

# SANTÉ & SÉCURITÉ AU TRAVAIL

## Dossier : Travail à la chaleur et risques

De nombreux métiers obligent les salariés à évoluer dans des environnements marqués par des températures élevées : hauts fourneaux, teintureries, blanchisseries, cuisines, mines, fonderies, ateliers de soudure... D'autres personnes travaillent en extérieur et peuvent être exposées à la chaleur, notamment en été lors des épisodes caniculaires.

**Ces ambiances thermiques élevées peuvent avoir de graves effets sur la santé et augmenter les risques d'accidents du travail.**

Il n'existe pas de définition réglementaire du travail à la chaleur. Toutefois, **au-delà de 30°C pour une activité sédentaire, et à partir de 28°C pour un travail nécessitant une activité physique**, la chaleur peut constituer un risque pour les salariés.

L'exposition à la chaleur peut être liée à la proximité de matières en fusion comme le verre ou le métal (**fonderies, aciéries, hauts-fourneaux**). Dans certains environnements, la combinaison de la chaleur et de l'humidité (**buanderies, conserveries, cuisines...**) peut rendre l'ambiance difficile à supporter. Les travaux en extérieur (**bâtiment, travaux publics, travaux agricoles...**) peuvent aussi exposer les salariés à de fortes chaleurs, particulièrement en été.

**Fatigue, sueurs abondantes, nausées, maux de tête, vertiges, crampes...** Ces symptômes courants liés à la chaleur peuvent être précurseurs de troubles plus importants, voire **mortels : déshydratation, coup de chaleur**.

Les effets de la chaleur sur la santé sont plus élevés lorsque se surajoutent des **facteurs aggravants** comme la **pénibilité de la tâche**. La chaleur augmente par ailleurs les **risques d'accidents** car elle induit une **baisse de la vigilance et une augmentation des temps de réaction**. La transpiration peut aussi rendre les mains glissantes ou venir gêner la vue.

La prévention la plus efficace consiste à éviter ou au moins à limiter l'exposition à la chaleur. Pour cela il est possible d'agir sur l'**organisation du travail** (augmentation de la **fréquence des pauses**, limitation du travail physique, rotation des tâches...), l'**aménagement des locaux** (zones de repos climatisées, ventilation), les matériels et les **équipements de protection individuelle** (vêtements de protection contre la chaleur et **vestes de refroidissements**).

Pour le **travail en extérieur** en période de **canicule**, des mesures préventives simples et efficaces permettent de remédier aux effets de la chaleur (travail durant les heures les moins chaudes, mise à disposition d'eau fraîche à proximité des postes de travail, aménagement de zones d'ombre...). Ces mesures doivent être accompagnées d'actions d'information et de formation des salariés.

# Accidents et effets sur la santé

L'exposition à la chaleur peut être à l'origine de troubles sérieux chez un individu, tels que des crampes, la déshydratation ou l'épuisement. **Le risque le plus grave est le coup de chaleur pouvant aller jusqu'au décès.**

En effet, **la température corporelle de l'homme doit demeurer constante**, quel que soit son environnement thermique. Les mécanismes de régulation permettant ce maintien de la température peuvent être débordés, notamment en période caniculaire.

Mécanismes de régulation thermique

Afin de se protéger de la chaleur, l'organisme met en œuvre des mécanismes comportementaux : éviter la chaleur, choisir des vêtements légers, adapter l'alimentation et la boisson... L'organisme dispose également de mécanismes physiologiques (dits de **thermorégulation**) qui permettent d'évacuer la chaleur : transpiration, augmentation du débit sanguin au niveau de la peau (dilatation des vaisseaux cutanés)...

De plus, sous l'effet d'expositions répétées ou prolongées, l'organisme acquiert une meilleure tolérance à la chaleur : c'est le phénomène d'**acclimatation ou acclimatement**. Le phénomène de transpiration devient plus efficace, les risques de déshydratation diminuent, le coût cardiovasculaire baisse... L'acclimatement, qui réduit les risques liés à la chaleur, est généralement obtenu en 8 à 12 jours.

Toutefois, il n'est que transitoire puisqu'il s'atténue puis disparaît totalement 8 jours après l'arrêt de l'exposition à la chaleur.

**Cependant, si la température est trop élevée, ces mécanismes de régulation thermique perdent en efficacité. L'organisme peut alors courir de graves dangers.**

## Travail à la chaleur et santé

Les risques principaux sont le **coup de chaleur** et la **déshydratation**.

La chaleur peut également agir comme révélateur ou facteur aggravant de pathologies préexistantes, essentiellement cardiorespiratoire, rénale, endocrinienne (diabète...).

Effets sur la santé et niveaux de gravité d'une exposition à la chaleur

**/!\ NIVEAU 1** : rougeurs et **douleurs**, œdème, vésicules, **fièvre**, céphalées.

**/!\ NIVEAU 2** : **crampes de chaleur** ou **spasmes douloureux** (jambes et abdomen), transpiration entraînant une **déshydratation**, **syncope de chaleur** (perte de connaissance soudaine et brève, survenant après une longue période d'immobilité ou lors de l'arrêt d'un travail physique dur et prolongé).

**/!\ NIVEAU 3** : **épuisement** (forte transpiration, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale).

**/!\ NIVEAU 4** : **coup de chaleur** (température corporelle supérieure à 40,6 °C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible), **décès possible par défaillance de la thermorégulation**.

## Coup de chaleur, une urgence vitale

Le coup de chaleur peut survenir en cas d'exposition prolongée à des températures élevées. Le coup de chaleur est rare mais grave : il est mortel dans 15 à 25 % des cas.

Signes d'alerte d'un coup de chaleur

- **Symptômes généraux**
  - Hyperthermie : température interne supérieure à 40,6 °C
  - Tachycardie : pouls rapide
  - Respiration rapide
  - Maux de tête
  - Nausées, vomissements
- **Symptômes cutanés**
  - Peau sèche, rouge et chaude
  - Absence de transpiration
- **Symptômes neurosensoriels**
  - Confusion, comportement étrange, délire, voire convulsions
  - Perte de connaissance éventuelle
  - Pupilles dilatées

Dès que ces signes d'alerte sont détectés chez un travailleur exposé à la chaleur, il faut agir rapidement. Le premier réflexe du collègue ou du **secouriste** doit être d'alerter ou faire alerter les secours extérieurs : **Samu** (15) ou **pompiers** (18).

Premiers gestes de secours en cas de coup de chaleur

- Alerter ou faire alerter les secours,
- Amener la victime dans un endroit frais et bien aéré (si elle peut être déplacée),
- La déshabiller ou desserrer ses vêtements,
- Appliquer de l'eau froide sur la victime,
- Si la victime est consciente, lui faire boire de l'eau fraîche,
- Si la victime est inconsciente mais respire, la mettre en position latérale de sécurité, en attendant les secours après mise en route des premières mesures de secourisme.

## Risques d'accident du travail

Un outil qui glisse des mains lorsqu'elles sont moites, la transpiration qui gêne la vue... : **la chaleur peut ainsi entraîner des altérations fonctionnelles et générer des risques pour la sécurité. Lors de l'exposition à la chaleur, des effets psychologiques sont également relevés comme l'augmentation du temps de réaction et du temps de réflexion, des erreurs ou omissions liés aux troubles des fonctions cognitives (mémorisation).**

**Il est toujours plus difficile d'effectuer une tâche demandant de la précision et plus risqué de réaliser une tâche demandant un effort physique important dans une ambiance très chaude.**

### EQUIPEMENT DE PROTECTION INDIVIDUELLE RISQUE CHALEUR & STRESS THERMIQUE



#### DESCRIPTIF TECHNIQUE & SCIENTIFIQUE :

Gilet thermorégulateur haute performance destiné aux collaborateurs réalisant des efforts physiques dans une ambiance thermique supérieure à 28°C

#### AVANTAGES PHYSIOLOGIQUES :

- ✓ Diminution de la fréquence cardiaque (-8 à -12 BPM)
- ✓ Stabilisation de la fréquence cardiaque
- ✓ Stabilisation du statut hydrique (peu de sudation)
- ✓ Amélioration du confort thermique
- ✓ Favorise la Récupération après effort

**= AUGMENTATION DE LA PUISSANCE (Watt)  
ET DE L'ENDURANCE**

#### AVANTAGES PSYCHO-COGNITIFS :

- ✓ Préserve la fonction de Mémorisation
- ✓ Préserve la fonction de Réflexion
- ✓ Préserve la fonction de Motricité fine
- ✓ Préserve la fonction de Coordination des gestes
- ✓ Améliore les temps de réaction

**= AUGMENTATION DE LA VIGILANCE  
IMPACT DIRECT SUR LA SECURITE  
ET PRODUCTIVITE**

#### CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Référence : CVINF/8FI/ (taille)

Poids : 1,9 Kg chargé en froid First-Ice (8 accumulateurs)

Autonomie : jusqu'à 2 Heures en conditions extrêmes (>50°C)

Taille disponible : S / M / L / XL / 2XL / 3XL / 4XL

**Composition Cryovest** / Tissu Extérieur : 55% Protex ; 43% Coton ; 2%Négastat / Doublure : 100% Polyester / Intérieur : Ouate 100% Polyester + feuille aluminium

**Composition First-Ice** : Chimique / NON TOXIQUE :

Eau 82,76%; Nylon/Polyester 8,41%; Glycol 5,11%; Polymère 3,53%; Conservateur 0,16%; Polyester 0,02%.

Taille Unitaire : 15 cm X 15 cm

Poids Unitaire : +/- 180 Grammes

**Réutilisable : 60 fois avant remplacement**



**Prix Public HT :**

**CRYOVEST + 8 Compresses First-Ice = 235 Euros**

**Pack supplémentaire 8 Compresses First-Ice = 72 Euros**

# La CryoVest<sup>®</sup> préserve-t-elle les fonctions cognitives de travailleurs lors de rondes sous forte chaleur ?

Schmit Cyril<sup>1,2</sup>, Bourgeois Bertrand<sup>2</sup>, Bougant Yvon<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP), Paris, France

<sup>2</sup> CryoInnov, Saint Grégoire, France

<sup>3</sup> ArcelorMittal, Dunkerque, France

---

## Résumé

Les effets de la chaleur sur le comportement ont été largement investigués dans les contextes sportifs et de laboratoire, révélant un développement accéléré de la fatigue et un impact négatif sur la capacité à réguler efficacement son activité. Pour autant, le milieu professionnel, bien que sujet à des enjeux de santé et de sécurité prévalents, reste peu étudié quant aux potentiels effets de détérioration du contrôle cognitif induit par la chaleur. Six participants de l'entreprise ArcelorMittal<sup>®</sup> (Dunkerque) ont été évalués sur cinq tâches cognitives reflétant des opérations de leur activité quotidienne, au cours même de leur ronde au sein d'une zone de production de chaleur en activité (~50 °C). Un système de refroidissement de type CryoVest<sup>®</sup> a été apporté aux sujets au cours de la ronde, de façon randomisée sur les deux jours de tests. Des mesures de fréquence cardiaque, statut hydrique, température cutanée et psychologiques ont été effectuées avant, pendant et après la ronde. Un filtre statistique de l'analyse des résultats n'a pas été envisagé au regard de la taille de l'échantillon de l'étude. Les résultats suggèrent une détérioration sélective de la chaleur (sans port de la veste) sur les fonctions cognitives évaluées, et un rétablissement partiel à complet des performances cognitives en conditions de refroidissement (ronde avec veste). Un fonctionnement à l'économie semble expliquer cet effet bénéfique de la CryoVest<sup>®</sup>, caractérisé par une préservation de l'état hydrique, une moindre contrainte cardiovasculaire, et un confort thermique amélioré. En résumé, cette étude objective l'usage bénéfique de la CryoVest<sup>®</sup> sur le contrôle cognitif quotidiennement mis en œuvre par une population de ronds dans leur contexte de travail.

---

## 1. Introduction

La nature de l'ambiance thermique au sein de laquelle se déroule une activité physique et/ou mentale affecte le résultat de cette activité. En particulier, les environnements chauds (c'est-à-dire supérieur à 28 °C) agissent dans le sens d'une réduction de l'intensité consentie à réaliser une tâche, et s'accompagnent d'une progressive incapacité de l'individu à réguler efficacement son comportement. Dans ce cadre, nombre de milieux apparaissent alors potentiellement concernés par les effets délétères d'une exposition prolongée à la chaleur.

Si ces effets néfastes, leurs implications pratiques et soubassements mécanistiques tendent à être de plus en plus étudiés dans le milieu sportif, le milieu des travailleurs professionnels exposés à la chaleur reste pour sa part peu investigué par la recherche scientifique. Pour autant, ce contexte se caractérise par des enjeux de santé et sécurité humaine, de productivité et de pérennité matérielle qui rendent toutes altérations psychophysiologiques liées à la chaleur préjudiciables.

Avec l'élévation de la température du corps, les mécanismes réflex de thermorégulation altèrent en effet l'état stable du système physiologique. Le flux sanguin redistribué vers la peau pour refroidir le corps s'ajoute au flux sanguin nécessaire à l'irrigation des organes en fonctionnement, ce qui accroît la contrainte cardiovasculaire. Le débit de sueur augmente aussi afin de dissiper par évaporation la chaleur du corps, entraînant une progressive déshydratation. Les sensations de chaleur perçues par l'individu tendent aussi à réduire son confort thermique et affectent des composantes comme l'humeur, la motivation ou la capacité à réaliser une tâche. La réponse psychophysologique globale du corps à la chaleur caractérise donc une mise à mal du fonctionnement efficient usuel de l'organisme.

Au sein de l'entreprise ArcelorMittal<sup>®</sup>, la population des ronds n'est pas épargnée par ce contexte particulier, et donc par les enjeux inhérents à la lutte contre les effets néfastes de la chaleur sur le comportement. Plus précisément, les rondes de la « Zone Four » consistent en la détection et l'exécution d'interventions humaines et mécanisées nécessaires au

bon fonctionnement des fours, au cours de parcours prolongés (1h30 à 3h) autour de cinq fours en activité (~1200 degrés). Les montées et descentes d'escaliers sont en conséquence régulières, les tâches répétitives, et la nécessité d'être performant tout en fonctionnant à l'économie importante. La chaleur environnementale (entre 25 et 70°C) produite par les fours exacerbe par ailleurs la complexité de cette mission en accélérant le développement de la fatigue, fragilisant les capacités attentionnelles des roudiers et potentialisant leur mise en danger (chute, erreur, oubli, etc.).

Ce potentiel à risques lié au développement d'un état d'hyperthermie est pour partie contrôlable si le travailleur reste capable de préserver l'efficacité de son contrôle cognitif tout au long de la ronde. Le contrôle cognitif renvoie aux capacités d'un individu à s'adapter volontairement et répondre efficacement à une situation présentant une marge d'incertitudes. De par leurs opérations de repérage, mémorisation, précision manuelle ou encore de prise de décision réalisées sous forte chaleur, les roudiers sont largement concernés par cette potentielle fragilité cognitive. Dans ce cadre, préserver la pleine fonctionnalité des opérations mentales effectuées régulièrement par les roudiers suggère inévitablement la mise en place d'un moyen de lutte contre l'état d'hyperthermie.

Afin d'appréhender la spécificité des composantes cognitives affectées par la chaleur, ainsi que d'expérimenter des moyens potentiels d'en contrecarrer les effets, plusieurs études ont été conduites en laboratoire. De celles-ci ressort l'idée selon laquelle l'élévation de la température du corps – voire même uniquement celle de la peau – affecte la mise en œuvre des fonctions cognitives. Concrètement, au travers de tâches cognitives effectuées sur ordinateur et de mesures électriques d'activité cérébrale, l'état d'hyperthermie a été associé à un allongement des temps de réaction et une diminution de l'activité cognitive. Toutefois, quand bien même celle-ci serait réduite, des systèmes de refroidissement judicieux du corps seraient capables de rétablir son bon fonctionnement ou, à moindre effet, limiter son déclin. A titre d'exemples, l'application de compresses de froid sur le front et la tête, ou l'ingestion de boissons froides, ont démontré leur pertinence dans le cadre d'évaluations cognitives en ambiance chaude. Cependant, ces deux stratégies restent peu applicables lors de rondes dans la mesure où elles limitent la disponibilité motrice des travailleurs.

La CryoVest® (B&C CryoInnov®, Saint-Grégoire, France) constitue dans ce cadre une alternative potentielle. En effet, ce gilet réfrigérant ergonomique, léger (<2 kg) et fonctionnellement durable (1 à 2h selon l'utilisation) a déjà été validé dans le milieu sportif lorsqu'utilisé avant et/ou pendant l'effort. Contrairement aux précédents systèmes de refroidissement, la veste autorise la pleine amplitude gestuelle nécessaire à des sollicitations manuelles. De plus, comparativement aux autres vestes commercialisées (ex, ArcticHeat®), l'efficacité de la

CryoVest® repose sur l'optimisation du compromis entre son poids et la surface réfrigérée (1800 cm<sup>2</sup>). En maximisant la zone corporelle refroidie, elle réduit le stress thermique, favorise un fonctionnement à l'économie et améliore la performance comparativement à des situations sans la veste. Pour autant, si la sensation de confort associée à la CryoVest® a systématisé son utilisation par les athlètes, la validation même de son efficacité sur des professionnels sujets à de forte chaleur, bien qu'intuitive, n'a pas été envisagée.

Le but de cette étude était par conséquent de tester l'impact de la CryoVest® sur les fonctions cognitives d'une population de roudiers évoluant en ambiance réelle de travail. Pour cela, une série de tâches cognitives réalisées à trois reprises dans deux situations (avec et sans veste) a permis d'objectiver l'effet de la CryoVest® sur des opérations cognitives couramment requises lors de la ronde. Des mesures psychophysiologiques établies en amont, au cours, et en aval de la ronde étaient réalisées afin de rationaliser les potentiels effets de la chaleur et de la veste sur les performances cognitives.

## 2. Méthode

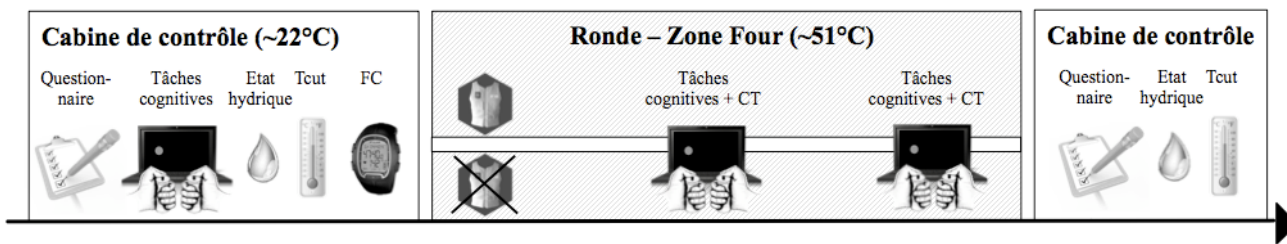
### 2.1. Participants

Six roudiers de la « Zone Four » de l'entreprise ArcelorMittal® (Dunkerque) ont participé à l'étude qui se déroulait au mois de décembre sur une période de deux jours. Chacun d'eux, après avoir été pleinement informé des modalités et objectifs de l'étude, a donné son accord pour intégrer le protocole. Dans la mesure où les outils employés étaient non invasifs, que les tests utilisés ne suggéraient pas l'atteinte d'un état inhabituellement extrême de l'organisme, et que les contextes d'intervention étaient ceux quotidiennement supportés par les sujets, aucun critère d'inclusion à l'étude n'a été formulé auprès des participants.

### 2.2. Protocole expérimental

Le premier jour, chaque participant était d'abord sensibilisé aux tâches cognitives de la batterie de tests (voir ci-dessous), et n'arrêtait l'apprentissage qu'une fois les performances aux différentes tâches stabilisées. Une pause de 45min était alors effectuée afin de permettre au sujet de se reposer, s'hydrater et préparer son équipement.

Le protocole est imagé en figure 1. Avant de partir en ronde, le sujet répondait à un questionnaire évaluant ses niveaux de fatigue, de stress et de motivation à réaliser le protocole, à partir d'échelles de Likert (7 points). La batterie de tests, similaire aux tâches effectuées en apprentissage, était ensuite réalisée afin d'obtenir un niveau de performance de base, et annoncée comme tel aux sujets. Les tests Pré ont été réalisés au sein d'une partie silencieuse de la cabine de contrôle (22 ± 1,3 °C, 34 ± 8% d'humidité relative,



**Fig. 1.** Représentation schématique du protocole expérimental consistant en la réalisation de cinq tâches cognitives en amont, au milieu et à la fin d'une ronde réalisée en Zone Four. La ronde était effectuée dans deux conditions différentes sur deux jours de tests : avec et sans le port d'un gilet réfrigérant CryoVest®. Des mesures perceptives et physiologiques étaient réalisées immédiatement avant et après la ronde.

*Notes.* Tcut, température cutanée ; FC, fréquence cardiaque ; CT, confort thermique.

mesurées à partir d'un thermomètre portable Kestrel 4500, Nielsen-Kellerman Co, Boothwyn, USA).

Des mesures de température cutanée (buste et dos) étaient ensuite obtenues à partir d'une caméra thermique (Thermo Vision SC 640, Flir Systems, Danderyd, Suède) située à une distance de 2 mètres du sujet. Une estimation de son état hydrique était ensuite réalisée à partir de la mesure de la densité gravitaire de l'urine (réfractomètre PAL-10S, Atago Co. Ltd, Tokyo, Japon). Puis le sujet se pesait, nu et séché. Enfin, il était équipé d'un cardiofréquencemètre afin de mesurer, tout au long de la ronde, sa fréquence cardiaque.

Afin d'être fidèle aux conditions réelles de travail, deux sujets partaient en ronde (mêmes heures d'un jour de test sur l'autre). L'un d'eux portait la CryoVest® tandis que le second effectuait la ronde dans les conditions usuelles de travail. Le port de la veste était randomisé et contrebalancé sur les deux jours de test.

Le déroulement de la ronde était organisé de telle sorte à rester identique en terme de durée et de parcours d'un jour de test sur l'autre. En effet, afin d'éviter des différences de températures corporelle induites, et de fatigue générée, il était mis au point avec les rondiers un circuit défini *a priori* et reproduit sur les deux jours de test. La durée du circuit (~1h15 min) était initialement calculée à partir de la durée nécessaire pour chaque sujet à réaliser la séquence de tâches cognitives lors de la ronde (~12min), et du temps moyen estimé par les rondiers à réaliser une ronde habituelle (~2h).

Au milieu et à la fin de chaque ronde, la batterie de tâches cognitives était effectuée sur une table et une chaise situées au milieu des chemins de traverses (caillebotis) régulièrement empruntés par les rondiers. De par leur température élevée et afin de se rapprocher des conditions de travail d'été, les chemins des fours numéro 1 et 5 ont été ciblés pour accueillir la réalisation des tâches cognitives (ambiance thermique moyenne :  $51,5 \pm 7$  °C,  $7,9 \pm 1,4$  % d'humidité relative). Lors de l'évaluation d'un sujet sur la batterie de tests, le second sujet poursuivait sa ronde, puis était appelé pour à son tour réaliser la batterie de tests. En dehors des tâches cognitives, et lors de la ronde, il était demandé aux rondiers d'effectuer rigoureusement les mêmes interventions qu'à leur habitude. Aucun sujet ne s'est hydraté au cours de la ronde.

### 2.3. Le refroidissement par CryoVest®

Avant le départ en ronde, un sujet était équipé de la CryoVest® (figure 2) à partir des conditions d'organisation effectives du lieu de travail. Chacune des 8 compresses de froid (FirstIce®, 150 x 150 mm, 120 g, EzyWrap, USA) de la veste était ainsi placée au moins 4 heures dans le congélateur (~ -4 °C) disponible auprès des travailleurs, puis insérée dans les 8 poches de la veste immédiatement avant le départ en ronde. Selon la convenance du sujet, la CryoVest® était portée à même la peau ou au dessus d'un tee-shirt, puis retirée uniquement une fois la ronde terminée pour effectuer les mesures de température cutanée. Chaque CryoVest® utilisée était individuelle. La taille était adaptée à la morphologie du sujet, et les 4 bandes élastiques latérales de la veste étaient personnellement ajustées pour un serrage optimal.



**Fig. 2.** Représentations des parties externes et profondes de la CryoVest®. Le gilet se compose de 8 poches (4 antérieures, 4 postérieures) permettant d'accueillir les compresses de froid (15 x 15 cm).

### 2.4. Tâches cognitives

Chacune des cinq tâches cognitives réalisées était choisie pour reproduire l'utilisation de fonctions cognitives implémentées au cours de la ronde (figure 3). La réalisation d'une tâche durait 2 à 3 minutes. Les tâches cognitives étaient effectuées en séquence sur ordinateur, et randomisées les unes par rapport aux autres à chaque évaluation (pré, milieu, fin de ronde) afin de contrôler un éventuel effet d'ordre.



**Fig. 3.** Captures d'écran des différentes tâches cognitives de la batterie de tests (~12 min)

*Notes.* Chaque tâche comprenait un nombre d'essais suffisants pour être représentatif de l'efficacité du contrôle cognitif sans pour autant dépasser une durée de réalisation de trois minutes.

#### Tâche de mémorisation

Dans la mesure où les rondiers sont fréquemment sujets à des interventions requérant l'opérationnalisation de procédures définies, ou qu'ils doivent être capables de se rappeler de détails précis dans l'optique de reporter des informations, une tâche de mémoire leur a été proposée. Le déroulement de la tâche suppose, à partir d'une disposition prédéfinie de carrés sur l'écran, de reproduire l'ordre d'illumination de ces carrés une fois la séquence d'allumage terminée. Le but est d'atteindre le niveau le plus élevé possible, à partir du premier niveau (3 carrés s'allument). A chaque niveau, 2 essais étaient proposés au sujet afin d'accéder au palier suivant. Le participant répondait avec la souris de l'ordinateur.

#### Tâche de temps de réaction à choix

Une seconde tâche, de temps de réaction à choix, était effectuée dans l'optique de mesurer la capacité du sujet à décider rapidement et sans erreur à partir d'informations précises. Cette opération renvoie concrètement à l'ensemble des prises de décisions effectuées par les rondiers à partir d'indices de terrain communiqués au poste et à partir desquels une intervention peut s'opérationnaliser. La tâche cognitive consiste en la détection d'une lettre flashée rapidement au centre de l'écran (100 ms), puis en la sélection de cette lettre parmi un choix de 2 lettres affichées à l'écran. Le nombre de bonnes réponses constituait la variable d'intérêt dans cette tâche. Les participants répondaient à 80 essais par l'intermédiaire de deux manettes de la console Wii® (nunchuk).

#### Tâche d'inhibition sélective

Une dimension importante de la mission des rondiers constitue la répétition de tâches routinisées, pouvant entraîner une certaine monotonie (circuits usuels de ronde, prises d'informations systématisées, habitude aux lieux, etc.). Un test de régulation comportemental a donc été envisagé afin de vérifier la capacité des participants à ajuster volontairement et correctement leur motricité malgré la prévalence de comportements devenus spontanés, et malgré la chaleur. La tâche de Simon est une épreuve de vitesse et de précision où le sujet doit répondre de la main droite ou de la main gauche à la couleur d'un stimulus (bleu ou rouge) indépendamment de sa localisation (à droite ou à gauche de l'écran). En fonction de la situation imposée par

l'essai, il est donc parfois nécessaire de réguler son comportement spontané (induit par la localisation du stimulus) pour apporter la bonne réponse (liée à la consigne). 80 essais devaient être réalisés pour compléter la tâche. Les participants répondaient par l'intermédiaire des manettes nunchuks.

#### Tâche de représentation spatiale

Une quatrième tâche à compléter faisait écho à l'impératif de repérage visuel des rondiers tout au long du circuit (anomalies, défaillances de matériels, vérification de conformités, etc.). Afin de tester la capacité des rondiers à rapidement déterminer la compatibilité (ressemblance) et l'incompatibilité (dissemblance) de stimuli, une tâche de comparaison visuelle leur a été soumise. Le but était de répondre par l'intermédiaire du clavier d'ordinateur à la dimension convergente de 2 images affichées à l'écran pour 30 essais, puis à la dimension non convergente pour 30 autres essais, en un lap de temps d'1,5 seconde par essai.

#### Tâche de précision psychomotrice

Enfin, au-delà du caractère cognitif inhérent à toute intervention, la fonctionnalité du contrôle moteur des rondiers était évaluée afin d'envisager si leurs interventions manuelles minutieuses pouvaient potentiellement être affectées par leur contexte particulier de travail. Une tâche psychomotrice était dans cette optique effectuée, avec pour consigne de suivre par l'intermédiaire de la souris d'ordinateur le déplacement prévisible d'un point lumineux sur l'écran. 3 répétitions de la tâche (15 sec par répétition) étaient réalisées, avec comme variables d'intérêt le temps de contact avec la cible lumineuse, ainsi que la distance moyenne d'écartement à cette cible.

### 2.5. Confort thermique

Après la réalisation de 2 des 5 cinq tâches, et pour chacun des moments d'évaluation (pré, milieu et fin de ronde), une échelle était présentée au sujet afin d'évaluer son confort thermique. Cette notion était définie auprès des participants comme le ressenti plus ou moins agréable de la chaleur ambiante sur le caractère confortable de la situation, et mesurée à partir d'une échelle en 11 points (-5 représentant le « très inconfortable », +5 symbolisant le « très confortable »).



## 2.6. Analyse des données

Au regard du nombre de participants à l'étude, le caractère significatif des données n'a pas été envisagé au niveau statistique. Pour autant, à partir du moment où les écarts de résultats rapportés des différentes conditions (Non-Cooling vs. Cooling) sont apparus quantitativement importants, une interprétation a été entreprise afin de préconiser des applications pratiques.

Par ailleurs, les résultats obtenus à partir des évaluations cognitives réalisées en milieu de ronde ne présentant pas de différence visuelle remarquable avec celles effectuées en fin de ronde, ces deux évaluations ont été moyennées dans la présentation des résultats. Chaque résultat relatif aux performances cognitives, de même que ceux faisant écho au confort thermique, sont donc relatés de la manière suivante : Pré vs. Ronde. Pour leur part, les mesures psychologiques, de température cutanée, de masse corporelle et physiologiques sont présentées sous la forme Pré vs. Post.

Enfin, la tâche de Simon ayant été modélisée à partir du modèle théorique d'Activation – Suppression (Ridderinkhof, 2001), des analyses de distribution ont été envisagées pour l'analyse des performances de cette tâche cognitive, en plus des mesures générales de moyennes de temps de réaction et de précision de la réponse.

## 3. Résultats

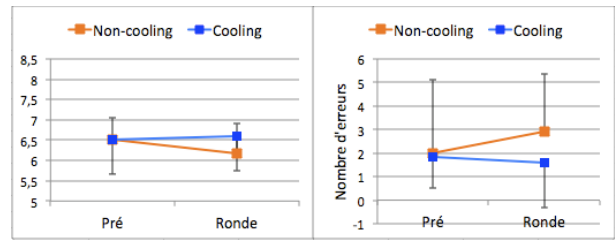
### 3.1. Mesures psychologiques

Le niveau de motivation des sujets apparaissait comparable en amont des deux conditions, étant respectivement de  $4,7 \pm 1$  dans la condition Non-Cooling et de  $4 \pm 1,3$  en condition Cooling. Le niveau de fatigue des sujets a évolué de façon similaire entre les deux conditions, passant en moyenne de  $4,1 \pm 0,3$  à  $4,7 \pm 0,8$ . La sensation de stress semble avoir divergé selon la condition. Tandis qu'elle restait stable en condition Cooling (maintien à 2,3), elle s'élevait de 2,5 à 3 en condition Non-Cooling.

### 3.2. Performances cognitives

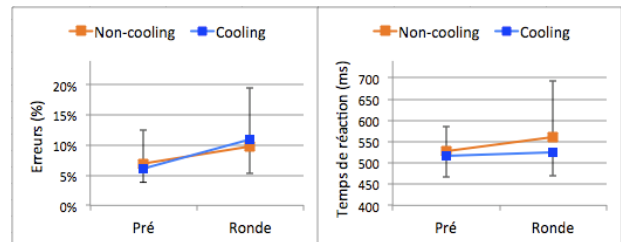
#### Tâche de mémorisation

Le niveau de performance maximale est resté stable dans la condition Cooling ( $0 \pm 1$ ) tandis qu'il diminuait de  $0,4 \pm 0,6$  entre Pré et Ronde dans la situation Non-Cooling. De plus, le nombre d'erreurs réalisées par les participants avant de parvenir au niveau 6 de la tâche s'élevait dans la condition Non-Cooling de  $0,9 \pm 2,9$  entre Pré et Ronde, tandis qu'il restait stable dans la situation Cooling ( $-0,2 \pm 1,8$ ).



#### Tâche de temps de réaction à choix

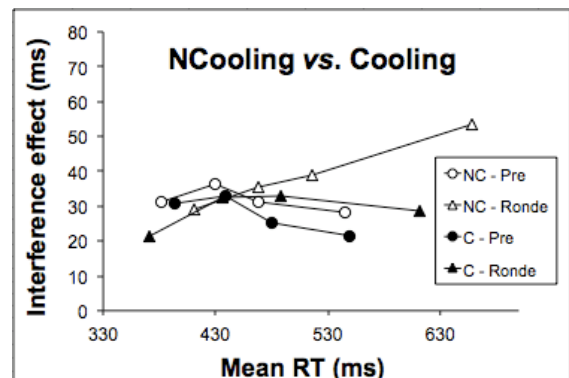
Pas de différence remarquable n'a été relevée sur l'analyse du pourcentage de précision. La qualité de la réponse apportée par les sujets évoluait en effet dans les deux conditions, augmentant en moyenne de  $4,8 \pm 5,5$  % d'erreurs entre Pré et Ronde. *A contrario*, le temps de réaction restait stable entre Pré et Ronde dans la situation Cooling ( $+9 \pm 34$  ms) mais augmentait dans la condition Non-Cooling ( $+35 \pm 91$  ms). Ensemble, ces résultats suggèrent qu'en condition Non-Cooling, davantage de temps était nécessaire aux sujets pour apporter la même qualité de réponse qu'en condition Cooling.



#### Tâche d'inhibition sélective

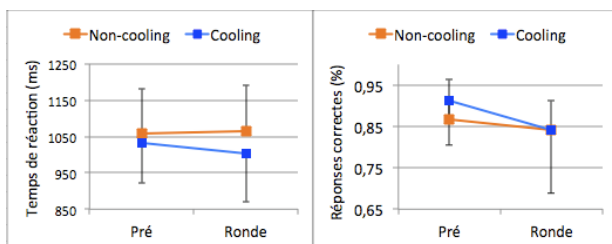
De façon similaire à la tâche de réaction à choix, le pourcentage d'erreurs évoluait de façon parallèle entre les deux conditions, augmentant en moyenne de  $3,5 \pm 5$  % entre Pré et Ronde. Tandis que le temps de réaction dans la condition Cooling semble avoir été maintenu entre Pré et Ronde ( $+8 \pm 46$  ms), il augmentait en condition Non-Cooling ( $+48 \pm 51$  ms).

Les analyses de distribution relatives à la capacité du sujet à supprimer l'interférence générée par la dimension non pertinente du stimulus (la localisation) suggèrent une capacité à inhiber la réponse incorrecte légèrement altérée en condition Cooling ( $+6 \pm 20$  ms) mais fortement marquée en condition Non-Cooling ( $+26 \pm 33$  ms).



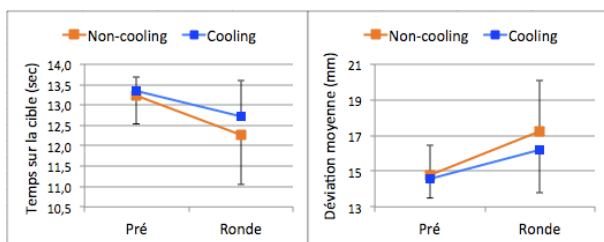
### Tâche de représentation spatiale

En condition Non-Cooling, tant la vitesse de réponse que le pourcentage de bonnes réponses sont restés stables entre Pré et Ronde (de  $1058 \pm 100$  ms à  $1066 \pm 92$  ms, et de  $87 \pm 11\%$  à  $84 \pm 9\%$ , respectivement). En condition Cooling, entre Pré et Ronde, tant le temps de réaction (de  $1034 \pm 99$  ms à  $1003 \pm 97$  ms) que le pourcentage de réponses correctes (de  $91 \pm 8\%$  à  $84 \pm 13\%$ ) ont eu tendance à diminuer. Mis en regard l'un de l'autre, ces réponses suggèrent la potentielle mise en place d'un compromis par les sujets entre la vitesse de réponse et la précision associée : en répondant plus rapidement lors de la ronde, davantage d'erreurs étaient commises. Ce pattern de réponse était évident tant pour la dimension Ressemblance que Dissemblance de la tâche. En conséquence, la condition Cooling ne semble pas avoir affectée les performances liées à cette tâche.



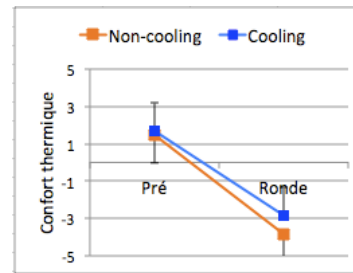
### Tâche de précision psychomotrice

Dans les deux conditions tests, les variables d'intérêt ont été impactées par la chaleur. En condition Non-Cooling, le temps de contact avec la cible était réduit, de Pré à Ronde, de  $1 \pm 0,9$  sec, tandis que l'écartement à la cible augmentait de  $25,5 \pm 19,8$  mm. Cette dégradation de la réponse psychomotrice était atténuée par le port de la veste : tandis que le temps de contact avec la cible diminuait de  $0,6 \pm 0,9$  sec, l'écartement augmentait de  $16,2 \pm 22,3$  mm.



### 3.3. Confort thermique

La diminution de la sensation d'inconfort liée au stress thermique était exacerbée en condition Non-Cooling entre Pré et Ronde ( $-5,3 \pm 2,4$ ) comparativement à la condition avec la veste ( $-4,5 \pm 2,5$ ).



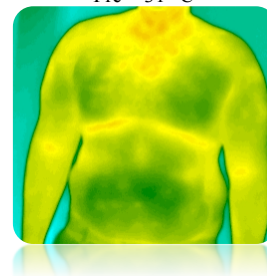
### 3.4. Mesures de l'état hydrique du sujet

Aucune différence entre les deux conditions n'a été relevée quant à l'évolution des mesures de la densité gravitaire de l'urine des sujets de Pré à Post ( $+0,004 \pm 0,005$ ). A l'inverse, la pesée réalisée en Post révélait, comparativement à Pré, une perte de masse corporelle de  $1,1 \pm 0,3$  kg en condition Non-Cooling, contre  $0,8 \pm 0,2$  kg en condition Cooling.

### 3.5. Mesures de température cutanée

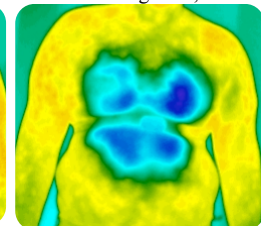
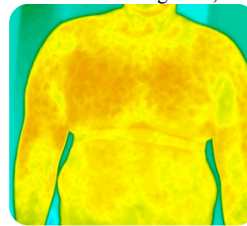
En Pré, les sujets ne présentaient pas de différence de température cutanée entre les deux conditions ( $0,2 \pm 0,2$  °C). Tandis que la température de la peau (buste + dos) était plus élevée en Post en condition Non-Cooling ( $+2,7 \pm 1,3$  °C), elle était réduite après la condition Cooling ( $-3,1 \pm 1,7$  °C).

Pré = 31 °C



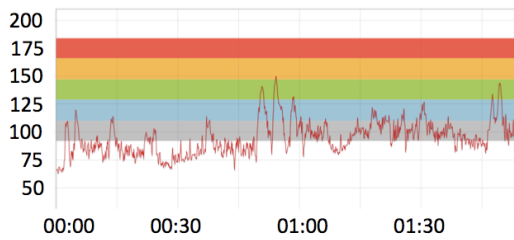
Post Non-Cooling = 34,4 °C

Post Cooling = 27,5 °C



### 3.6. Fréquence cardiaque

Comparativement à la condition Non-Cooling, la fréquence cardiaque était en moyenne abaissée de  $6 \pm 18$  battements par minute lors de la condition Cooling. Un exemple d'évolution de la fréquence cardiaque est affiché ci-dessous.



#### 4. Discussion

Cette étude avait pour objectif de déterminer si le port d'un gilet réfrigérant de type CryoVest® permettait de lutter contre les effets délétères de la chaleur sur le fonctionnement cognitif de rondiers au sein même de leur environnement professionnel. Pour cela, 2 jours de test ont été réalisés au sein de la Zone Four de l'entreprise ArcelorMittal® (Dunkerque). Les résultats suggèrent que, lorsque la chaleur induit un déclin de performances cognitives spécifiques au cours de la ronde, le port de la CryoVest® protège partiellement ou complètement de cet effet néfaste. Un fonctionnement – psychologique comme physiologique – économique lié à la veste semble être le facteur d'origine d'une telle préservation cognitive.

##### 4.1. Les effets de la chaleur sur le travail des rondiers

L'ensemble des opérations mentales évaluées au cours de la ronde a démontré une détérioration globale mais non systématique de l'activité cérébrale sous l'effet de la chaleur ambiante. En effet, alors que les performances relatives aux tâches complexes et psychomotrices dévoilaient un effet de ralentissement de la vitesse de réponse et/ou une incapacité, sous contrainte temporelle, à répondre aussi précisément qu'en ambiance thermique neutre, les opérations de représentation spatiale ne semblaient pas souffrir des effets de la chaleur. Cette observation peut résulter du fait que les rondiers, au travers de leur activité quotidienne de travail, sont accoutumés à réaliser des comparaisons d'objets en confrontant leurs modèles en mémoire aux observations de terrain. En automatisant ce type d'opérations sur des schémas visuels de référence, il est ainsi possible qu'ils aient développé une habileté singulière à décider rapidement et efficacement de la compatibilité d'images simples comme lors de la tâche de représentation spatiale. Pour autant, cette performance restait la seule non altérée par le stress thermique et la majeure partie des fonctions évaluées en condition Non-Cooling discriminait un déclin des performances.

Cette spécificité de l'impact cérébral de la chaleur n'est pas isolée. Quand bien même les tâches cognitives choisies pour l'étude étaient estimées renvoyer à l'activité quotidienne des rondiers, il a été rapporté, pour un même stress thermique, des différences notables de performances cognitives selon la nature de la tâche à réaliser et l'expérience du sujet. Dans ce cadre, il

apparaît que la contrainte thermique générée par les fours conduise à une remarquable – mais relative – incapacité des sujets à contrôler aussi efficacement leur comportement qu'en condition neutre. Ce résultat objectif pour cette population l'augmentation des risques encourus lors de la ronde, et atteste de la nécessité d'apporter une aide à la thermorégulation des sujets afin d'agir dans le sens d'une plus grande sécurité au travail.

##### 4.2. La CryoVest® protège des effets cognitifs délétères de la chaleur

Pour chaque tâche cognitive dont la performance a été détériorée par la chaleur, le port de la CryoVest® a eu un impact positif. Plus précisément, tandis que cet impact se concrétisait par une moindre diminution des performances cognitives en chaleur pour certaines fonctions (régulation comportementale et contrôle moteur), la veste autorisait un retour aux performances d'origine pour d'autres (mémoire, temps de réaction à choix). Le caractère bénéfique partiel ou complet de la CryoVest® sur le rétablissement du fonctionnement cognitif pourrait être dû à la complexité de la tâche, et plus précisément à la pression temporelle qui lui est inhérente. En d'autres termes, moins la réponse exigée devait être rapide, plus l'effet de la veste était important.

Au regard de cet effet bénéfique global sur la performance cognitive, le gilet réfrigérant CryoVest® intègre donc l'ensemble des stratégies de lutte contre les effets de fatigue liés à la chaleur sur l'altération du comportement. Si les systèmes réfrigérés d'hydratation, ou de compresses de froid appliquées manuellement sur la tête et la nuque se sont avérés pertinents en ambiance thermique chaude, ils n'apparaissent pour autant que peu fonctionnels dans le contexte professionnel actuel d'étude. En effet, chaque rondier doit pouvoir intervenir à tout moment en toute disponibilité motrice et de façon pleinement lucide. Le produit proposé dans cette étude afin d'aider les sujets à thermoréguler remplissait ce rôle sans toutefois constituer une gêne à la mission des rondiers.

Les évaluations cognitives des sujets en condition chaude intervenaient en milieu (après ~45 min) et fin (après ~100 min) de ronde, leur permettant alors de bénéficier pleinement du transfert de froid des compresses vers la veste, et de la veste vers la peau dès la première évaluation. Les mesures de température cutanée révélaient, après ~1 h 50 min de ronde, un froid toujours effectif ( $-3,1 \pm 1,7$  °C en moyenne). De façon convergente, la pérennité de l'action de la CryoVest® a aussi autorisé une moindre perte en sueur au cours de la ronde, révélée par la pesée au retour de celle-ci. Ce résultat peut s'expliquer par l'absence de nécessité de l'organisme de refroidir les zones couvertes et déjà rafraîchies par la veste (buste et dos). Le sujet transpirant moins, une préservation de son état hydrique était donc favorisée par la veste. L'observation suggérant que les données de densité gravitaire de l'urine ne confortent pas ce résultat peut s'envisager au

travers du fait que les participants s'hydrataient de façon conséquente avant le départ en ronde. Cette préservation des mécanismes thermorégulateurs peut aussi expliquer la tendance à la diminution de la fréquence cardiaque via une moindre vasodilatation cutanée, reflétant une économie cardiovasculaire lors de la ronde. Toutefois, ce résultat est à relativiser, au regard des potentiels écarts de parcours lors de la ronde d'un jour de test sur l'autre, malgré la volonté d'avoir contrôlé cet effet.

De façon similaire au milieu sportif, le confort thermique induit par la veste a été notifié lors de cette étude. Une moindre dérive du sentiment désagréable lié à la chaleur (confort thermique) était ainsi reportée en milieu et fin de ronde lorsque la veste était portée. Cet effet s'accompagnait, au retour de la ronde, d'une sensation réduite de stress. Il est ainsi possible qu'en complément des effets physiologiques liés à la veste sur la dissipation de la chaleur et la préservation d'un état stable de l'organisme, un moindre sentiment d'oppression soit à l'origine de la moindre réduction des performances cognitives en chaleur.

Dans ce cadre, l'emploi de la CryoVest® pour des travailleurs ronds dans leur contexte usuel de travail est à encourager. En effet, si le ressenti initial des travailleurs constituait une mesure spontanée en faveur de l'installation de ce système de refroidissement (et de sécurité !), les résultats de cette étude objective l'impact cognitif de la chaleur, comme celui profitable de la veste. A cet effet, l'ajout d'espaces CryoVest® et de congélation de compresses de froid aux espaces actuels de préparation au départ en ronde peut définitivement être à envisager.

Une limite évidente de l'étude réside dans le nombre de sujets. Malgré cela, les résultats obtenus tant en termes physiologiques, perceptifs que cognitifs reflètent les résultats couramment observés dans la littérature. Cette convergence conforte alors les données obtenues dans cette étude de terrain, en même temps qu'elle prône l'utilisation de systèmes de refroidissement ergonomiques pour cette population de travailleurs. En effet, n'oublions pas que si cette étude a été effectuée au mois de décembre, des conditions bien plus stressantes sont envisagées lors des mois de forte chaleur.

## Conclusion

En résumé, cette étude a investigué les effets cognitifs de la chaleur induite par des fours en activité sur les fonctions cognitives de travailleurs professionnels au sein même de leur contexte de travail, et l'impact sur ces performances mentales d'un système de refroidissement de type CryoVest®. Les résultats révèlent qu'après 2h de ronde, le froid généré par la veste était toujours effectif, avait préservé les statuts hydrique et cardiovasculaire des sujets, et s'accompagnait de sensations de confort thermique et de stress améliorées. Ces effets ont induit une moindre détérioration des capacités cognitives des sujets en conditions chaudes, voire un retour à la normale de

certaines performances aux tâches cognitives. Alors que la CryoVest® apparaît un moyen pratique de contrecarrer les effets cognitifs délétères de la chaleur, la mise au point de stratégies complémentaires (col et collants réfrigérants, stratégies hydriques, etc.) apparaissent à encourager, pour les ronds comme pour d'autres travailleurs quotidiennement exposés à de fortes chaleurs.

## Remerciements

Nous voudrions remercier Manu D., Tony L., Christophe L., Bertrand B., Julien D. et Xavier G. pour leur disponibilité motivée à l'étude, Laura P. pour son aide dans la mise en œuvre matérielle de l'expérimentation, et E. Lebars pour son implication dans l'initiation de l'étude.

## Contacts

Démarche scientifique :

[cyril.schmit@insep.fr](mailto:cyril.schmit@insep.fr) ;

01 41 74 42 95 ; 06 78 28 97 63

Démarche commerciale :

[b.bourgeois@bccryoinnov.fr](mailto:b.bourgeois@bccryoinnov.fr) ;

02 99 60 20 77 ; 06 32 23 58 05