



**COGEMA**

GROUPE CEA

Marcoule, le **30 juillet 1988**

**ÉTABLISSEMENT DE MARCOULE.**

BP 170. 30205 BAGNOLS SUR CÈZE CEDEX.  
TÉL 66 79 50 00. TÉLEX 480232.

- SERVICE MEDICAL DU TRAVAIL -

Destinataires in fine

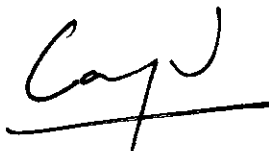
Messieurs,

Veillez trouver ci-joint, le texte de la communication  
**"TENUES VENTILEES : Contraintes imposées dans l'industrie nu-  
cléaire par le port de tenues de protection contre la contami-  
nation radioactive"**.

**H. FROSSARD - J. BENOIT - J. BITTEL - MH CAUQUIL**

qui sera présenté par le **Dr J. BENOIT** lors de la 27<sup>ème</sup> réunion  
plénière à Jülich le 28 septembre 1988, dans le cadre de la  
Communication des Communautés Européennes.

Je vous prie d'agréer, Messieurs, mes sincères salu-  
tations.

  
Dr **M.H. CAUQUIL**

*Madame Benoit*  
*- docteur*

MM. DEMILDT	SCK/CEN-LHMA 200 BOERETANG 2400 MOL BELGIUM	4 exemplaires
BOHME	KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE ABT RBT IT Postfach 3640 D-7500 KARLSRUHE	4 exemplaires
POTT	KERNFORSCHUNGSANLAGE HEIBE ZELLEN D-517 JULICH	23 exemplaires
CARLSEN	DANISH NATIONAL LABORATORY RISØ ROSKILDE DANMARK	4 exemplaires
VAN CRAEYNEST	D.TECH/SECS/SELECI CEN SACLAY 91191 GIF SUR YVETTE Cédex France	7 exemplaires
MARSICO	ENEA S.P. ANGUILLARESE km 1 + 300 P.O.BOX 2400 00100 ROMA A/D	5 exemplaires
STAHL	ECN PETTEN POSTRUS 1755 ZG PETTEN - NETHERLANDS	3 exemplaires
SAYERS	201/A32 AEEW DORCHESTER DORSET - ENGLAND	3 exemplaires
SKINNER	U.K.A.E.A. (WNPDL) SELLAFIELD CUMBRIA - ENGLAND	3 exemplaires
CAUWE	CCR ISPRA 21020 ISPRA ITALIE 2B	4 exemplaires
SAMSEL	EUROPAISCHES INSTITUT FUR TRANSUREN - POSTFACH 2340 D-7500 KARLSRUHE	10 exemplaires



## I N T R O D U C T I O N

---

Dans l'industrie nucléaire, dans le domaine du retraitement en particulier, le risque de contamination par des produits radioactifs exige l'application de règles de sécurité très strictes : port du masque, port d'une tenue vinyle scotchée qui réalise une protection totale de l'agent. Cette tenue vinyle dite "scotchée" est un vêtement commercialisé et confectionné en feuille plastique mince, sans ventilation intérieure, avec capuche, sans gant soudé. Elle est complétée par un appareil de protection des voies respiratoires (masque avec une cartouche filtrante). L'étanchéité de ce vêtement est réalisée par l'obstruction des ouvertures à l'aide de rubans adhésifs d'où le nom de tenue vinyle "scotchée". Cette feuille plastique est totalement imperméable à la vapeur d'eau. Or, la seule voie thermolytique possible chez l'homme lors du travail à la chaleur est l'évacuation sudorale qui, dans ce cas, sera totalement inefficace.

Il s'agit d'un véritable confinement pour l'organisme humain qui sera dans l'impossibilité d'évacuer les calories produites par son métabolisme et surtout par l'augmentation de l'activité musculaire lors du travail.

On se trouve dès lors dans des conditions proches de celles observées pour des travaux en haute température, comme à PIERRELATTE ou EURODIF par exemple, où la nuisance est, là, induite par la technologie.

Les Laboratoires des Armées se trouvent confrontés aux mêmes problèmes lors de l'exposition des militaires à des milieux hostiles. Leur expérience est déjà grande dans ce domaine, nous avons donc fait appel à eux, pour évaluer la contrainte thermique liée au port de cette tenue. Cette contrainte étant alors connue, il s'agira de déterminer les temps limites d'utilisation (temps de tolérance) de façon à éviter l'apparition des accidents liés à la chaleur. L'étude a été faite en chambre thermoclimatique et en situation réelle de travail.



## M A T E R I E L    E T    M E T H O D E S

---

### CONDITIONS EXPERIMENTALES EN LABORATOIRE :

#### \* LES SUJETS

L'étude a été réalisée chez 3 décontamineurs portant habituellement la tenue vinyle scotchée dans leur travail. Leurs caractéristiques biométriques sont relevées :

Taille - Poids - Surface corporelle - % de masse grasse - Age - Consommation d'oxygène (qui rend compte de l'activité musculaire).

#### \* LES VETEMENTS

La tenue testée se compose de :

- Un maillot de corps en coton
- Un slip
- Une veste et un pantalon en coton et polyester
- Une paire de chaussettes
- Une paire de chaussures
- Une combinaison en coton
- Des surbottes vinyle et des surbottes tissu
- Un masque avec visière et cartouche filtrante
- Une tenue vinyle : veste et pantalon
- 2 paires de gants en latex

#### \* LES TESTS

Les mesures ont été réalisées en chambre climatique, dans deux conditions expérimentales à 25° et 35°. Chaque sujet a subi 4 tests, dans un ordre aléatoire, séparés de 7 jours : nu et équipé de la tenue complète dans les 2 conditions climatiques.

Le sujet est placé nu ou après avoir revêtu la tenue dans la chambre climatique. La simulation d'une activité est réalisée par un travail sur bicyclette ergométrique correspondant à environ 30 % de la consommation maximale d'oxygène (VO2 max).

La durée du test est de 1 heure : cependant les tests sont interrompus à la demande du sujet (inconfort prononcé) ou lorsque les températures corporelles et/ou la fréquence cardiaque atteignent des limites à ne pas dépasser.

Les variables physiologiques, enregistrées toutes les minutes sur un système d'acquisition de données HEWLETT-PACKARD, sont les suivantes :

- 10 températures cutanées locales mesurées par thermocouple cuivre-constantan et pondérées pour obtenir une température cutanée moyenne (Tsk).
- La température rectale (Tre) mesurée par une sonde thermocouple (cuivre-constantan) introduite 10 cm au delà de l'anus.
- La fréquence cardiaque (F.C.) (moniteur de fréquence cardiaque HEWLETT-PACKARD, modèle 78203 C).

La perte de poids totale du sujet est obtenue par pesée du sujet nu avant et après le test. Pour les tests avec la tenue, la perte de poids par évaporation à travers les vêtements est mesurée en pesant le sujet équipé avant et après le test.

A la fin de chaque test une note de confort thermique de 0 à 8 est donnée par le sujet. Plus la sensation de chaleur est importante plus la note est élevée.

0.0. = Froid insupportable	4.5
0.5	5.0 = Un peu chaud
1.0 = Très froid	5.5
1.5	6.0 = Chaud
2.0 = Froid	6.5
2.5	7.0 = Très chaud
3.0 = Un peu froid	7.5
3.5	8.0 = Chaud insupportable
4.0 = Confortable	

Echelle de confort thermique



## DETERMINATION DES TEMPS DE TOLERANCE

---

Pour calculer un temps de tolérance, il faut se fixer des limites physiologiques à ne pas dépasser. A la chaleur, ces limites sont liées aux deux perturbations physiologiques, principales sources d'accidents chez l'homme : l'hyperthermie et la déshydratation.

### \* L'HYPERTHERMIE :

Une augmentation de 1,5°C de la température rectale du sujet constitue une limite à ne pas dépasser pour éviter tout accident d'hyperthermie. Cependant il est possible d'accepter une augmentation de 2°C de la température rectale à condition que cette dernière ne dépasse pas 39°C.

### \* LA DESHYDRATATION :

L'évaporation sudorale est la seule voie thermolytique chez l'homme placé en ambiance chaude. Pour éviter tout accident, la déshydratation ne doit pas dépasser 4 % du poids du corps.

### \* CALCUL DU TEMPS DE TOLERANCE :

Le temps de tolérance déterminé à partir de l'élévation de la température rectale est tel que :

$t$  (Tre), en heure =  
 limite d'élévation de la température rectale / élévation horaire de la température rectale.

Le temps de tolérance calculé à partir de la déshydratation est tel que :

$t$  (ΔP), en heures =  
 limite de déshydratation / perte de poids horaire



Le temps de tolérance le plus favorable pour l'homme (le plus court) est retenu.

Chez les sujets vêtus, le calcul d'un temps de tolérance est justifié car ils n'atteignent jamais l'équilibre thermique réalisant ainsi un stockage de chaleur proportionnel à la durée de l'exposition au chaud. Par contre chez l'homme nu, après 60 à 90 minutes d'exposition à la chaleur, le sujet est en équilibre thermique et ses températures corporelles sont stables. Seule la perte de poids (déshydratation) peut constituer dans ce cas le facteur limitant.

D'autres calculs sont effectués tel que :

- Variation de température corporelle moyenne (4 Tb)
- Stockage de chaleur (S.)



## CONCLUSION

---

### CHEZ LE SUJET NU :

Chez le sujet nu, que ce soit à 25 ou 35°C, le temps de tolérance est uniquement fonction de l'importance de la déshydratation limite fixée à 4 % du poids corporel.

### CHEZ LE SUJET VETU DE LA TENUE VINYLE SCOTCHEE :

Les temps de tolérance sont variables selon le niveau de Tre ou d'augmentation de Tre fixés. Ces temps de tolérance ont été calculés sur les valeurs moyennes obtenues chez les 3 sujets. Il faut évidemment tenir compte des variations inter-individuelles. Cependant, en s'accordant un risque moyen, ces temps de tolérance peuvent être appliqués à chaque sujet pris individuellement. Ils concordent parfaitement avec les recommandations de temps énoncées par la radioprotection (PMDS CEA) à savoir 1 h 30 par jour et par poste de travail.

Enfin si les seuils d'élévation de la Tre et de la déshydratation apparaissent comme des critères solides dans la caractérisation des temps de tolérance, il faudra à l'avenir tenir compte du niveau de fréquence cardiaque parfois très élevé pour un état thermique correspondant non alarmant.





## E T U D E S    E N    S I T U A T I O N    R E E L L E

---

Dans un second temps, l'étude a été faite en situation réelle, sur les lieux mêmes de travail des personnels du Groupe COGEMA à MARCOULE, afin de déterminer les temps limites d'utilisation de la tenue vinyle scotchée dans des situations de travail données.

La charge thermique à laquelle sont soumis les personnels a une double origine :

- Endogène d'une part, la production de chaleur métabolique augmentant avec le travail .
- Exogène d'autre part, la charge thermique externe pouvant être importante et accrue par l'utilisation de matériels dégageant de la chaleur.

Il faut donc définir :

- Les caractéristiques des postes de travail
- Les caractéristiques climatiques ambiantes par un index climatique
- Des variables physiologiques traduisant la contrainte
- Le temps de tolérance et son mode de calcul.

### LES CARACTERISTIQUES DES POSTES DE TRAVAIL :

Il est très difficile de définir les caractéristiques des postes de travail dans la mesure où est laissée au personnel une liberté de mode et de cadence de travail. On peut cependant tenir compte de la posture (debout, accroupie...), des déplacements, des charges portées, du travail des bras et des mains, etc... et définir ainsi un travail comme étant léger, moyen ou pénible.



### LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES :

Le climat peut se définir à partir de la température d'air sec, de l'humidité de l'air et de la chaleur rayonnante. Un index climatique tenant compte de ces différentes variables est classiquement utilisé : C'est l'index WBGT (Wet Bulb Globe Temperature).

### LES VARIABLES PHYSIOLOGIQUES :

Il s'agit de faire correspondre à chaque poste de travail un niveau d'hyperthermie traduisant le stockage de chaleur par le sujet. Ce niveau peut être mesuré par la température interne (mesurée par la température rectale) et par la température corporelle (moyenne pondérée de la température rectale et de la température cutanée moyenne). La mesure des températures au niveau de la peau permet d'évaluer les possibilités d'échange de chaleur entre le sujet et l'ambiance.

Le niveau de fréquence cardiaque traduit la charge globale de travail et constitue un bon critère de contrainte physiologique.

### LE TEMPS DE TOLERANCE :

Le temps de tolérance est calculé comme précédemment. Le temps de tolérance le plus favorable pour l'homme (le plus court) est retenu.

### REALISATION DE L'ETUDE :

Cette étude a été réalisée début juillet 1984 sur des personnels du Groupe COGEMA à MARCOULE.

#### **Les sujets :**

6 décontamineurs de 23 à 48 ans dont les caractéristiques biométriques sont relevées, comme en Laboratoire.

### PROTOCOLE EXPERIMENTAL :

Les expérimentations ont été réalisées pendant 3 jours, le matin et l'après-midi, sur différents postes de travail. Ces 3 jours d'expérimentation ont été précédés d'une demi-journée consacrée à "l'étalonnage" des sujets".



Il s'agit d'évaluer dans des conditions de Laboratoire et pour chaque sujet la relation entre la puissance de travail qu'il effectue et sa fréquence cardiaque. Cette relation permettra ensuite d'évaluer en situation réelle le niveau énergétique du travail effectué. Notons cependant que dans les conditions réelles de travail le niveau de fréquence cardiaque ne dépend pas uniquement du travail effectué mais aussi de la température ambiante : à l'accélération cardiaque due à l'exercice s'ajoute celle liée au processus de lutte contre la chaleur.

La tension artérielle au repos, au cours de l'exercice et après l'exercice est aussi mesurée.

#### EXPERIMENTATION PROPREMENT DITE :

##### **Déroulement de l'expérimentation.**

Avant de se rendre sur le lieu même de travail les sujets sont pesés nus et leur température rectale est mesurée à l'aide d'une thermistance rectale introduite de 10 cm dans le rectum. Ils sont alors équipés de différents capteurs reliés à un enregistreur miniaturisé de type Holter, placé dans un étui porté à la taille. Ce système permet d'enregistrer en continu sur cassette magnétique :

- 4 températures à l'aide de thermistances. Elles permettent de calculer une température cutanée moyenne ( $T_{sk}$ ).
- La température rectale ( $T_{re}$ ) à l'aide d'une thermistance introduite de 10 cm dans le rectum.
- Le tracé ECG.

Après l'équipement les sujets se rendent, en tenue universelle sur le lieu même du travail, terminent de s'équiper (combinaisons et masque) et rentrent en cellule pour environ une heure de travail.

Les variables climatiques sont mesurées toutes les 15 minutes à l'intérieur de la cellule à l'aide d'un appareil de mesure de l'index WBGT (WIBGET).

Il est possible de suivre l'activité des sujets par des hublots pendant toute la durée du travail.

Les sujets interviennent à deux par cellule, à raison d'une intervention par demi-journée, chaque sujet pouvant intervenir plusieurs fois au cours des 3 jours d'expérimentation. Au total 17 interventions ont été enregistrées.

A la sortie de la cellule, après le déshabillage les sujets sont de nouveau pesés nus et leur température rectale est mesurée avec le système BRAUN. La mesure ponctuelle de la température rectale au début et à la fin de l'intervention constitue une sécurité au cas où un problème se produirait avec le système holter d'enregistrement en continu (retrait de la sonde rectale au cours du travail par exemple). La pesée des sujets avant et après l'intervention permet de mesurer la perte de poids totale du sujet et d'évaluer ainsi le niveau de déshydratation.

#### **Les différents postes de travail**

\* Les interventions ont eu lieu dans 2 ateliers : l'atelier de conditionnement des déchets solides (CDS) et l'atelier de décontamination de matériels (ADM).

- Au CDS : dans 2 cellules : travail à la presse  
: découpage de vinyle
- A l'ADM : dans différentes cellules

#### **RESULTATS :**

Les variables climatiques n'ont pas varié d'un jour à l'autre.

On note chez tous les sujets une augmentation de la température rectale, celle-ci est surtout marquée lors des interventions à la presse.

Les températures cutanées sont élevées en fin de travail ce qui traduit la gêne à l'évaporation sudorale. Les interventions à la presse montrent comme pour la température rectale des niveaux finaux de température cutanée plus élevés que les autres interventions.



On observe pour toutes les interventions un niveau élevé du stockage de chaleur notamment au poste de la presse.

La déshydratation n'est pas un facteur limitant compte tenu de la durée du travail ( $\sim 60$  mn) : les temps de tolérance moyens calculés à partir de la limite de déshydratation sont supérieurs à 2 heures.

Les temps de tolérance calculés à partir de la limite d'élévation de la température rectale varient en fonction des postes. Les temps les plus courts se retrouvent pour les postes à la presse confirmant le niveau élevé de contrainte thermique pour ces postes. Les temps de tolérance les plus longs se retrouvent au "vinylage".

On note une grande variabilité individuelle traduisant la difficulté de caractériser un poste de travail quant à sa contrainte dans la mesure où chaque sujet est libre d'adopter un rythme de travail plus ou moins élevé.

On retrouve la relation entre le niveau moyen de fréquence cardiaque traduisant la charge de travail et le temps de tolérance : ce temps est d'autant plus court que la charge est élevée.

#### \* SERVICE DES ATELIERS PILOTES

Une étude de même nature, en tenue vinyle scotchée, a été également effectuée à MARCOULE au SERVICE DES ATELIERS PILOTES (SAP.CEA), à la cellule 65. Mais il s'agissait d'un travail de repérage et de contrôle des tuyauteries, ce qui, malgré les difficultés de progression et les postures insupportable, n'a pas entraîné un travail très contraignant sur le plan thermique. Les conclusions de cette étude n'ont fait que corroborer les résultats précédents.

\* D'autres tenues ont été étudiées avec la collaboration des Agents COGEMA :

- La tenue CRC dite "ventilée" avec adjonction d'une ventilation située entre la tenue vinyle et la tenue coton. Elle apporte une notion de confort, mais ne contribue pas à diminuer de façon notable la contrainte thermique.



- Une étude a été faite avec une tenue ventilée confectionnée dans un tissu différent, théoriquement partiellement perméable à l'air, donc à la vapeur d'eau. Il s'agit de la Tenue TYVEK. Elle a été étudiée en Laboratoire sur des Agents de La HAGUE qui l'utilisent habituellement sur les lieux de travail, et a été comparée à une tenue vinyle ventilée. Les résultats ne sont pas sensiblement différents.

Enfin, un système de refroidissement corporel, mis au point pour des militaires opérant dans les chars a été testé à MARCOULE. Ce refroidissement est apporté par une sorte de harnais de tissu léger, perforé en de nombreux points, placé directement sur la peau. Il comporte deux arrivées d'air : une utilisée pour l'alimentation respiratoire, et une autre pour la ventilation du harnais.

L'adjonction de cette ventilation corporelle a entraîné un moindre stockage thermique caractérisé par une moindre élévation de température rectale et cutanée moyenne, ainsi qu'une diminution importante de la perte de poids.

Voici une voie ouverte vers une nette amélioration des conditions de travail.

Enfin, pour être tout à fait exhaustifs dans l'énumération des études faites en collaboration COGEMA - CRSSA de LYON, il faut ajouter:

- Une expérimentation pratiquée sur des Agents de sécurité (FLS) portant une tenue anti-feu sodium, dite Tenue PARNA.

- Et notre ouverture vers un travail commun avec les marins (Institut National des Plongeurs Professionnels) pour nous permettre de bien connaître les conditions de travail des agents plongeant en piscines contaminées.



## C O N C L U S I O N

---

Notre travail dans le domaine des contraintes thermiques induites par ce port de tenue de protection n'est pas terminé :

Les résultats parviennent lentement. Les études, faites sur un nombre limité d'agents , ne nous permettent pas une analyse statistique des résultats.

Le harnais de ventilation corporelle , qui n'est encore qu'un prototype est très prometteur mais il faut encore procéder à sa mise au point, sa fabrication en série et sa généralisation au niveau des postes de travail.

Enfin, ajoutons que si la collaboration avec les scientifiques du CRSSA est une source de grande satisfaction intellectuelle, la participation exemplaire des agents pour ces expérimentations particulièrement contraignantes, nous apporte beaucoup dans le domaine des relations humaines.