme NF ISO 9886 – Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2004. Accessible sur: <https://m.boutique.afnor.org/> (site payant).
- [5] Norme NF EN ISO 7933 – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2005. Accessible sur: <https://m.boutique.afnor.org/> (site payant).
- [6] MAYER E. – Objective criteria for thermal comfort. *Building and Environment*, 1993, 28 (4), pp. 399-403.
- [7] CUDDY J.S., HAILES W.S., RUBY B.C. – A reduced core to skin temperature gradient, not a critical core temperature, affects aerobic capacity in the heat. *Journal of Thermal Biology*, 2014, 43, pp. 7-12.
- [8] EN ISO 11079 – Détermination et interprétation de la contrainte liée au froid en utilisant l'isolement thermique requis du vêtement (IREQ) et les effets du refroidissement local. La plaine-Saint-Denis, Afnor, 2008. Accessible sur: <https://m.boutique.afnor.org/> (site payant).
- [9] Norme NF EN ISO 10551 – Évaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs. La Plaine-Saint-Denis, Afnor, 2001. Accessible sur: <https://m.boutique.afnor.org/> (site payant).
- [10] BORG G. – Borg's perceived exertion and pain scale. *Human Kinetics*, 1998, vol. 1, 112 p.
- [11] MEYER J.P. – Astreinte physiologique lors d'opérations de retrait d'amiante. *Documents pour le Médecin du Travail*, 1997, 69, TL 21.

PRÉVENTION: DES SOLUTIONS

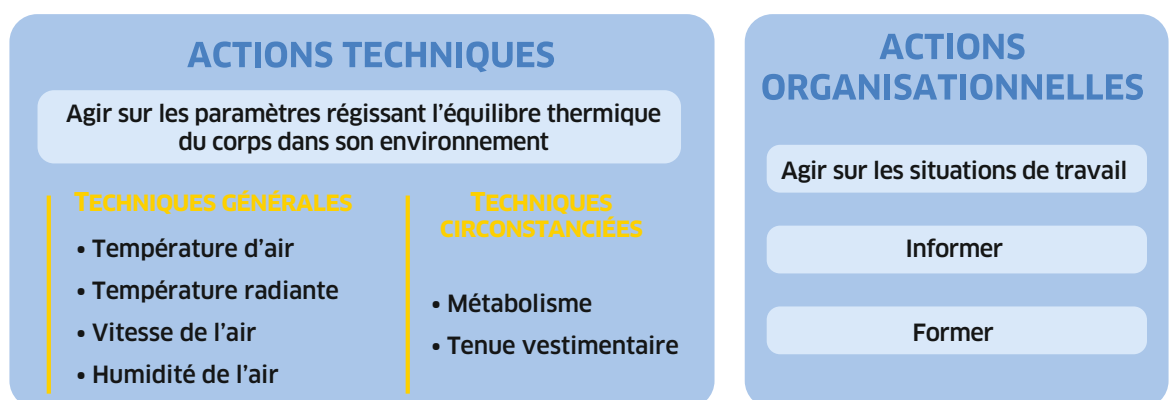
À chaque situation de contrainte pour les salariés, des mesures limitant les conséquences d'une ambiance trop chaude ou trop froide peuvent être mises en œuvre. Optimiser la ventilation générale, modifier un poste de travail, utiliser des équipements de protection individuelle (EPI), changer l'organisation du travail, sont autant d'exemples qui illustrent le champ d'action, très large, qui est accessible en matière de prévention des situations de travail en ambiances thermiques dégradées.

LAURENCE
ROBERT
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

D e façon générale, qu'il s'agisse d'une situation d'exposition au froid ou à la chaleur, les mesures de prévention s'inscrivent dans 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; elles sont particulièrement nécessaires en raison de l'importance des aspects comportementaux dans ces environnements extrêmes. Dès lors que la démarche d'évaluation du risque montre une situation de contrainte, deux types d'actions sont souvent proposés en parallèle (Cf. Figure 1):

- les actions de prévention dites techniques. Elles visent à agir sur les paramètres régissant l'équilibre thermique du corps dans son environnement de travail. Les paramètres liés strictement à l'environnement de travail, pour rappel, la température, la vitesse, et l'humidité de l'air, ainsi que la température de rayonnement des surfaces environnantes, entrent dans le cadre d'« actions techniques générales ». Au contraire, lorsqu'il s'agit d'impacter le métabolisme et l'isolement vestimentaire, qui sont des paramètres propres au sujet, il s'agit alors d'« actions techniques circonstanciées »;
- les actions de prévention dites organisationnelles. Elles visent à agir sur la situation de travail et à

privilégier l'information et la formation des salariés. Que l'on soit en situation d'exposition à la chaleur ou au froid, le principe des actions de prévention est d'étudier puis de proposer, quand cela est possible, à la fois des solutions techniques et des solutions organisationnelles, pour améliorer la situation de travail du salarié. En revanche, compte tenu des différentes contraintes de travail, en fonction des ambiances et des possibilités du corps pour répondre à une sollicitation thermique donnée, le rôle et l'impact des actions de prévention ne seront pas toujours les mêmes, selon que les salariés sont exposés au chaud ou au froid. Très souvent, dans le cas d'une exposition au froid, comme pour le travail dans l'agroalimentaire ou en extérieur par exemple, il est impossible de modifier les paramètres liés à l'environnement. Aussi, les actions de prévention proposées s'orientent plus généralement vers des solutions circonstanciées ou organisationnelles, avec, entre autres, la fourniture d'équipements de protection individuelle (EPI) adaptés, plutôt que vers des actions techniques générales. Au contraire, en situation d'exposition à la chaleur, si les actions de prévention organisationnelles (comme la rotation des postes, la durée et la fréquence des pauses de récupération, ou encore l'accès à l'eau) restent primordiales, le champ d'action à proposer peut être plus large et des actions techniques générales peuvent être préconisées. C'est pourquoi,



↑ FIGURE 1 Les deux types d'actions de prévention à mener.





© Gael Kerbaol/INRS/2011

Atelier de verrerie : mise en place d'écran métallique en aluminium autour des fours de fusion.

dans le cadre de cet article, le cas de l'exposition à la chaleur et de l'exposition au froid sont traités de façon distincte.

Cas de l'exposition à la chaleur

Dans un contexte d'exposition à la chaleur, les actions sur les températures et les caractéristiques de l'air peuvent grandement améliorer la situation. Aussi, les solutions de prévention techniques sont très souvent étudiées puis recommandées. Au niveau de l'environnement du poste de travail, ces actions vont être proposées en vue généralement d'abaisser ou de limiter la température de l'air, d'augmenter sa vitesse, de limiter l'humidité et de diminuer le rayonnement provenant des surfaces chaudes environnantes.

Pour la température, la vitesse et l'humidité de l'air, différents leviers sont envisageables en fonction des situations de travail :

- une ventilation efficace permettra d'éviter toute accumulation de chaleur dans les locaux ou au poste de travail. Mais une ventilation efficace n'est pas seulement une question de débit global mis en œuvre, c'est également un ensemble de caractéristiques propres au réseau de ventilation qu'il est primordial de valider pour que ce dernier soit optimal : bien définir les localisations des entrées et sorties d'air en fonction de la configuration du bâtiment et des sources de chaleur, définir le type de ventilation le plus adapté (balayage, induction, déplacement basse vitesse, etc.), penser à combiner ventilation générale et captage à la source, dans le cas de sources de chaleur ponctuelles, entretenir et vérifier régulièrement le réseau de ventilation pour s'assurer du maintien de ses caractéristiques initiales ;
- les apports de chaleur venant de l'extérieur doivent être limités ; cela passe souvent par une action sur le bâtiment. En cas de fort rayonnement solaire (période de canicule ou situation géographique spécifique du

bâtiment), une solution intéressante est de limiter les apports de chaleur du bâtiment qui viennent s'ajouter à ceux des procédés. L'isolation du toit et/ou des murs, l'utilisation d'écrans, de pare-soleil ou encore l'emploi de peintures claires, lisses ou de parois de verre réfléchissantes peuvent être des solutions envisagées. À noter que ces actions, agissant directement sur le bâtiment, sont généralement réfléchies et mises en œuvre dès la conception des locaux ;

- le recours à la climatisation ou au conditionnement d'air est un moyen de maintenir une température et une humidité relative de l'air à un niveau donné. La climatisation se distingue de la ventilation, qui est le moyen de renouveler l'air d'un local, en réponse à des exigences sanitaires et hygiéniques. Différents systèmes sont disponibles, comme la climatisation à détente directe (l'air est refroidi grâce à un évaporateur directement placé dans le local à climatiser), la climatisation tout air (basée sur le principe d'un traitement centralisé de l'air, puis d'une redistribution vers plusieurs locaux) ou la climatisation toute eau (basée sur l'utilisation de terminaux de types ventilo-convecteurs dans chaque pièce). La climatisation n'est pas uniquement destinée aux bâtiments mais peut être envisagée également dans des postes de travail spécifiques, comme par exemple, les engins de chantier ou les cabines de contrôle.

Le rafraîchissement adiabatique peut représenter également un recours économique quand il est possible de le mettre en œuvre. Ce procédé permet un refroidissement d'un débit d'air traversant un filet d'eau. Au contact de l'air chaud, une partie du filet d'eau se vaporise, cette vaporisation consomme de l'énergie provenant du flux d'air, qui lui-même se refroidit ;

- dans certains cas spécifiques, l'aménagement de cabines de protection, comme dans les fonderies pour protéger les opérateurs pendant les coulées, peut favoriser des environnements moins contraignants thermiquement.

En ce qui concerne spécifiquement la vitesse de l'air en situation d'exposition à la chaleur, très souvent il est conseillé de l'augmenter, par l'utilisation de ventilateurs par exemple, pour bénéficier des échanges par convection. Cependant, la température de l'air ne doit pas dépasser alors 34 à 35 °C. En effet, au-delà de ce niveau de température, l'air peut être plus chaud que la température de la peau, ce qui peut conduire à un apport de chaleur pour le salarié exposé, plutôt qu'au refroidissement attendu. Dans ce cas exceptionnel, on ne doit donc plus chercher à augmenter la vitesse de l'air¹. En ce qui concerne spécifiquement l'humidité, il est recommandé de veiller à canaliser et évacuer l'humidité à l'extérieur du bâtiment en utilisant des systèmes de captage de vapeur. Il est également possible d'avoir recours à des humidificateurs ou des desséchants d'air selon le procédé, pour rester dans une plage de confort située entre 40 et 70 % d'humidité relative.

Enfin ce qui concerne le rayonnement thermique, il provient essentiellement (à l'exception du rayonnement solaire concernant les travailleurs en extérieur) de surfaces ou objets très chauds : surfaces de fours, pièces chauffées, coulées de métal ou verre en fusion, cuisines ou blanchisseries industrielles... Quelques solutions de prévention pour limiter le rayonnement de ces surfaces peuvent être :

- de mettre en œuvre des écrans entre la source et l'opérateur. Il pourra selon le procédé, s'agir d'écrans textiles ignifugés, d'écrans PVC pour isoler des zones spécifiquement chaudes, comme une zone de cuisson industrielle par exemple, ou d'écrans métalliques. Pour ces derniers, il est préférable de mettre en œuvre des écrans à double paroi, plutôt que simple paroi. En effet, ils sont plus efficaces que de simples tôles ou grillages, car la couche d'air présente entre les deux parois métalliques permet d'évacuer une partie des calories par convection ;
- d'isoler les pièces chaudes, de façon à réduire leur température de surface et donc à la fois leur rayonnement thermique et leur contribution à l'augmentation de la température de l'air ;
- d'éloigner des sources de chaleur, les commandes pour l'opérateur lorsque cela est possible.

Les actions de prévention techniques, propres au sujet, dites circonstanciées, concernent le métabolisme et l'isolement vestimentaire. Quelques solutions pour limiter le métabolisme qui représente l'apport de chaleur le plus important au corps seraient de :

- modifier voire mécaniser certaines tâches. Par exemple, utiliser systématiquement les aides mécaniques à la manutention, si la tâche demandée allie conditions de chaleur et manutention ;
- réduire les efforts physiques et adapter le rythme de travail selon sa tolérance à la chaleur ;
- prendre en compte la période d'acclimatation nécessaire (au minimum sept jours d'exposition régulière à la chaleur), en particulier pour les intérimaires, les nouveaux embauchés, les salariés de retour après une absence.

En ce qui concerne la tenue de travail, il convient de fournir des vêtements légers, adaptés à chaque salarié et à la tâche à effectuer, permettant à la fois une bonne régulation thermique du corps et l'évacuation de la sueur. Pour les travaux d'extérieur, un couvre-chef protégeant la nuque, des vêtements amples et aérés (inserts en filet aux aisselles, soufflets, œillets de ventilation) de couleur claire, et des lunettes filtrant le soleil, peuvent être proposés. En cas de rayonnement solaire important, de la crème solaire et des vêtements réfléchissants sont également recommandés.

À ces différentes actions techniques de prévention s'ajoutent les actions organisationnelles. Leur optimisation repose sur l'information et la formation des salariés. Les zones concernées doivent être signalées : par exemples « *Entrée dans une zone chaude extrême* », « *Contact possible avec des surfaces chaudes* », etc.



© Laurence Robert/INRS

Atelier de soudure : mise en place d'écran textile ignifugé sur les pièces chauffées à 380°C.



© Laurence Robert/INRS

Biscuiterie industrielle : mise en place d'écran PVC pour isoler la zone de cuisson de la zone de conditionnement.

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, contact avec des surfaces métalliques ou réfléchissantes, travailleur isolé...

Lors de périodes de canicule, il est indispensable de vérifier quotidiennement les conditions météorologiques, pour évaluer les risques au jour le jour, et prendre des mesures adaptées aux tâches et aux lieux de travail : limiter ou reporter le travail physique pour réduire la production de chaleur métabolique, mettre en œuvre des adaptations techniques pour limiter les effets de la chaleur (abris en extérieur, ventilateur, brumisateur, volets, stores...), prévoir des sources d'eau potable à proximité des postes de travail et des



aires de repos ombragées ou climatisées, informer les salariés sur les risques liés à la chaleur, sur les signes d'alerte du coup de chaleur et sur les mesures de premier secours. Dans les bureaux, il est préconisé d'arrêter les imprimantes, photocopieurs, et toute autre source additionnelle de chaleur (poste informatique ou lampe non utilisée).

Certaines mesures organisationnelles peuvent contribuer à la réduction des risques :

- prendre en compte la période d'acclimatation ;
- augmenter la fréquence des pauses de récupération, dans des lieux frais ;
- limiter le temps d'exposition du salarié à la chaleur en effectuant, si possible, des rotations de personnel ;
- aménager les horaires de travail en période de fortes chaleurs, en favorisant les heures les moins chaudes de la journée ;
- éviter le travail isolé, permettant ainsi une surveillance mutuelle des salariés et une intervention rapide des secours si besoin ;
- permettre au salarié d'adopter son propre rythme de travail pour réduire sa contrainte thermique.

D'autres mesures comportementales sont également susceptibles de diminuer les risques liés à une ambiance thermique chaude : les salariés doivent en être informés. Il s'agit notamment de :

- porter des vêtements amples, légers, de couleur claire, favorisant l'évaporation de la sueur, et se protéger la tête du soleil ;
- boire régulièrement de l'eau fraîche, même en l'absence de soif ;
- éviter les repas copieux ;
- proscrire les boissons alcoolisées, le tabac et les substances psychoactives ; limiter la consommation de café.

Les salariés doivent être informés de l'impératif de cesser immédiatement toute activité si des symptômes de malaise (fatigue, nausées, étourdissement, maux de tête) apparaissent et de les signaler sans tarder. Dans ce cas, toute conduite de véhicule doit être proscrite. Dans certains cas, en fonction du secteur professionnel et des tâches à effectuer, le port d'EPI protégeant contre d'autres risques est nécessaire. Conformément à leurs normes respectives et choisis en fonction de l'analyse des risques, les EPI doivent être confortables, de façon à ne pas être une source supplémentaire de contrainte en ambiance chaude.

Cas de l'exposition au froid

Dans le cas de situations de travail exposant au froid, il est rarement possible de modifier les conditions environnementales (caractéristiques de l'air et rayonnement des surfaces), soit parce qu'elles sont imposées par un processus industriel particulier (surgélation, agroalimentaire...), soit parce que les salariés évoluent dans des milieux naturellement froids, comme l'extérieur. Aussi est-il très souvent difficile de préconiser des actions techniques générales de prévention. Les actions circonscrites et organisationnelles, ainsi

que la préconisation d'EPI adéquats sont plus généralement proposées.

Dans le cas particulier du travail en extérieur (chantiers du BTP, domaines skiables, pêche en mer, marchés...) et en présence d'une baisse des températures, il est nécessaire de repenser l'organisation du travail. Veiller à limiter le temps d'exposition, 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...) sont des adaptations qu'il faut considérer. Il est possible également de planifier les activités de travail en tenant compte des prévisions météorologiques, comme réorganiser le travail pour accomplir les tâches au froid durant les périodes les plus chaudes de la journée, limiter le travail sédentaire au froid, privilégier le travail d'équipe pour éviter que des salariés ne travaillent de manière isolée, et porter une attention particulière aux salariés intérimaires. Le rythme de travail doit également être aménagé pour tenir compte de la période d'acclimatation 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 cela est envisageable. 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 de stocker ceux de rechange.

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'urgence. Si besoin, la formation des secouristes de l'entreprise sera complétée. 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... D'autres mesures, comme 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), doivent être connues des salariés.

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, et de donner aux salariés les moyens de faire sécher leurs vêtements ou de les changer régu-

lièrement. Il est préconisé 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'évacuer la sueur 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 NF EN 14058 pour des environnements modérément froids (température supérieure à -5°C) ou à la norme NF EN 342 pour des environnements très froids (température d'air inférieure à -5°C)².

La protection des extrémités est capitale. Les gants de protection contre le froid doivent répondre à la norme NF EN 511². Il est important de ne pas négliger la tête et le cou, car près de 30% de la chaleur corporelle sont évacués 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.

Lorsque cela est possible et ne modifie pas le procédé industriel, quelques solutions techniques, visant à une élévation de la température et une limitation des apports de froid, comme les courants d'air et les sources d'humidité, peuvent être préconisées. 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 est possible de recommander de placer des bâches, des rideaux ou des écrans déflecteurs ou de 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 souvent munies 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 calorifuger 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 ventila-

tion suffisante, mais en ne dépassant pas 0,15 m/s, pour éviter le ressenti de courant d'air.

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.

Conclusion

La multitude des secteurs professionnels, des situations de travail et des procédés industriels peuvent conduire à des situations d'exposition au froid ou à la chaleur très diverses : forts rayonnements, températures extrêmes, forte humidité ou au contraire humidité très basse, courant d'air froid, etc. Cette variété de cas d'exposition ne permet pas la préconisation



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2015

d'une solution de prévention universelle. C'est pourquoi, en contrainte thermique, il s'avère nécessaire d'étudier puis de proposer un ensemble de solutions de prévention, pour améliorer une situation de travail donnée. Les solutions de prévention techniques et organisationnelles, souvent de bon sens, permettront de modifier l'environnement dans lequel évolue le salarié, pour lui conférer un climat moins contraignant. Des solutions techniques adaptées au sujet et à l'environnement de son poste de travail prendront en compte des facteurs propres au salarié, relatifs à son activité et à sa tenue de travail et compléteront les solutions de prévention organisationnelles. ●

1. Lorsque la température de l'air est supérieure à celle de la peau (34°C environ) alors la convection induite, entre autre par la vitesse d'air, va contribuer à réchauffer le corps ce que l'on cherche à éviter absolument.

2. Normes NF EN 14058 (indice de classification Afnor : S74-605) – Habillement de protection. Vêtements de protection contre les environnements froids. Vêtements de protection – Articles d'habillement de protection contre les environnements froids. Afnor, Novembre 2017. NF EN 342 (indice de classification Afnor : S74-501) – Habillement de protection. Ensembles vestimentaires et vêtements de protection contre le froid. Afnor, Novembre 2017. NF EN 511 (indice de classification Afnor : S75-506) – Gants de protection contre le froid. Afnor, Juin 2006.

Opérateur intervenant sur le quai de chargement de produits surgelés dans des camions frigorifiques.

AMBIANCES THERMIQUES: QUE PRÉVOIT LA RÉGLEMENTATION?

Responsable de la santé et de la sécurité de ses salariés, l'employeur doit prendre les mesures de prévention nécessaires permettant de les protéger des risques liés à des expositions à des températures froides ou de fortes chaleurs. Dans ce cadre, la réglementation prévoit diverses dispositions spécifiques concernant l'aération des lieux de travail, les dispositions applicables aux jeunes travailleurs, ou encore les mesures particulières à mettre en place sur les chantiers de BTP.

JENNIFER
SHETTLE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Aucune indication de température minimale ou maximale, en deçà ou au-delà 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 ou de fortes chaleurs.

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 et de fortes chaleurs, 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 (Drecccte). 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 et à l'aération des locaux, aux ambiances particulières de travail et à la distribution de boissons, répondent en outre au souci d'assurer des conditions de travail satisfaisantes, y compris dans des ambiances de travail où les températures sont soit basses, soit élevées. L'employeur doit notamment :

- aménager les postes de travail extérieurs de telle sorte que les travailleurs soient protégés contre les conditions atmosphériques, quelles qu'elles soient¹ ;
- dans les locaux fermés, renouveler l'air des locaux de travail en évitant les élévations exagérées de températures¹ ;
- dans les locaux fermés à pollution non spécifique (locaux dans lesquels la pollution est liée à la seule présence humaine), s'assurer que le renouvellement de l'air a lieu soit par ventilation mécanique, soit par ventilation naturelle permanente² ;
- mettre à disposition des salariés de l'eau potable et fraîche³ ;
- 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 délétère⁴.

Rôle du médecin du travail

Les dispositions prises pour assurer la protection des salariés contre les températures extrêmes nécessitent l'avis du médecin du travail et du Comité social et économique (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



© Fabrice Dimier pour l'INRS/2018

Les métiers de la teinturerie et de la blanchisserie peuvent exposer à de fortes chaleurs.

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 travailleur⁵.

Droit de retrait du salarié

S'agissant de l'exercice du droit de retrait des salariés⁶, 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 températures 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 ou exposant à la chaleur, 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 du 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 équivalentes⁷. En cas de fortes chaleurs, les employeurs du bâtiment et des travaux publics sont tenus de mettre à la disposition des travailleurs au moins trois litres d'eau, par jour et par travailleur⁸.

Pour certaines activités, l'entrepreneur peut, sous certaines conditions strictes, décider d'arrêter le travail pour intempéries après consultation du CSE⁹.

À noter : au sens du Code du travail, sont considérées comme des intempéries, les conditions atmosphériques et les inondations lorsqu'elles rendent dangereux 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





© Gaël Kerbaol/INRS/2012

leur santé ou à leur développement¹⁰. A 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 santé¹¹.

Dispositions applicables au maître 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 et 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'habitation¹².

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 ou au moins égale à 30°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 la température liée à l'exercice de l'activité elle-même; les températures extérieures n'étant pas prises en considération dans le cadre de ce dispositif¹³.

Conclusion

En milieu professionnel, de nombreuses situations sont susceptibles d'exposer les salariés à des températures au-delà ou au contraire en-deçà de la normale et peuvent engendrer des risques plus ou moins graves. Chaque employeur doit donc évaluer

les risques qui y sont liés, prévoir les mesures de prévention les plus adaptées à chaque situation de travail, en s'assurant du respect des dispositions réglementaires spécifiques prévues par le Code du travail. Au regard de ces éléments, l'exposition à de fortes chaleurs ou à des températures froides ne justifie pas systématiquement l'exercice du droit de retrait des salariés exposés, notamment si l'employeur a mis en œuvre des mesures de prévention suffisantes. ●

1. Article R. 4225-1 du Code du travail.
2. Article R. 4222-4 du Code du travail.
3. Article R. 4225-2 et suivants du Code du travail.
4. Article R. 4223-13 du Code du travail.
5. Articles L. 4624-3 à L. 4624-6 du Code du travail.
6. Articles L. 4131-1 à L. 4131-4 du Code du travail.
7. Article R. 4534-142-1 du Code du travail.
8. Article R. 4534-143 du Code du travail.
9. Article L. 5424-9 du Code du travail.
10. Article L. 4153-8 du Code du travail.
11. Article D. 4153-36 du Code du travail.
12. Articles R. 4213-7 à R. 4213-9 du Code du travail.
13. Article D. 4163-2 du Code du travail.

POUR EN SAVOIR +

- TURPIN-LEGENDRE E., ROBERT L., SHETTLE J., TISSOT C., AUBRY C., SIANO B. – Travailler dans une ambiance thermique froide. *Références en Santé au Travail*, n° 160, décembre 2019, TC 167, pp. 27-47. Accessible sur: www.rst-sante-travail.fr/
- ROBERT L., TURPIN-LEGENDRE E., SHETTLE J., TISSOT C., AUBRY C., SIANO B. – Travailler dans une ambiance thermique chaude. *Références en Santé au Travail* n° 158, juin 2019, TC 165, pp. 31-55. Accessible sur: www.rst-sante-travail.fr/
- Dossiers « Travail à la chaleur » et « Travail au froid » accessibles sur: wrs.fr