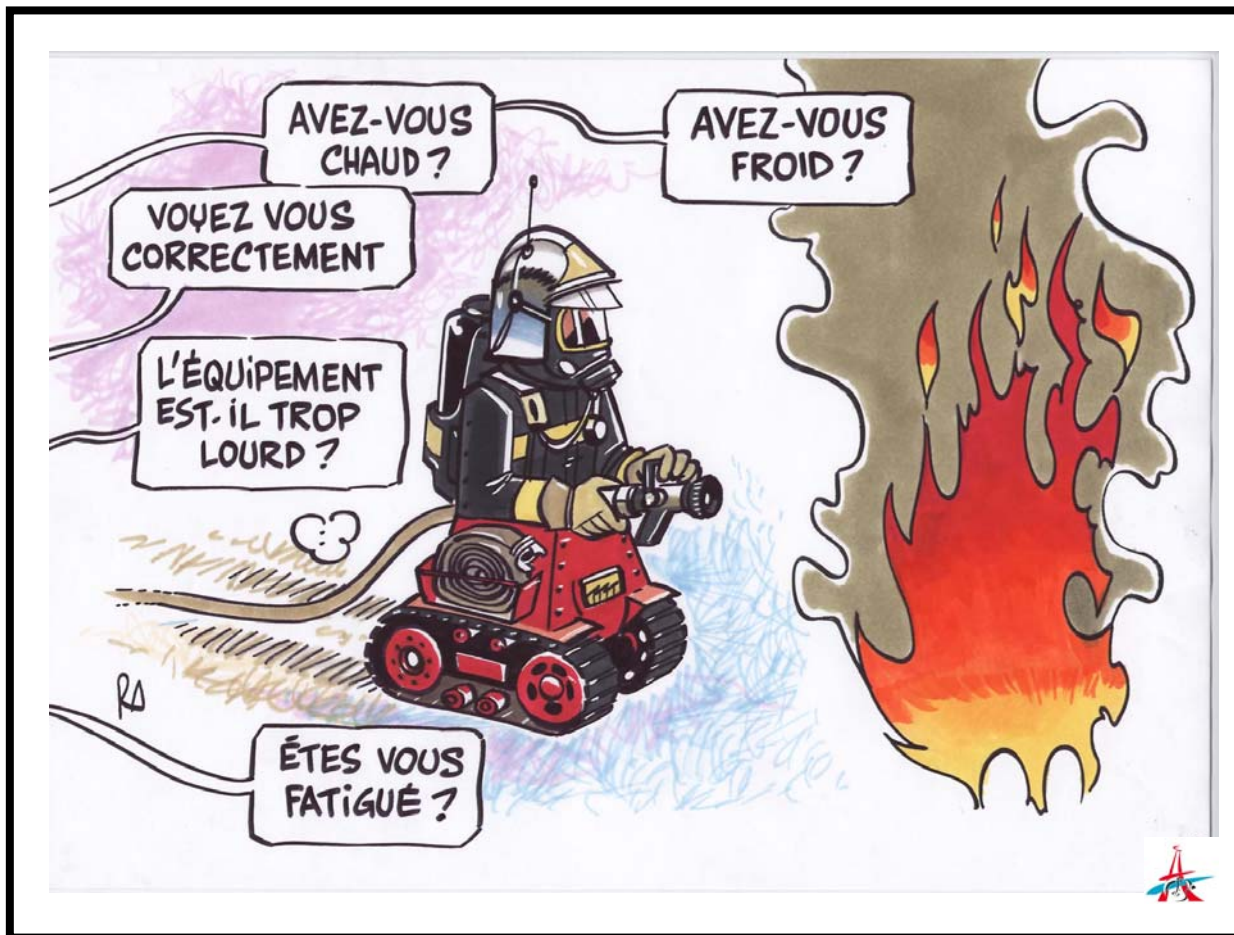


# Validation et limites d'emploi des nouveaux équipements de protection individuelle



*des sapeurs-pompiers de Paris*



*Le sapeur-pompier,*

*un système*

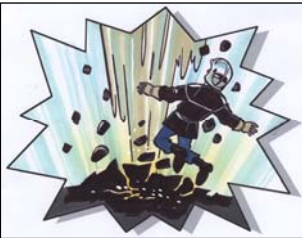
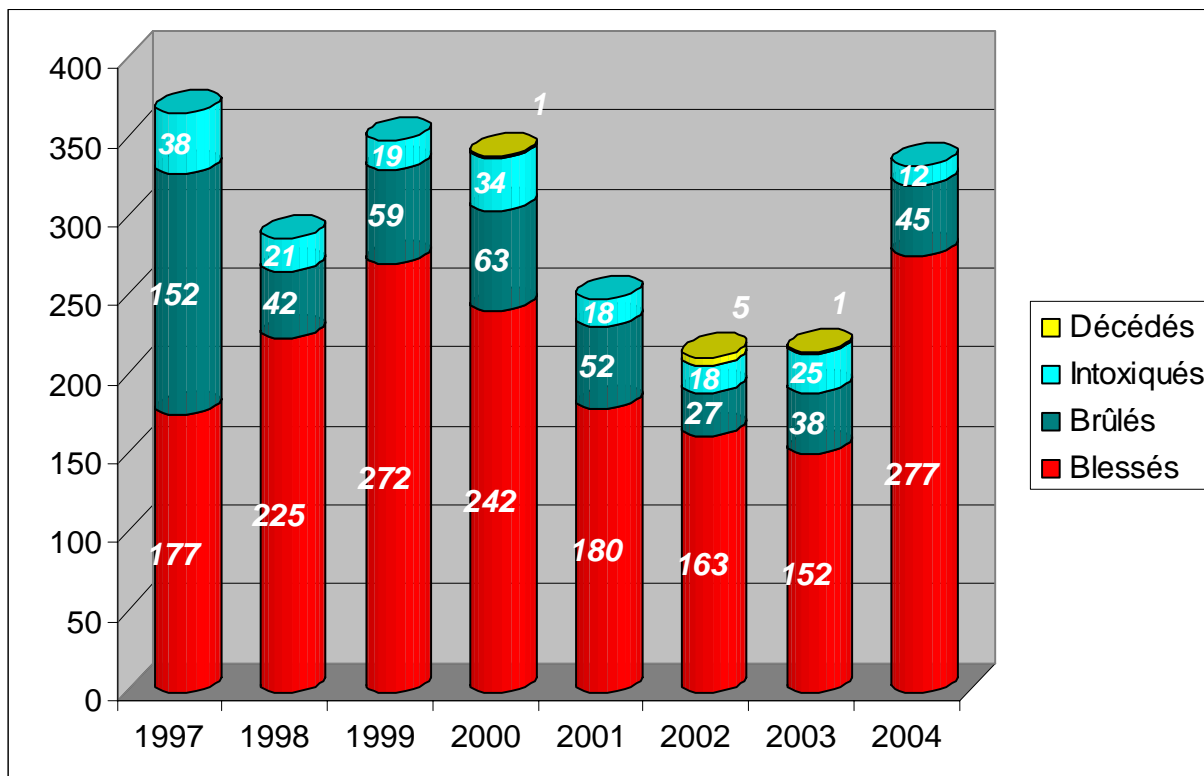


*d'attaque*





# Retour d'expérience

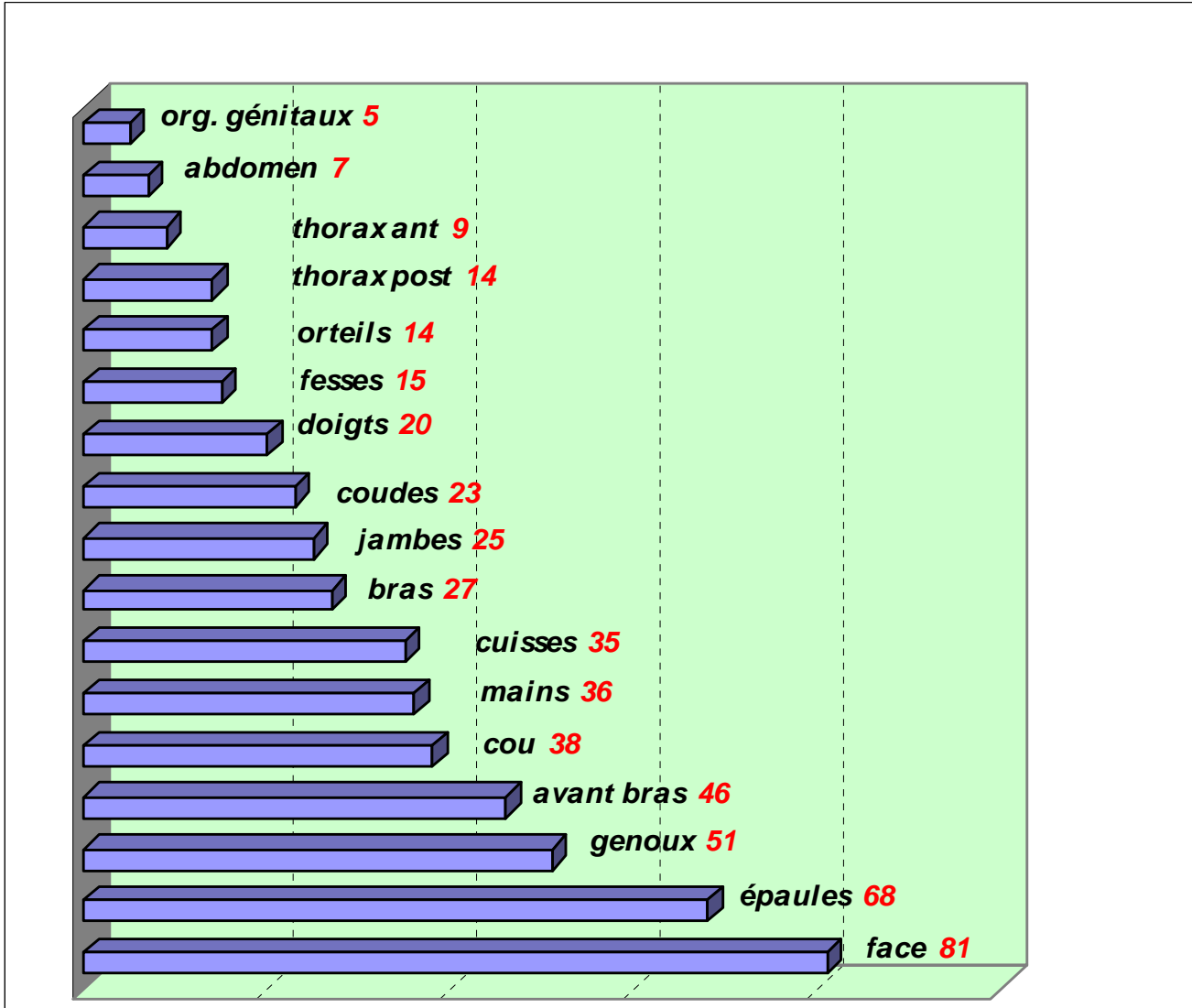


- Décédés
- Intoxiqués
- Brûlés
- Blessés

## Accidentologie sur feu



# Analyse des brûlures de 149 pompiers de Paris entre 2000 et 2005





***ANCIENS EPI***



***NOUVEAUX EPI***





# *Evaluation des EPI* *modèles 2002 (textile)/aux modèles 1997 (cuir)*



*1<sup>ère</sup> étape :*

*Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade*

*2<sup>e</sup> étape :*

*Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)*

*3<sup>e</sup> étape :*

*Tests sur l'homme en laboratoire*

*4<sup>e</sup> étape :*

*Essais sur l'homme à la maison du feu*

*Conclusions*



## *Protocole*

### *1<sup>ère</sup> étape :*

***Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade***

### *2<sup>e</sup> étape :*

*Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)*

### *3<sup>e</sup> étape :*

*Tests sur l'homme en laboratoire*

### *4<sup>e</sup> étape :*

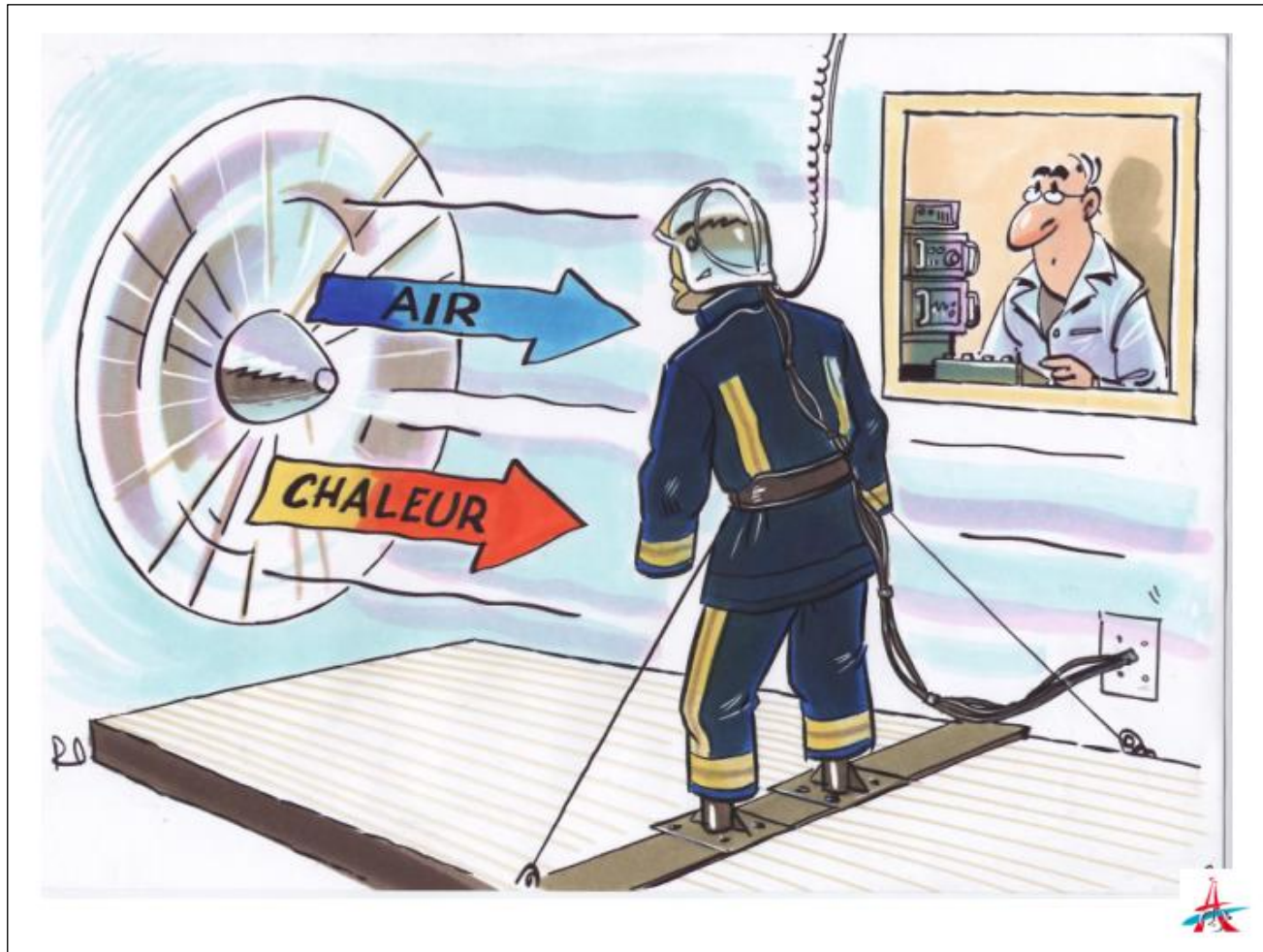
*Essais sur l'homme à la maison du feu*

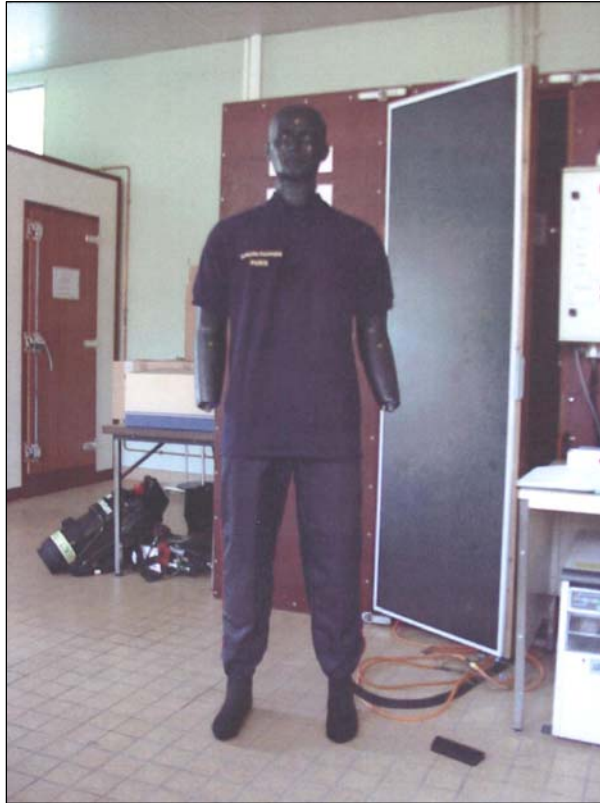
*Conclusions*





# *Etude des paramètres techniques des équipements*







# Résultats des mesures sur mannequin

## Bilan de masse

	<i>habillement</i>	<i>ARI</i>	<i>total(kg)</i>
<i>Equipement en service</i>	9,05	15,9	25
<i>Nouvel équipement</i>	8,13	14,4	22,5

## Perméabilité à l'air (NF ISO 9237/95 , $D_p = 100 \text{ Pa}$ )

	<i>chemise F1</i>	<i>veste</i>	<i>surpantalon</i>
<i>Tenue de base</i>	530 l/m <sup>2</sup> /s		95 l/m <sup>2</sup> /s
<i>Equipement en service</i>		4 l/m <sup>2</sup> /s	150 l/m <sup>2</sup> /s
<i>Nouvel équipement</i>		2 l/m <sup>2</sup> /s	96 l/m <sup>2</sup> /s

## Isolement thermique ( $V_a = 1 \text{ m/s}$ ) (NF ISO 9920)

	<i>sans ARI</i>	<i>avec ARI</i>
<i>Tenue de base</i>	0,49 Clo	
<i>Equipement en service</i>	1,16 Clo	0,97 Clo
<i>Nouvel équipement</i>	1,08 Clo	1,03 Clo

1 Clo = 0,155 m<sup>2</sup>.°C/W



*Écart de masse d'environ 10% en faveur des nouveaux EPI*



## *Protocole*

*1<sup>ère</sup> étape :*

*Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade*

*2<sup>e</sup> étape :*

***Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)***

*3<sup>e</sup> étape :*

*Tests sur l'homme en laboratoire*

*4<sup>e</sup> étape :*

*Essais sur l'homme à la maison du feu*

*Conclusions*

# Définir des scénarios pour des



*simulations numériques  
de la charge de travail*





## Exemple de scénario source

### Feu de cage d'escaliers



A

B

C

D

*Avant alerte : Assis en tenue de base*  
*Départ des secours:*

*- se rendre à l'engin (20 m) (marche rapide)*

*- monter dans le véhicule*

*- s'habiller en tenue d'intervention*

*Position assise pendant 4 min.*

*- enfiler l'ARI*

*- descendre de l'engin et tirer le dévidoir sur 15 mètres, poser la division*

*- établir une lance au 2<sup>e</sup> niveau*

*- coiffer le masque et attaquer le feu (3 minutes)*

*- progresser vers le 3<sup>e</sup> niveau et attaquer le feu (jusqu'aux seuils d'alertes fixés)*

*- redescendre les escaliers, retour à l'engin*

*- retirer l'ARI*

*- rangement des matériels pendant 15 min*

*Retour au CS*



# Logiciel LAMA 2002\*

MF

## Coût métabolique moyen

juil-04

lié au port des équipements

sapeur-pompier nouvel équipement

Scénario homme

(Equation de GOLDMAN)

Maison du feu

OTAN AC 225 com VIII - 1979

Consolazione 70

### Paramètres initiaux homme moyen

Taille	Poids	Charge P	Pente	Coefficient	Vitesse	Surf. Corp.	Coût global	M
m	Kg	en Kg	en %	terrain	Km h-1	m <sup>2</sup>	W	W / m <sup>2</sup>
1,75	75,00	3,44	0	1	1	1,91	122	64

### Données initiales

Type de	charge sup
Système	en Kg
habillement	4,70
lance	9,70
ARI+masqu	14,38
charge total	28,78

### Données calculées

Coût global	M	? Coût	? M
W	W / m <sup>2</sup>	W	W / m <sup>2</sup>
124	65	2	1
128	67	6	3
134	70	12	6
164	86	42	22

ARI mono-bouteille 2120 litres utiles

début	temps		description activité	vitesse km/h	distance km	Coût global		coût cumul		débit air l/min	conso litres	cumul litres	
	fin	durée				W	W/m <sup>2</sup>	W.h	W.h				
09:00:00	09:00:10	00:00:10	repos assis alerte			113	59	0,3					Position initiale assise en tenue de base
09:00:10	09:00:40	00:00:30	marche	6	0,050	461	241	3,8	4				Se rendre à l'engin distance 20 mètres (marche rapide)
09:00:40	09:02:40	00:02:00	s'habille assis			181	95	6,0	10				S'habiller assis dans l'engin en tenue d'intervention
09:02:40	09:05:40	00:03:00	repos assis			114	60	5,7	16				Position assise dans l'engin pendant 4 minutes
09:05:40	09:05:45	00:00:05	descente véhicule			150	79	0,2	16				descendre de l'engin, aller vers l'arrière
09:05:40	09:06:25	00:00:45	statique mise ARI	-		250	131	3,1	19				Enfiler l'ARI, mise du masque en attente
09:06:25	09:07:05	00:00:40	tire le dévidoir	2	0,022	550	288	6,1	25				aller vers l'arrière de l'engin
09:07:05	09:07:16	00:00:11	marche avec lance	4	0,012	351	184	1,1	26				Tirer le dévidoir sur 30 mètres
09:07:16	09:07:26	00:00:10	montée escalier	4	0,011	600	314	1,7	28				monter l'escalier vers RDC
09:07:26	09:08:26	00:01:00	marche sans lance	1	0,017	200	105	3,3	31				Reconnaître le rez-de-chaussée, détection fumée
09:08:26	09:10:26	00:02:00	marche rdc	1	0,033	620	325	20,7	52				progression au 1er étage feu de canapé
09:10:26	09:15:26	00:05:00	statique effort	-	-	300	157	25,0	77				établissement et mise en eau des tuyaux
09:15:26	09:15:36	00:00:10	statique mise ARI			300	157	0,8	78	22	4	4	mise du masque ARI, entrée dans SIM 2
09:15:36	09:17:36	00:02:00	statique 1er étage	-		250	131	8,3	86	19	40	45	Attaquer le feu pendant 2 minutes
09:17:36	09:18:06	00:00:30	montée escalier	1	0,008	650	340	5,4	91	48	26	71	Reconnaître la cage d'escalier,
09:18:06	09:19:06	00:01:00	montée escalier	1	0,017	750	393	12,5	104	56	61	132	montée dans l'escalier intérieur avec une lance
09:19:06	09:45:26	00:26:20	statique 2ème étage	-	-	250	131	109,7	214	19	533	665	Opérations de d'arrosage du foyer durée 25 minutes
		<b>arrêt à</b>	<b>0:30:00</b>			<b>coût moyen</b>	<b>396</b>	<b>207</b>	fin d'intervention retour véhicule				<b>sortie du simulateur niveau 3 retirer l'ARI</b>
09:45:26	09:46:11	00:00:45	marche	4	0,050	351	184	4,4	218				retour au véhicule
09:46:11	09:47:11	00:01:00	statique			250	131	4,2	222				retire l'ARI
09:47:11	09:57:11	00:10:00	statique			400	209	66,7	289				rangement matériel (rembobinage lance)
09:57:11	10:07:11	00:10:00	repos assis			114	60	19,0	308				retour de l'engin au poste de secours

durée avec ARI 30:00 minutes      coût moyen 283      148      consommation totale ARI 665      litres

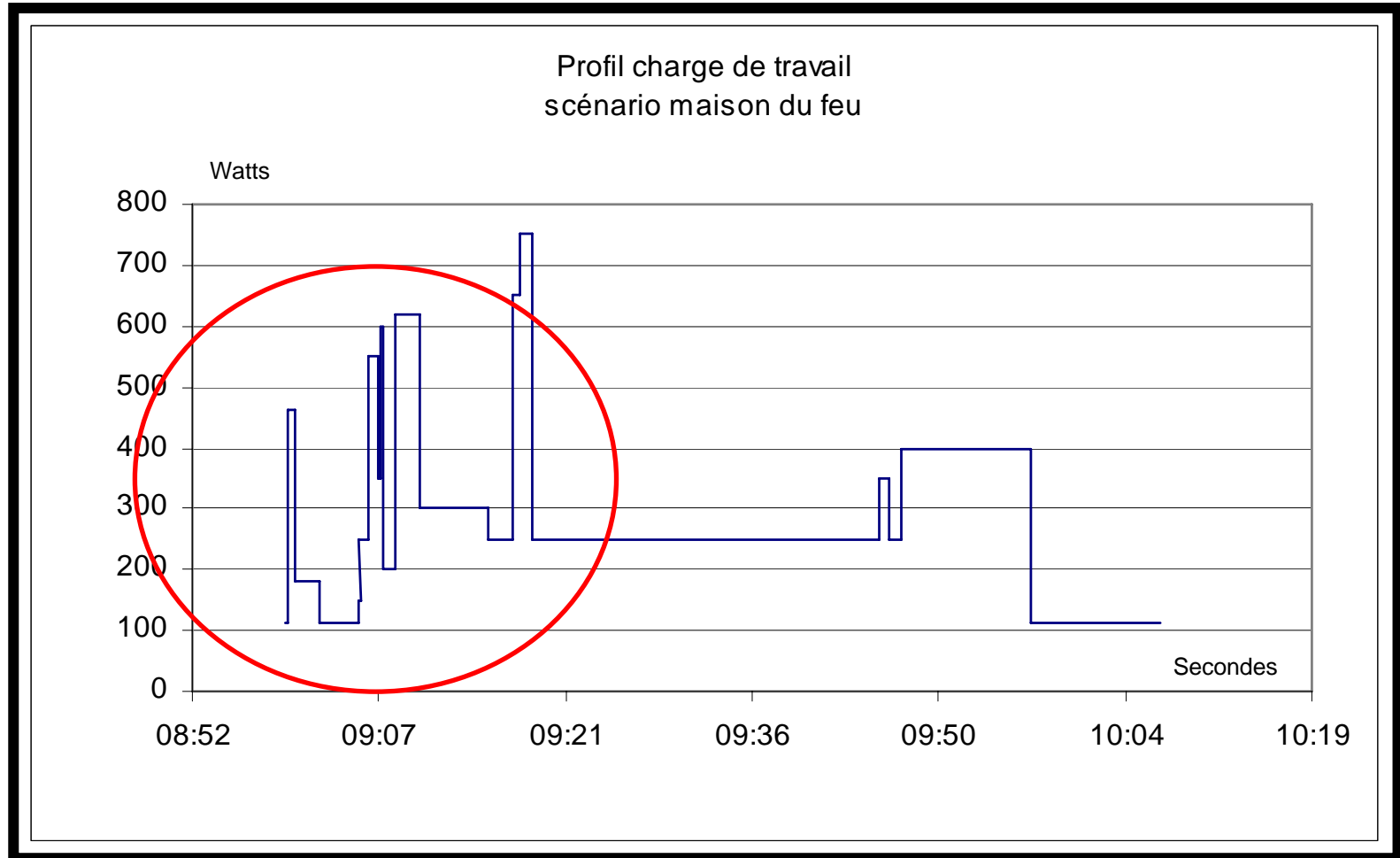
Durée totale interventio 47:06      distance parcourue 0,22 km      Energie dépensée 308





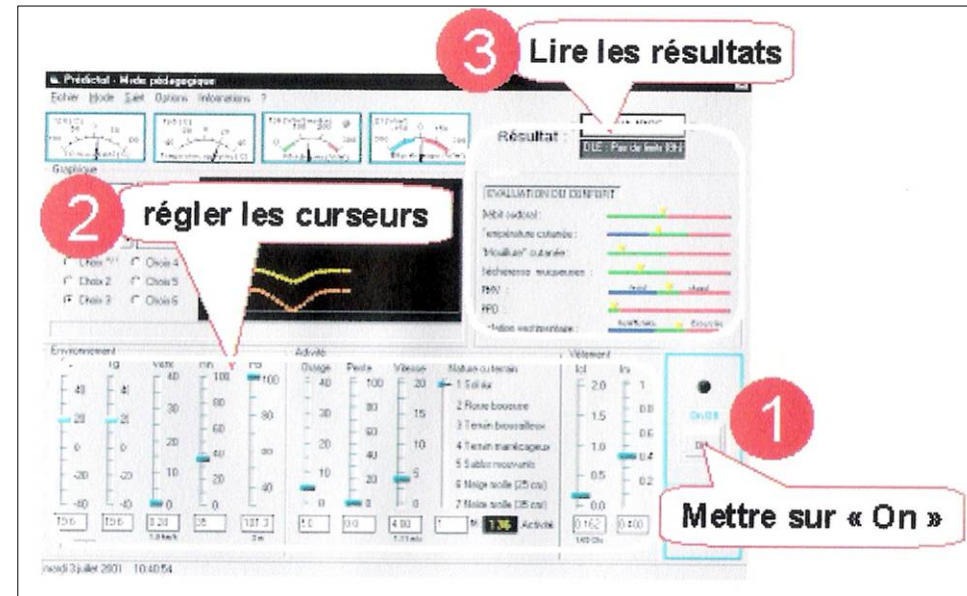
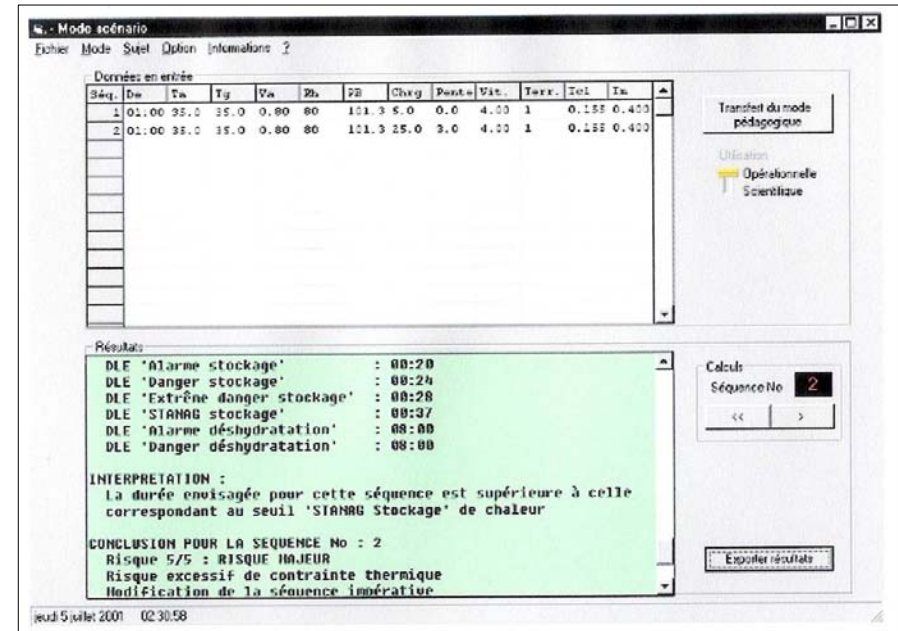
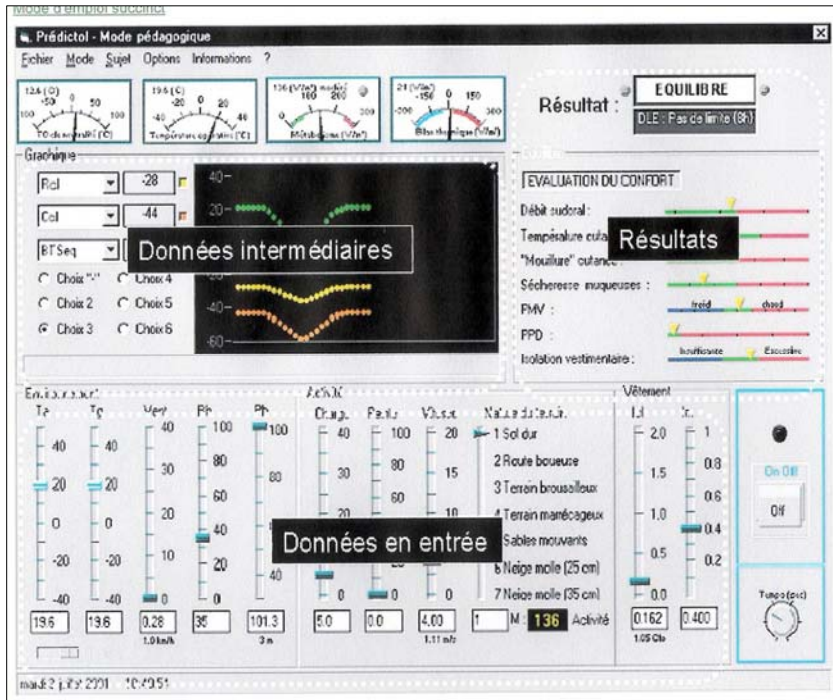
## Synthèse de la 2<sup>e</sup> étape

*La charge de travail la plus importante correspond aux manœuvres d'établissements des tuyaux d'eau*





# Logiciel « Predictol \* »



\* Savourey G. (CRSSA - facteur humain, physiologie)



## Synthèse de la 2<sup>e</sup> étape

*Pour un sapeur-pompier standard (1,75 m et 75 kg), le surcoût métabolique qui est d'environ 29 % avec les anciens EPI est amené à environ 24,7 % avec les nouveaux.*

*Pour un sapeur-pompier de 1,65 m et 60 kg, ce surcoût métabolique passe d'environ 38 % à environ 32,9 %*

*On retiendra **qu'au-delà de 33 %** le surcoût métabolique peut être considéré comme astreignant.*



## *Protocole*

*1<sup>ère</sup> étape :*

*Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade*

*2<sup>e</sup> étape :*

*Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)*

*3<sup>e</sup> étape :*

***Tests sur l'homme en laboratoire***

*4<sup>e</sup> étape :*

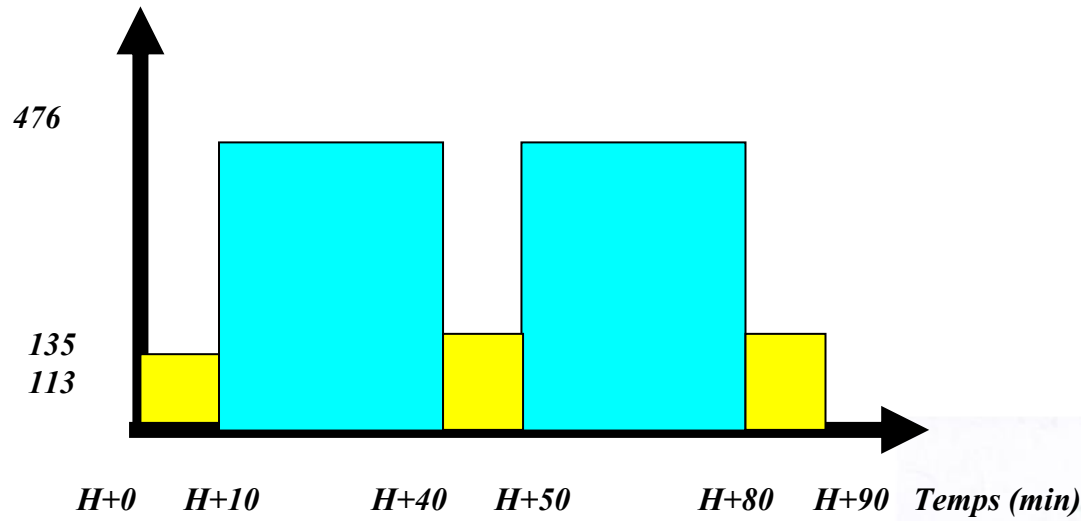
*Essais sur l'homme à la maison du feu*

*Conclusions*

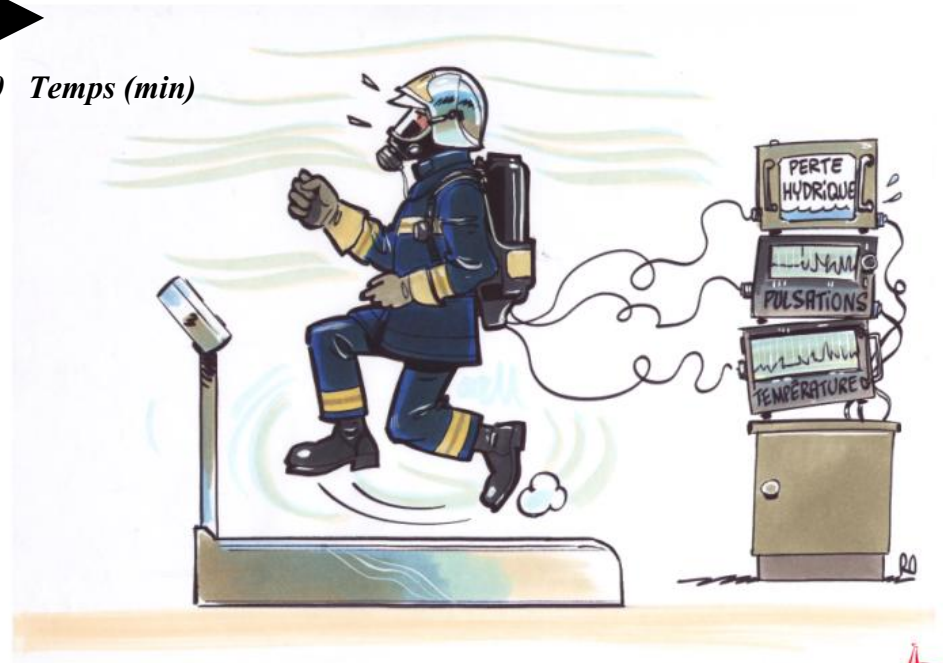


# Tests en laboratoire

Métabolisme (W)



*Scénario laboratoire*





*HR = 45%*

*T°C = 28°C*

*Vent : nul*



*Phase d'attente*



*Phase d'effort*



*Cardio fréquencesmètre*



*Sonde de mesure de températures centrale et cutanée*

*Seuil : Température centrale maxi  $38,5^{(0+0,5)}\text{°C}$   
ou  $\Delta = 1,5\text{°C}$  sans dépasser  $39\text{°C}$*



*Contrôle de la fréquence cardiaque*

*Seuil haut :*

***180 pulsations pendant 3 min***

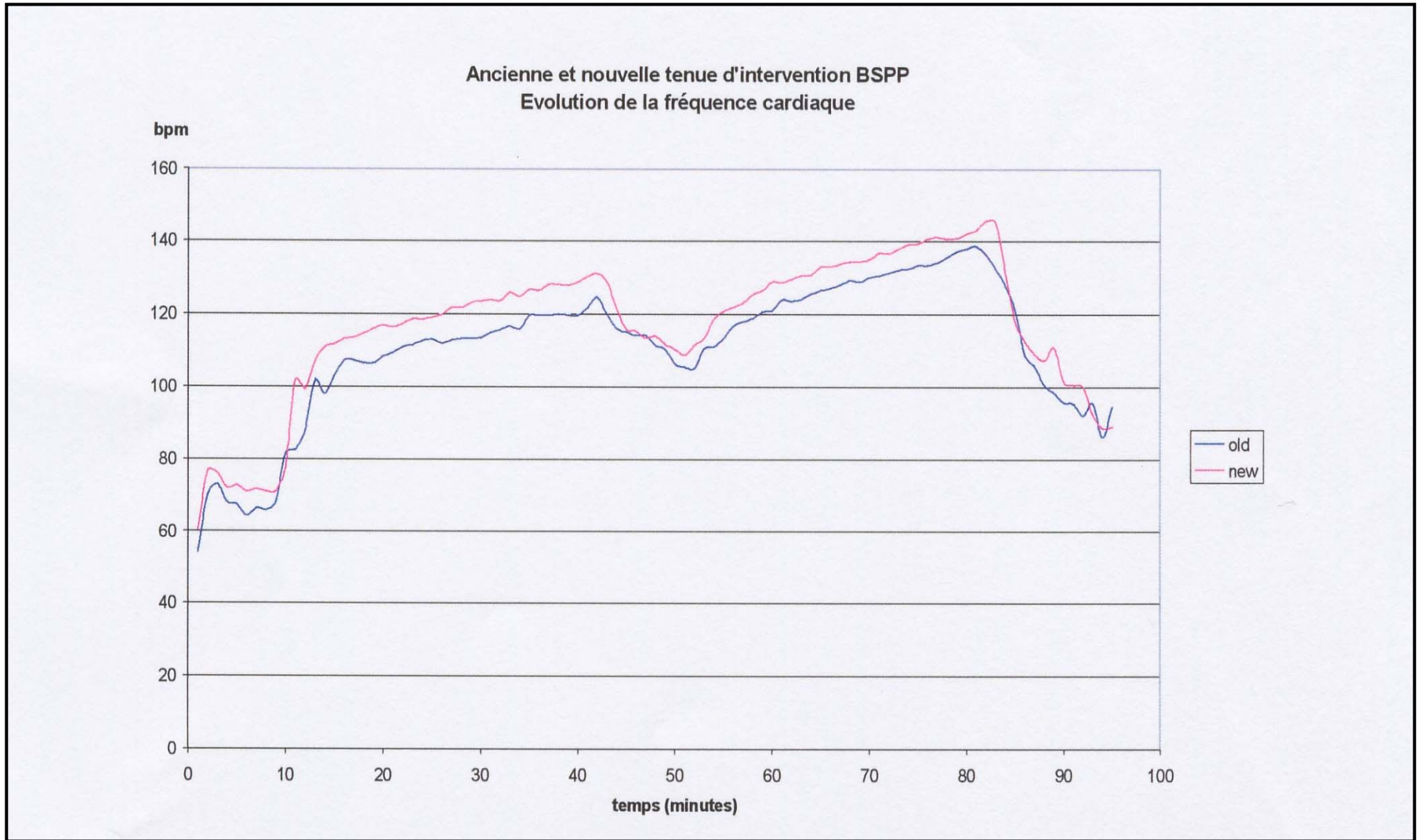


*Contrôle de la perte hydrique:  
Seuil haut : **2%** du poids du corps*

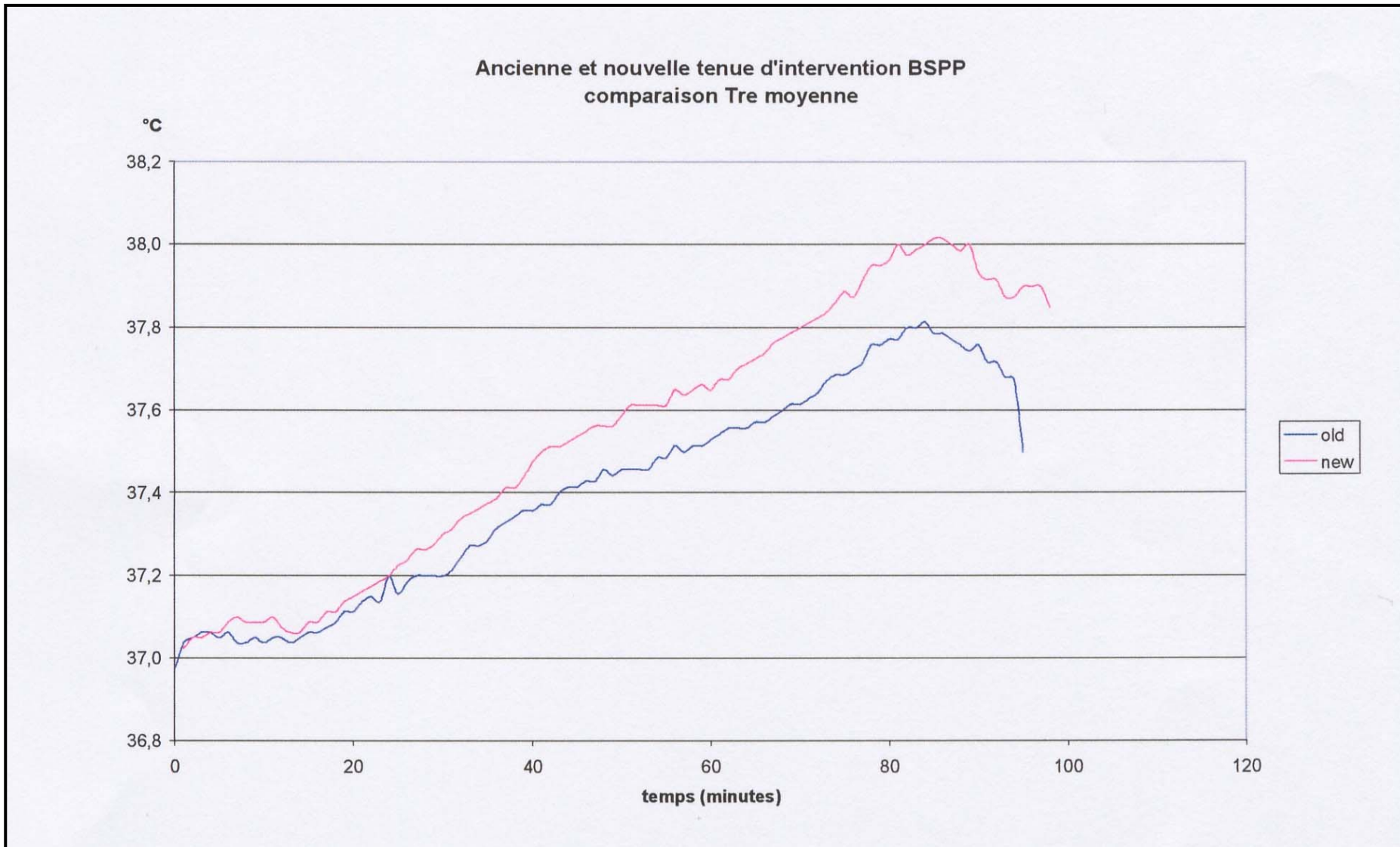




# Relevé du rythme cardiaque



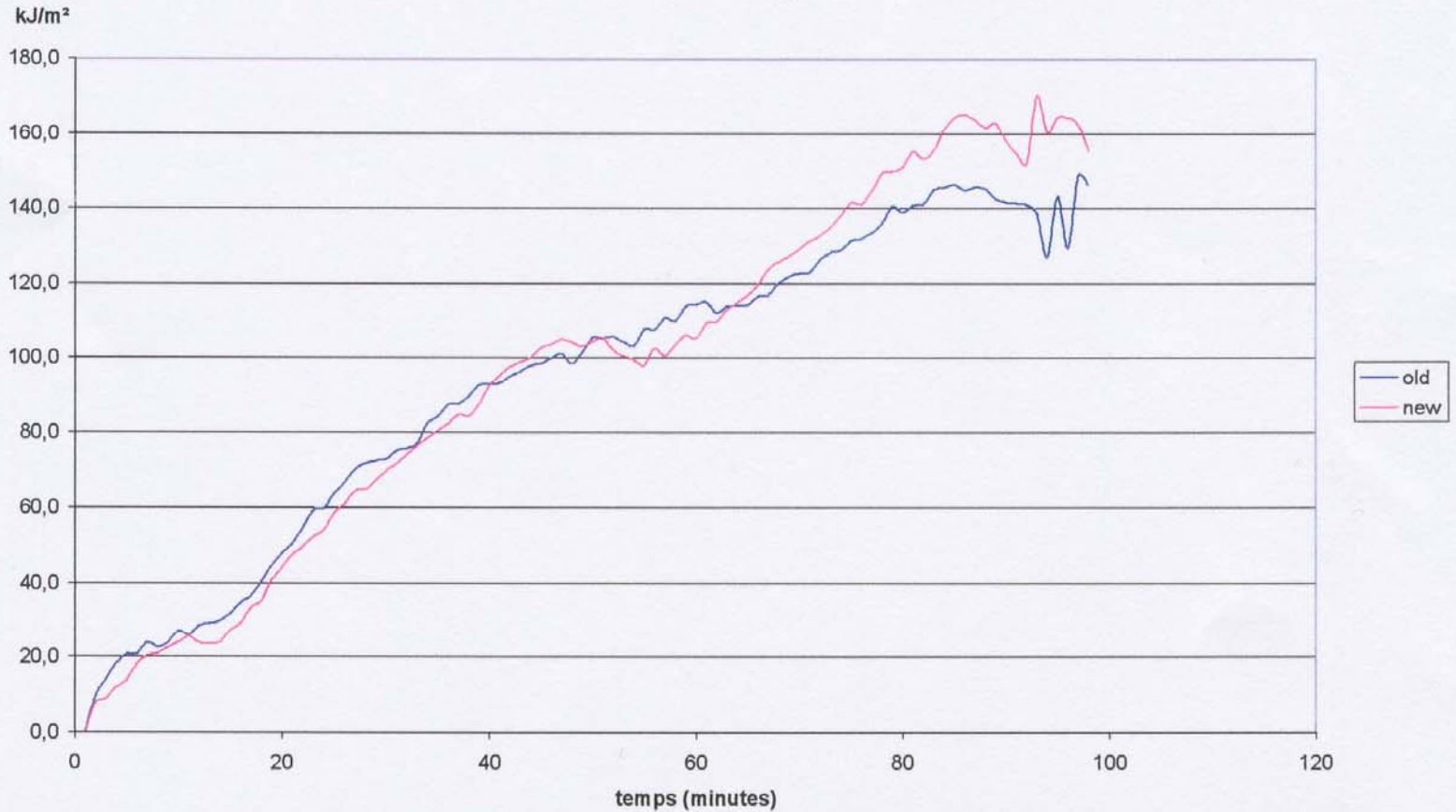
# Relevé de la température centrale

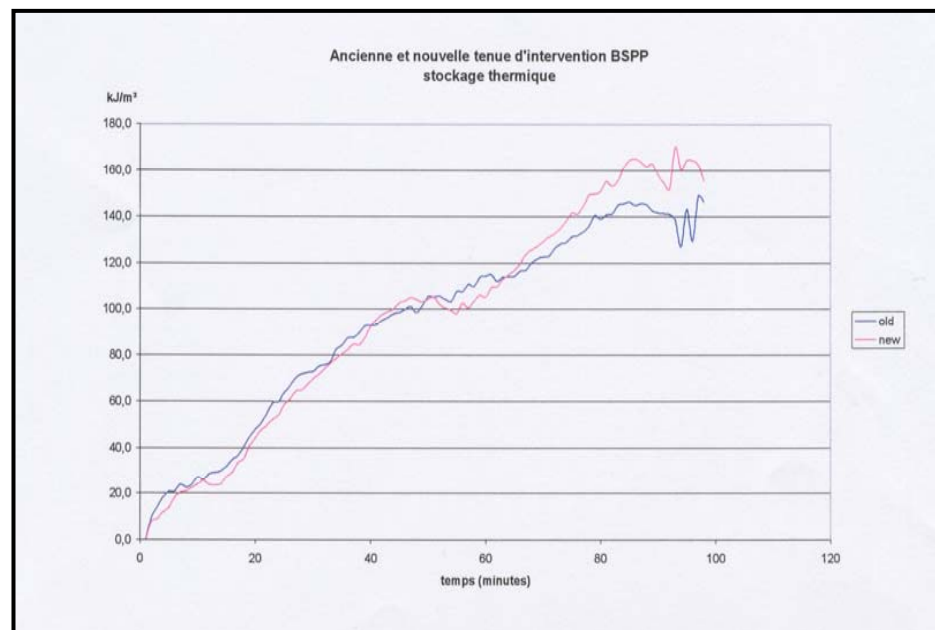
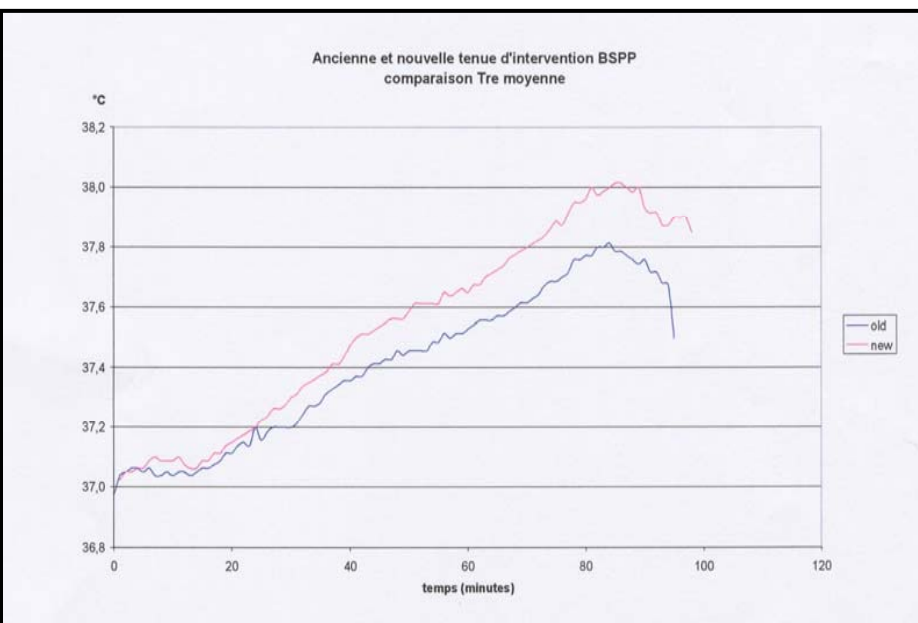
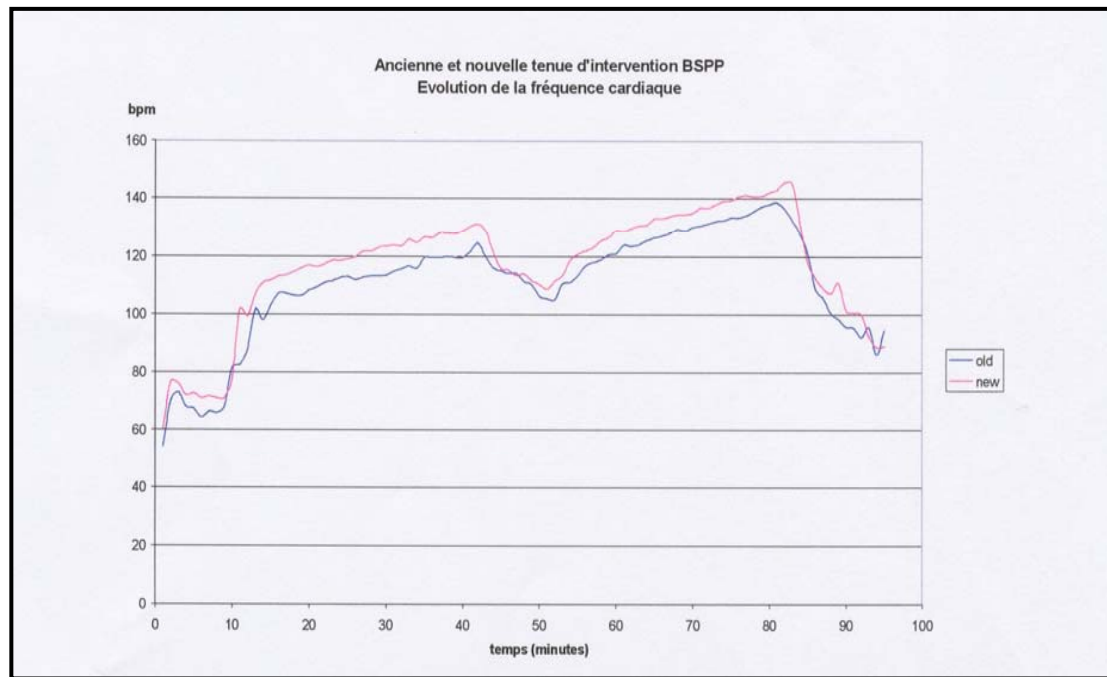




# Relevé du stockage thermique

Ancienne et nouvelle tenue d'intervention BSPP  
stockage thermique







## *Protocole*

*1<sup>ère</sup> étape :*

*Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade*

*2<sup>e</sup> étape :*

*Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)*

*3<sup>e</sup> étape :*

***Tests sur l'homme en laboratoire***

***Essais complémentaires***

*4<sup>e</sup> étape :*

*Essais sur l'homme à la maison du feu*

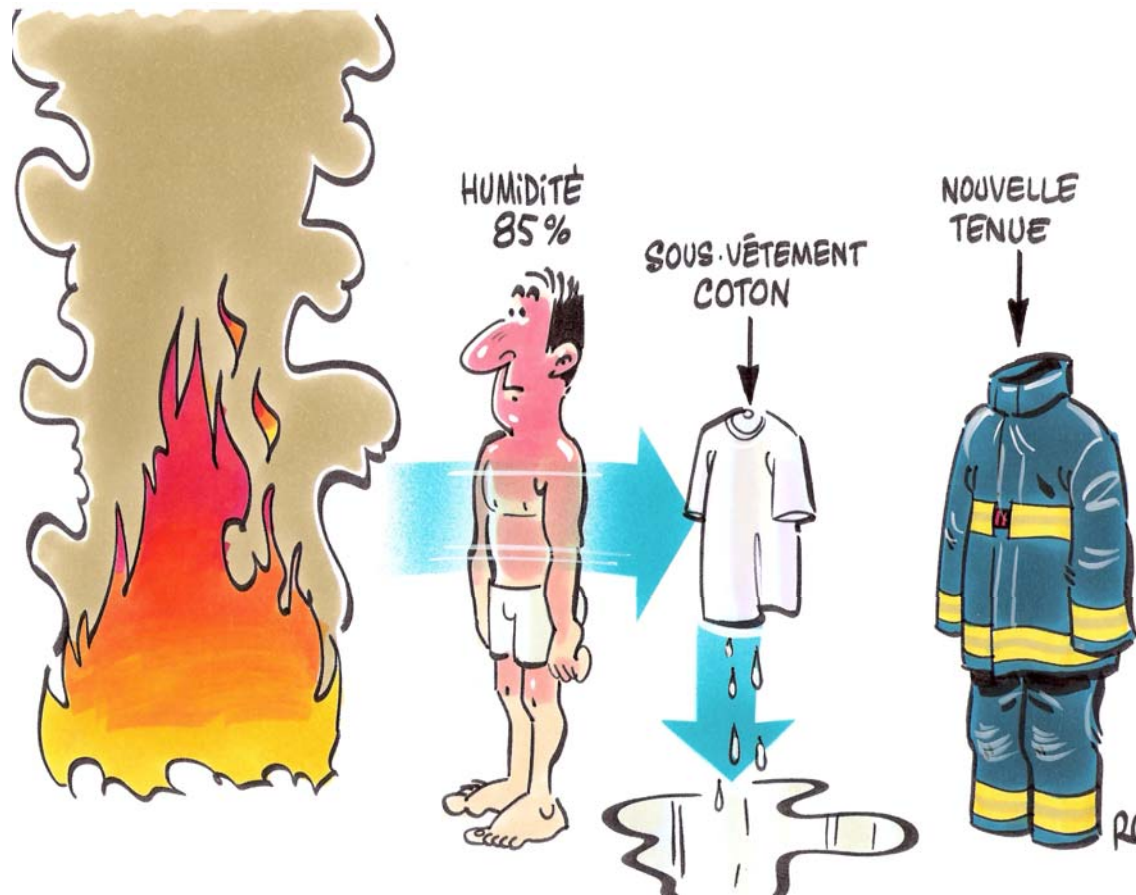
*Conclusions*

# *Mesures comparatives des caractéristiques intrinsèques du polo F1*





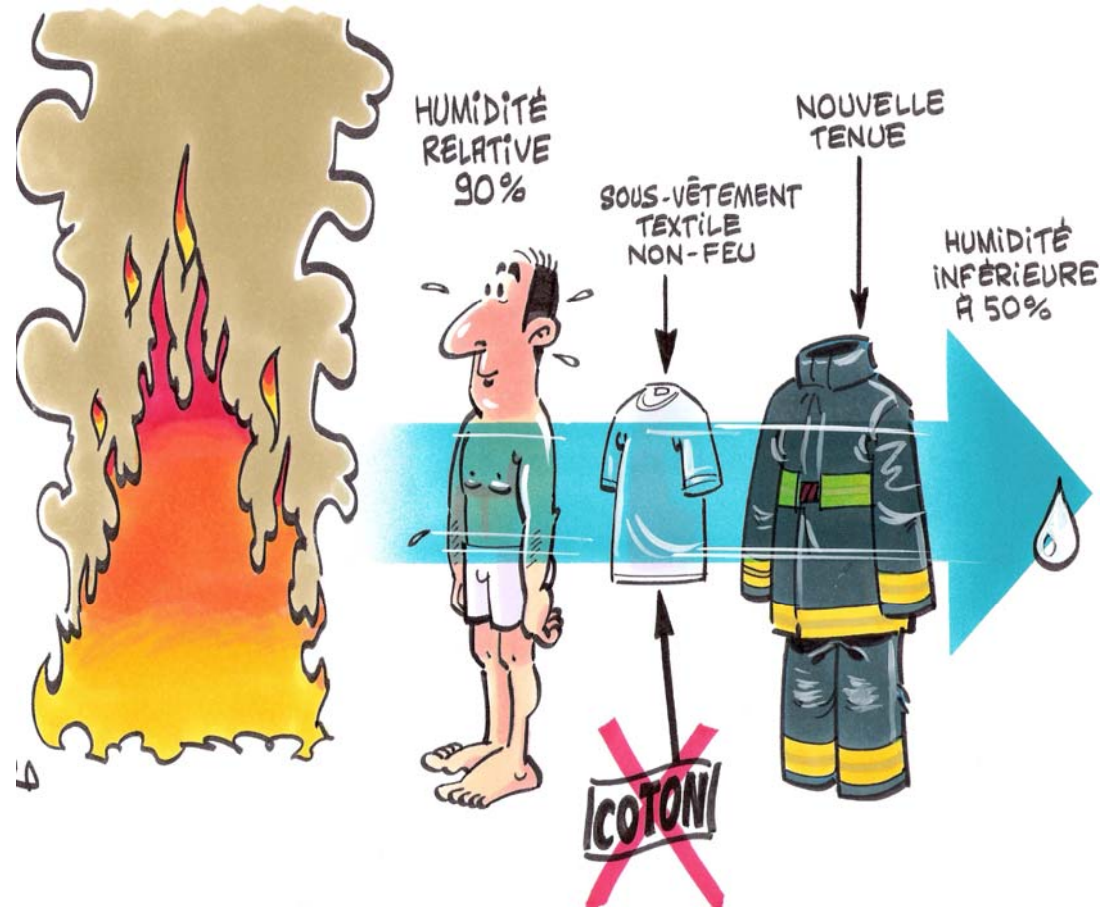
# Conclusions



*« Polo F1 » en coton, entrave les échanges thermiques entre le porte lance et son environnement.*



# Conclusions

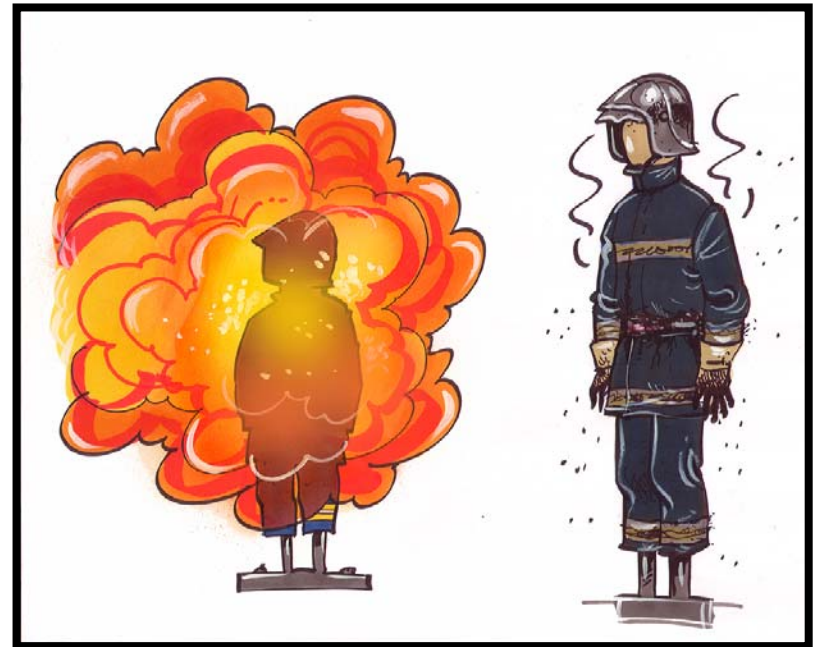
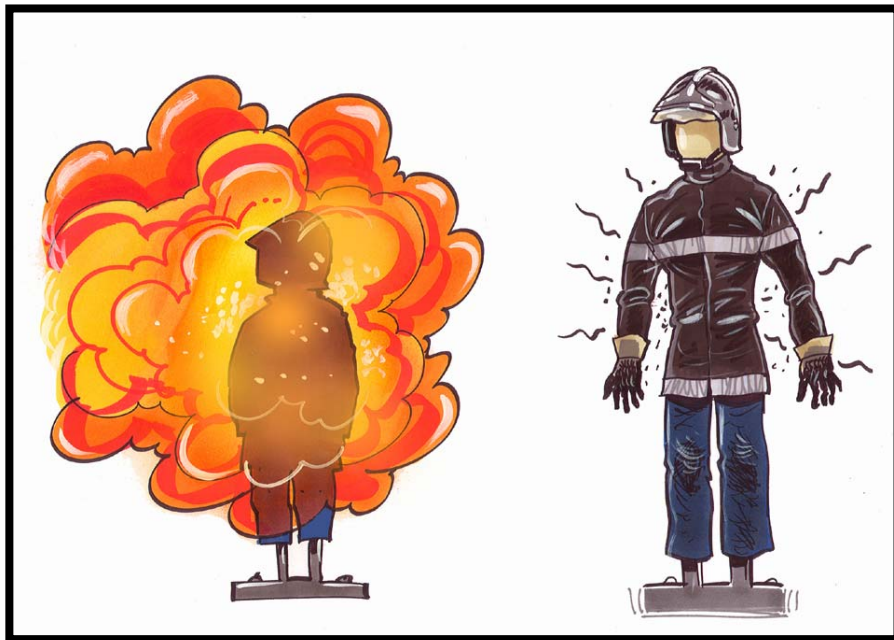


*Un « polo F1 » non feu et en tissus hydrophobe, permet le transfert de sueur du corps vers l'extérieur sous certaines conditions.*





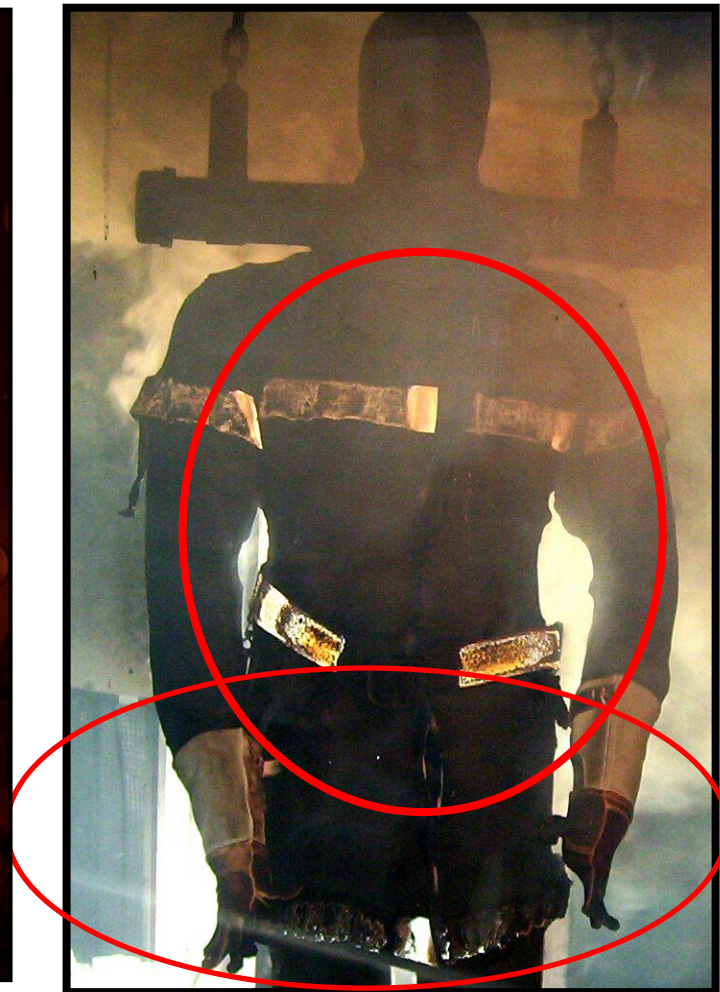
# *Comportement des tenues aux conditions extrêmes*



*Tenue soumise à environ 800°C pendant 8 secondes*



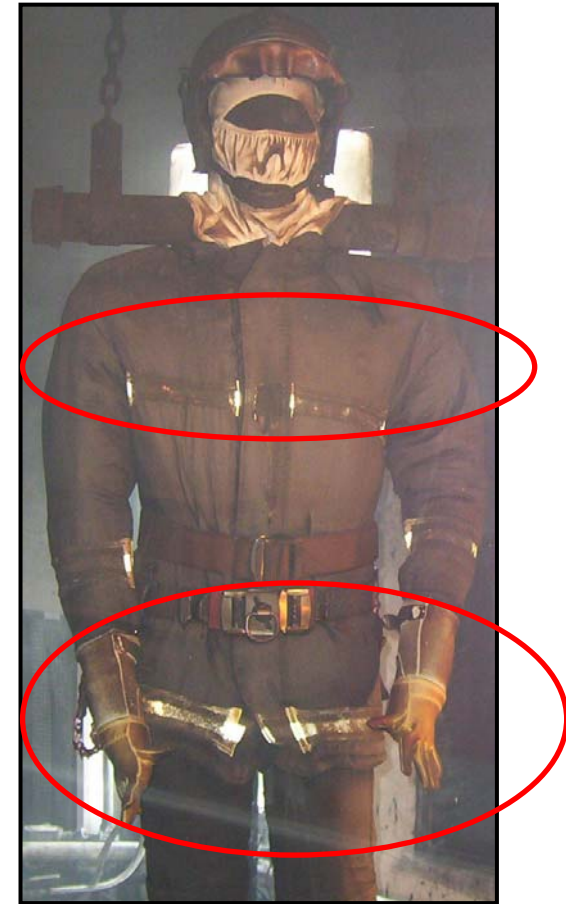
*Avant flash*



*Après flash*



*Avant flash*



*Après flash*





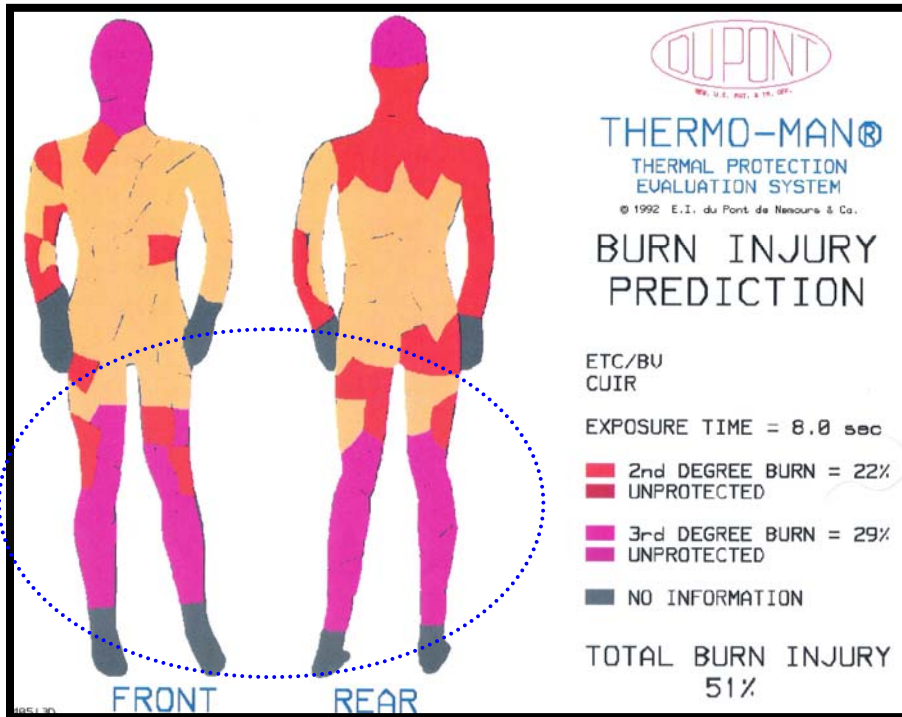


# *Etude comparée pour l'amélioration des gants*



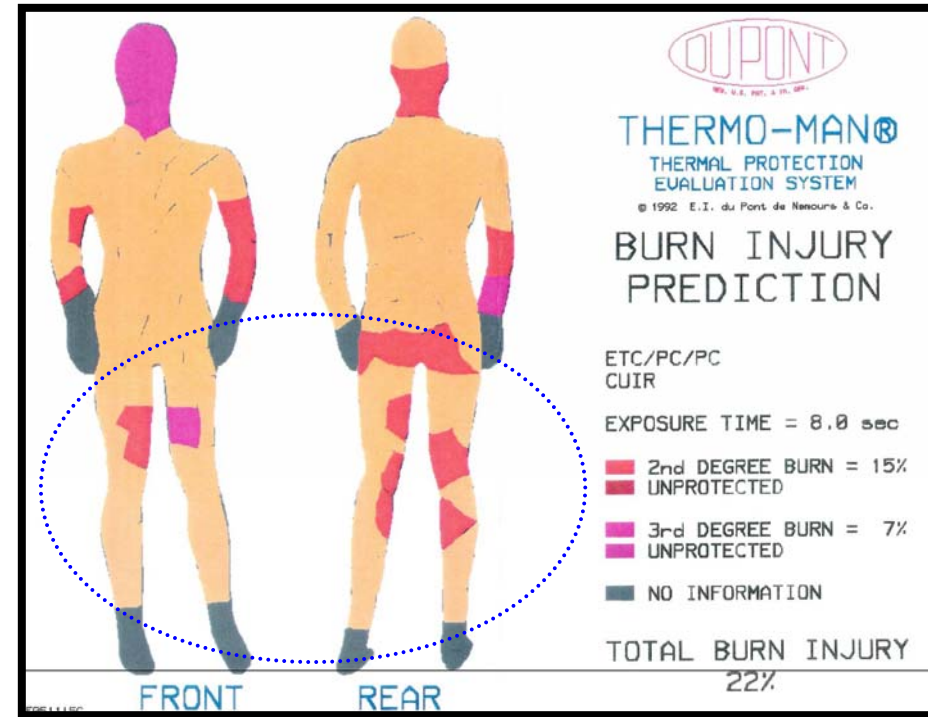


# Tests sur thermo-man : *protection avec et sans* *Veste en cuir* *surpantalon*



*sans surpantalon*

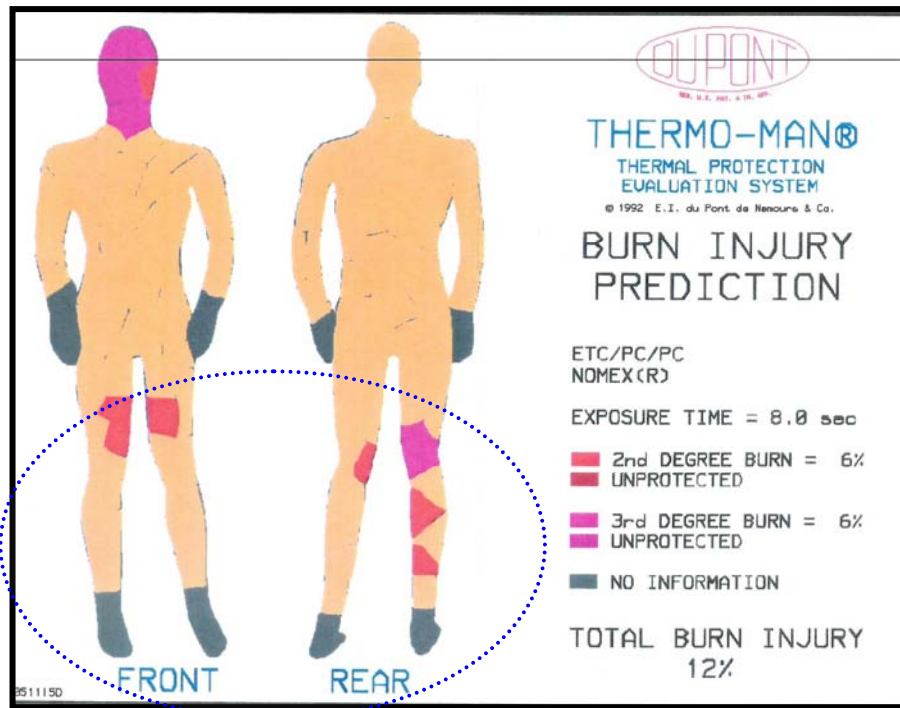
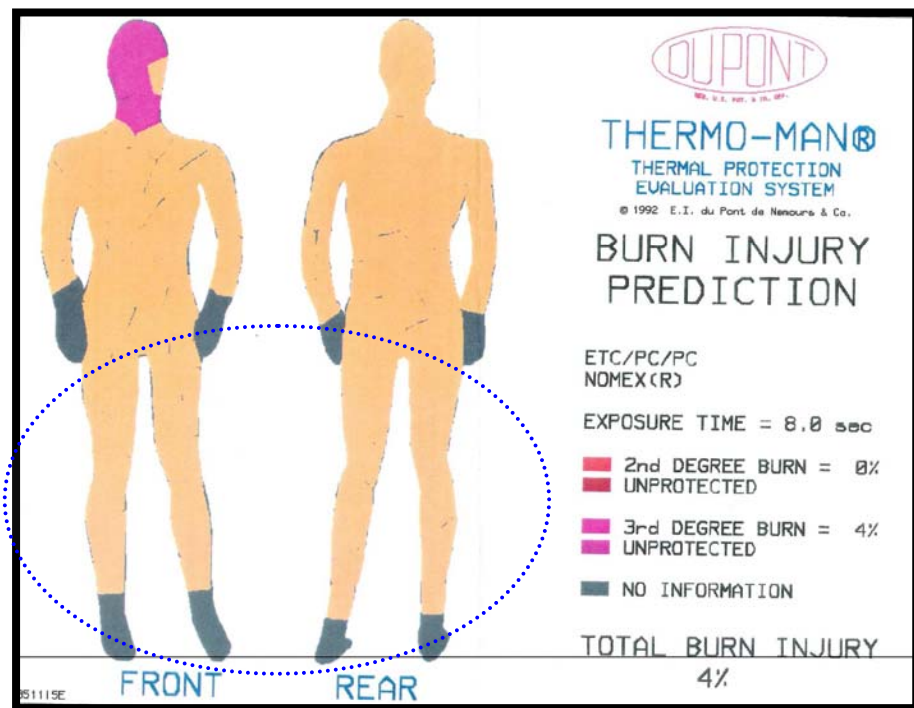
*« jusqu'à 30% de brûlures »*



*avec surpantalon*

*« moins de 15% de brûlures »*

# Tests sur thermo-man : protection avec et sans surpantalon



*Ensemble textile*

*« brûlures limitées »*

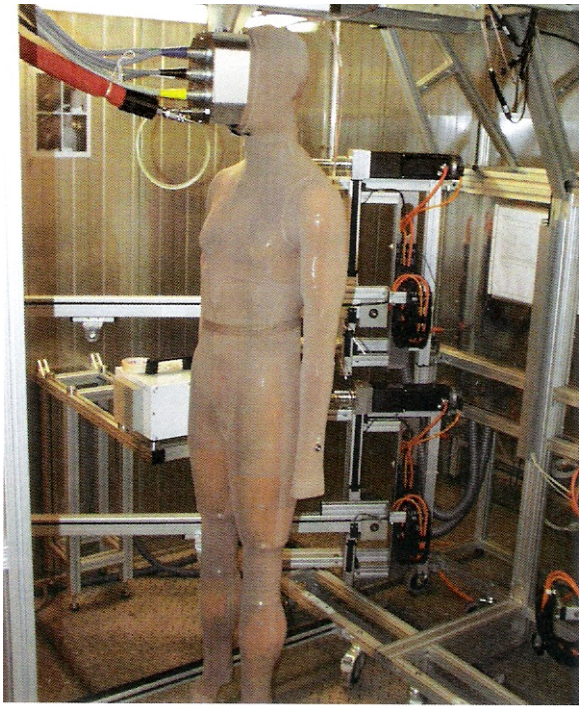


 *Brûlures aux jambes*



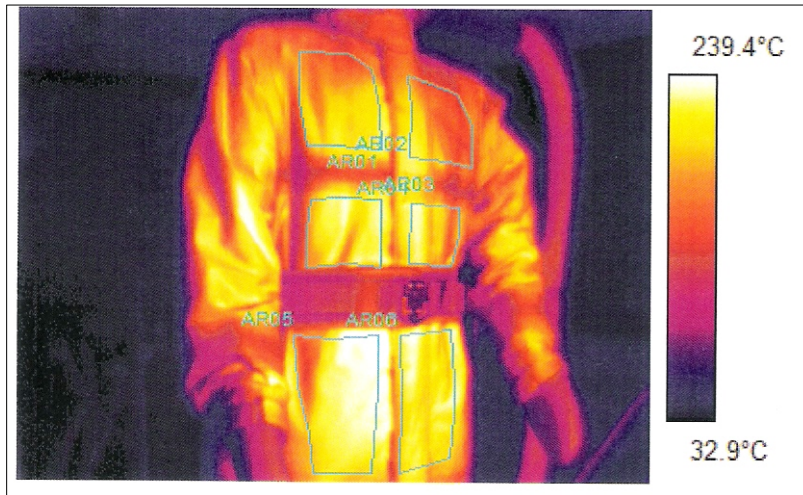


# *Mannequin transpirant articulé (EMPA)*



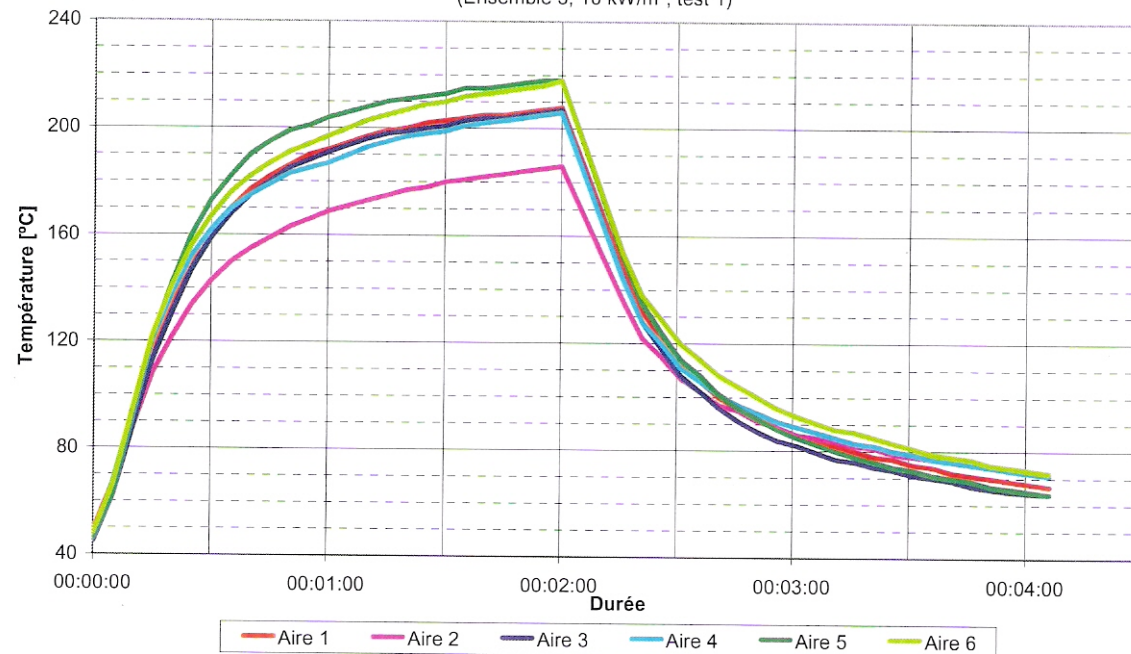


# Mesures avec caméra infrarouge



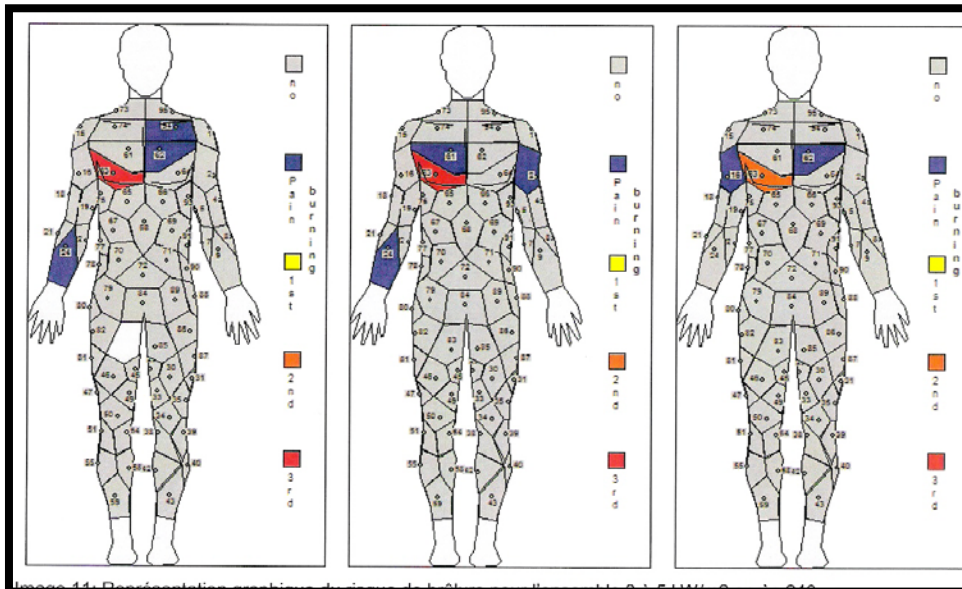
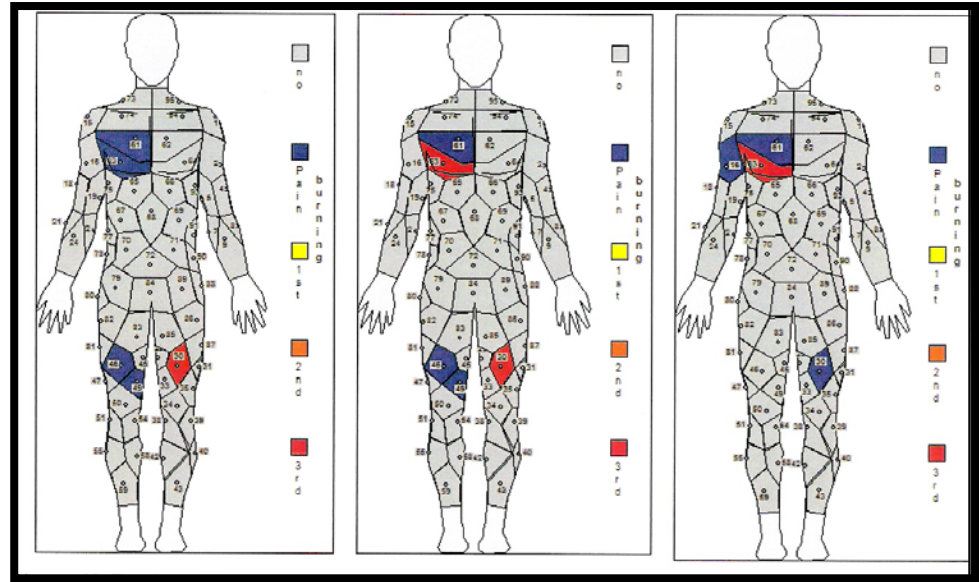
## Température moyenne en surface

(Ensemble 3, 10 kW/m<sup>2</sup>, test 1)



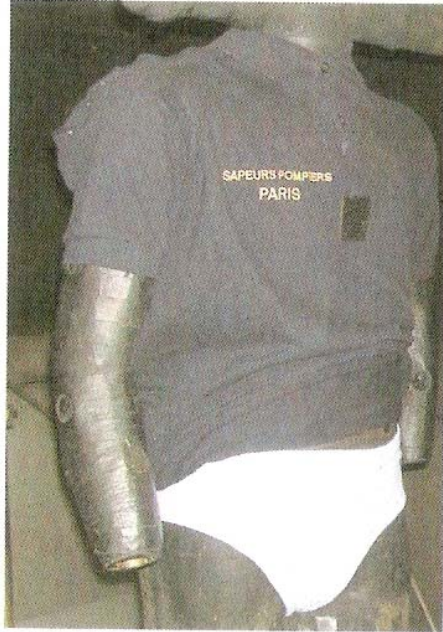
# Répartition des risques de brûlures pronostiqués par chaleur radiante

5 Kw/m<sup>2</sup> après 240 secondes

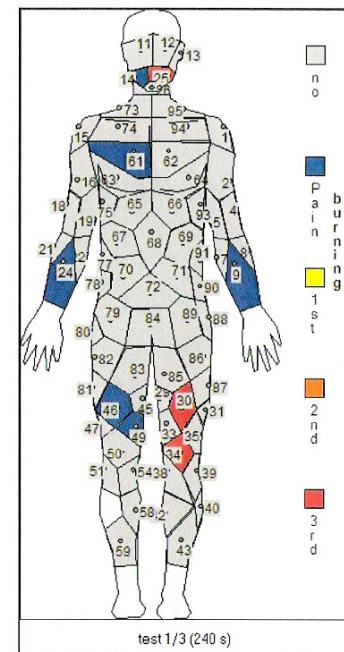
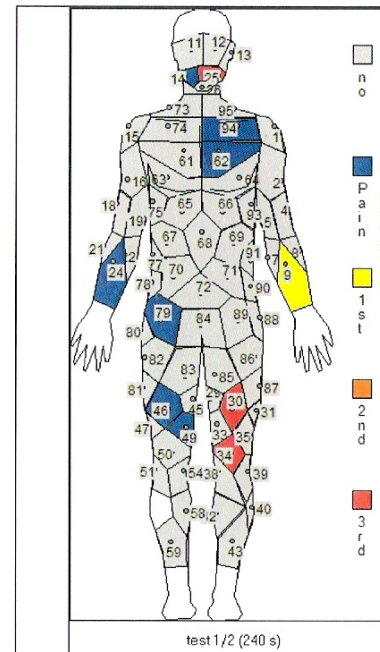
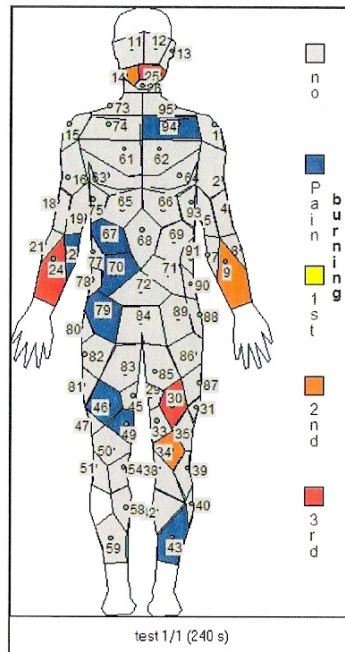




# Images ensemble E1



**5 Kw/m2 après 240 secondes**





## *Protocole*

*1<sup>ère</sup> étape :*

*Bilan des caractéristiques des équipements de protection individuelle en service à la Brigade*

*2<sup>e</sup> étape :*

*Simulation de scénarios réalistes (lois de bioéthique)*

*3<sup>e</sup> étape :*

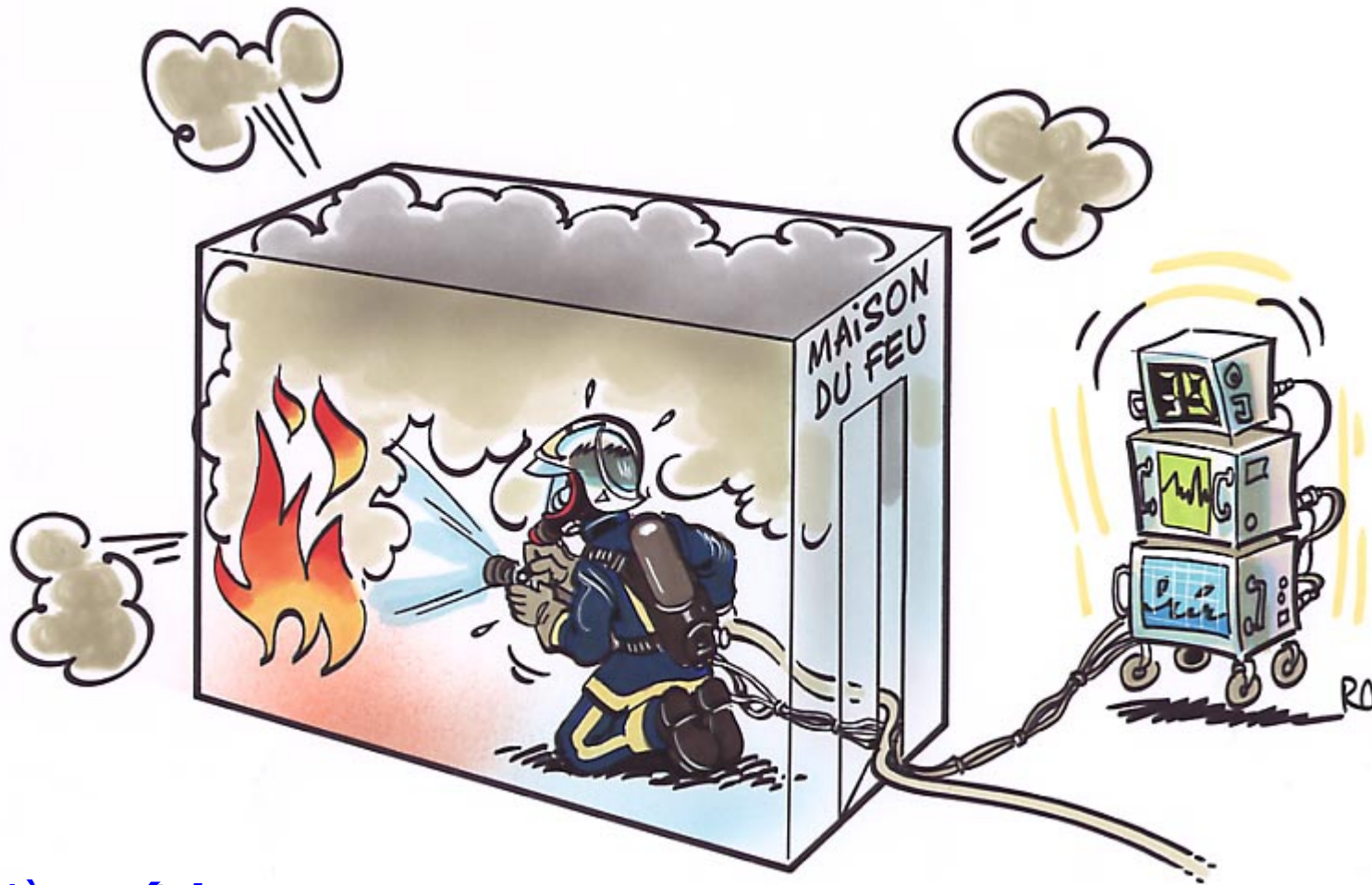
*Tests sur l'homme en laboratoire*

*4<sup>e</sup> étape :*

*Essais sur l'homme à la maison du feu*

*Conclusions*

# *Essais sur l'homme à la maison du feu*



**1<sup>ère</sup> série**



## Exemple de scénario source

### Feu de cage d'escaliers



A

B

C

D

*Avant alerte : Assis en tenue de base*  
*Départ des secours:*

*- se rendre à l'engin (20 m) (marche rapide)*

*- monter dans le véhicule*

*- s'habiller en tenue d'intervention*

*Position assise pendant 4 min.*

*- enfiler l'ARI*

*- descendre de l'engin et tirer le dévidoir sur 50 mètres, poser la division*

*- établir une lance au 2<sup>e</sup> niveau*

*- coiffer le masque et attaquer le feu (3 minutes)*

*- progresser vers le 3<sup>e</sup> niveau et attaquer le feu (jusqu'aux seuils d'alertes fixés)*

*- redescendre les escaliers, retour à l'engin*

*- retirer l'ARI*

*- rangement des matériels pendant 15 min*

*Retour au CS*





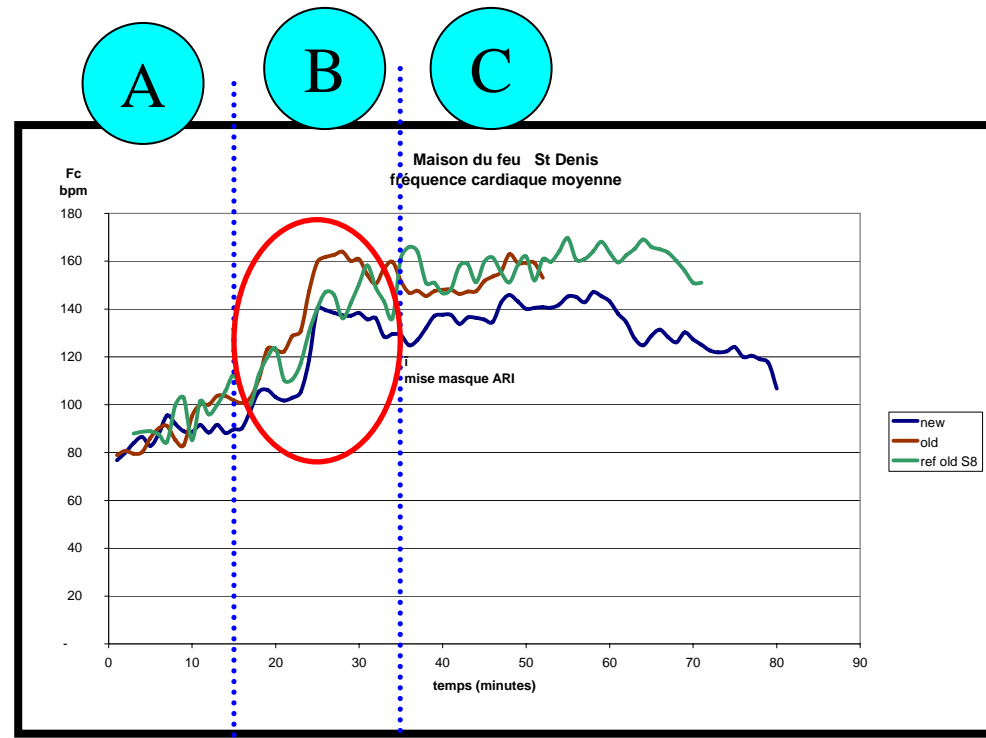
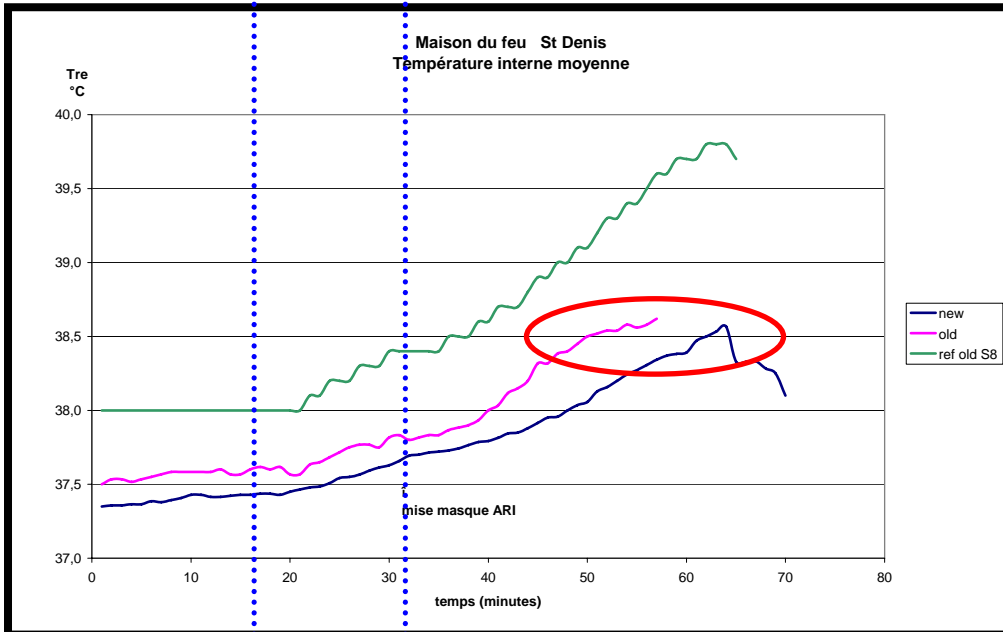
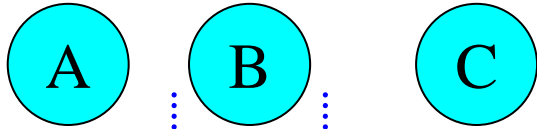
# Scénario « maison du feu »







# *température centrale*

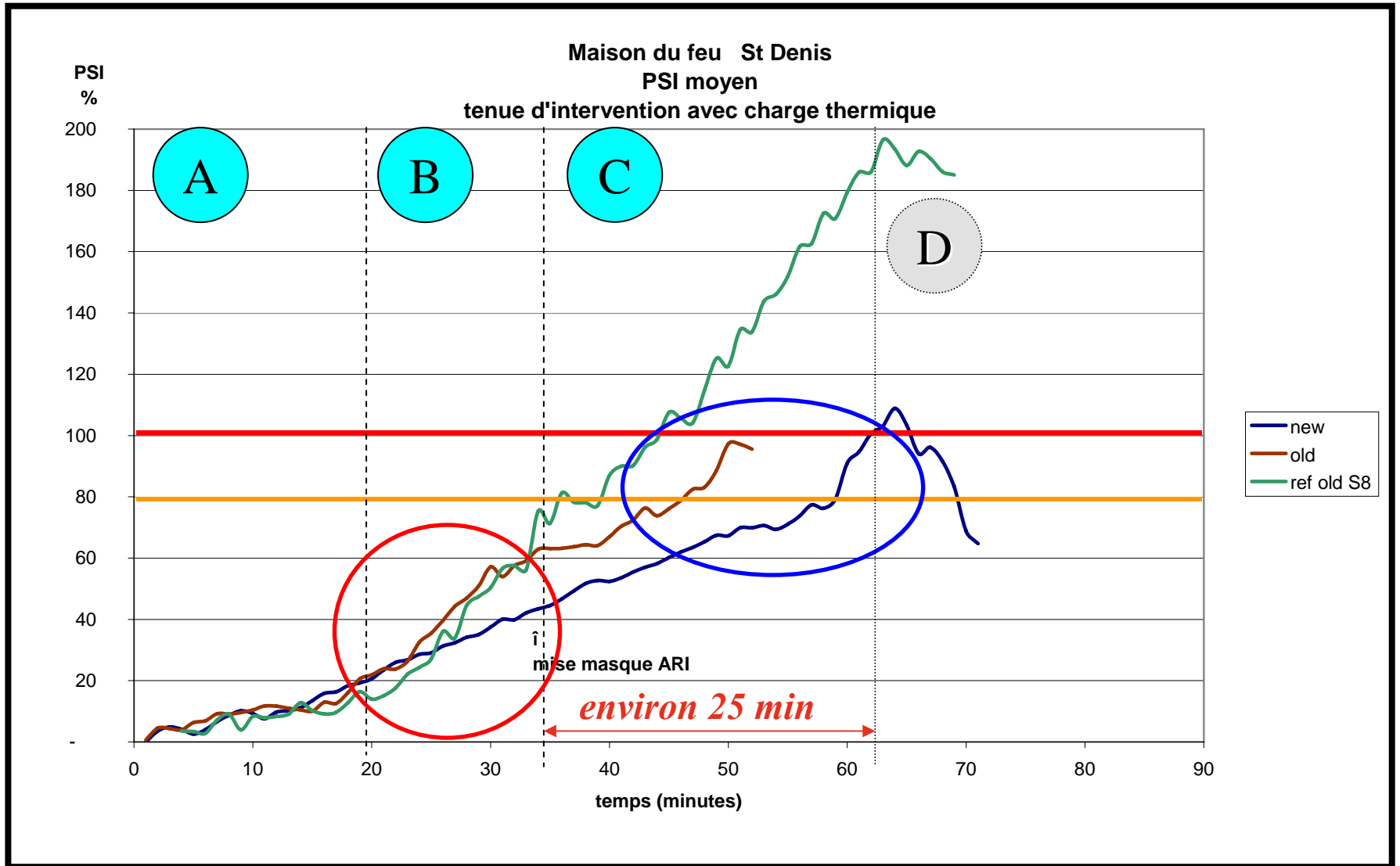


# *fréquence cardiaque*

*Les seuils de danger fixés sont atteints*



# Indice de « Contrainte »



# *Essais sur l'homme à la maison du feu*

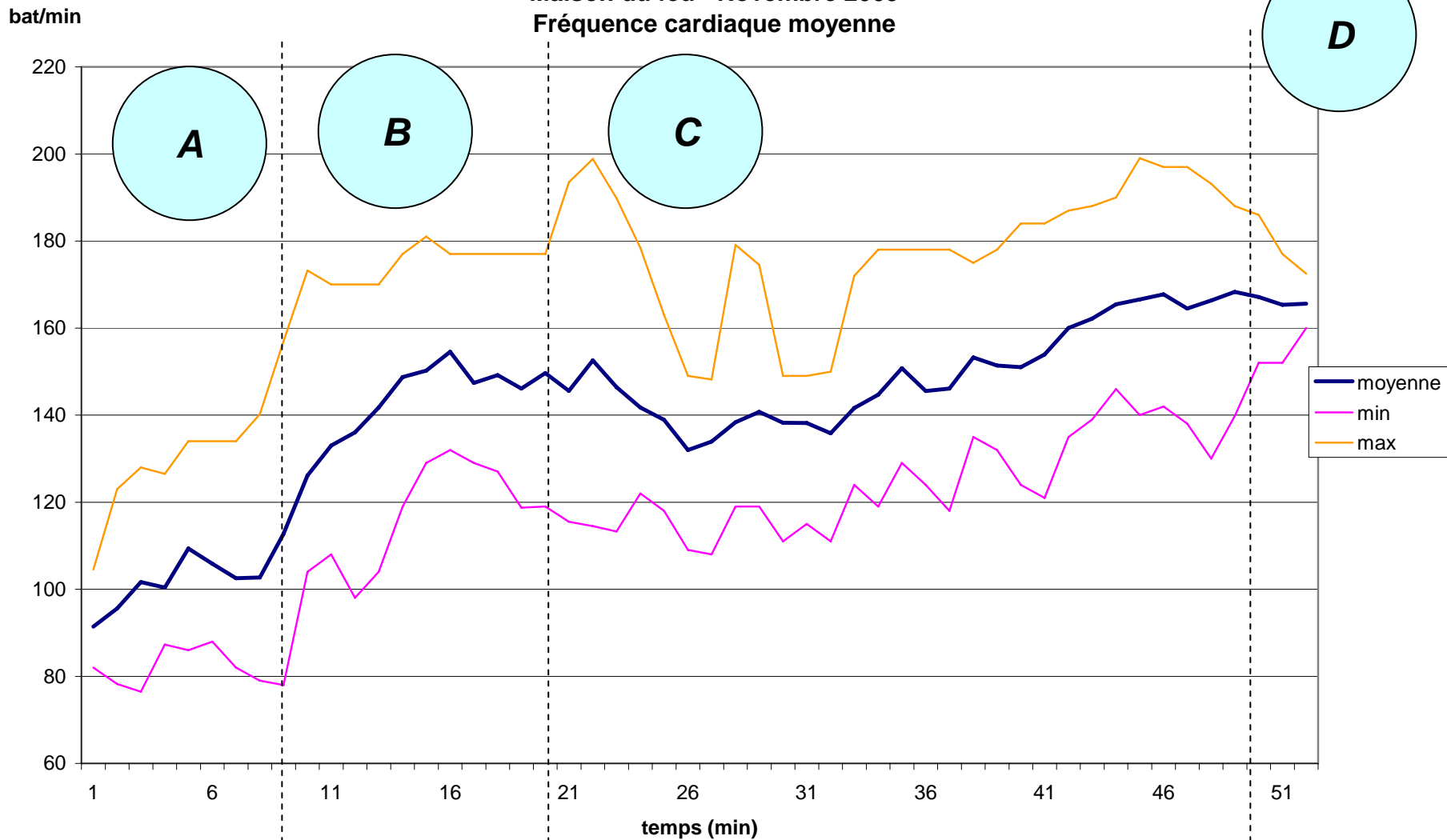


**2<sup>e</sup> série**



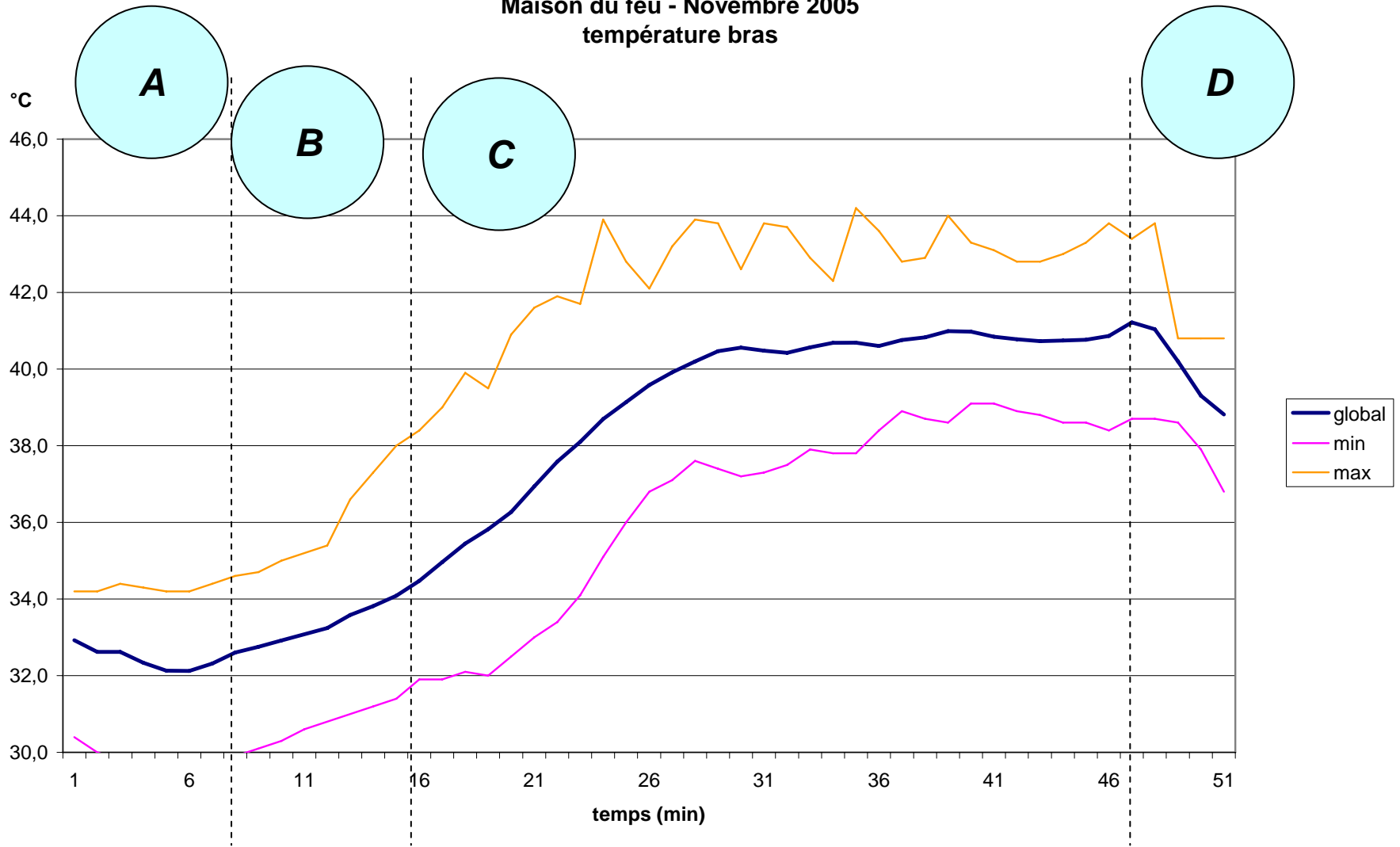


Maison du feu - Novembre 2005  
Fréquence cardiaque moyenne





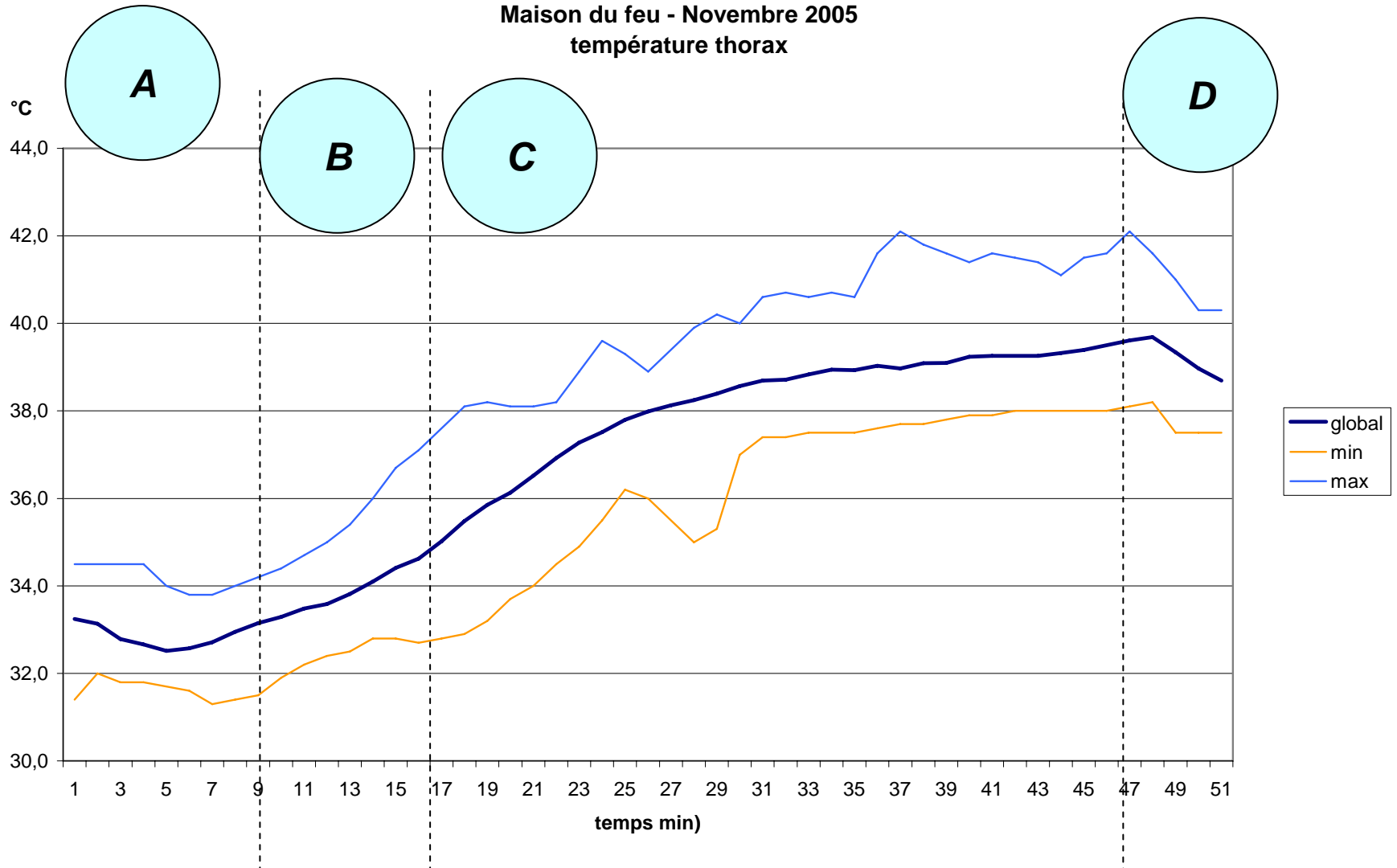
### Maison du feu - Novembre 2005 température bras

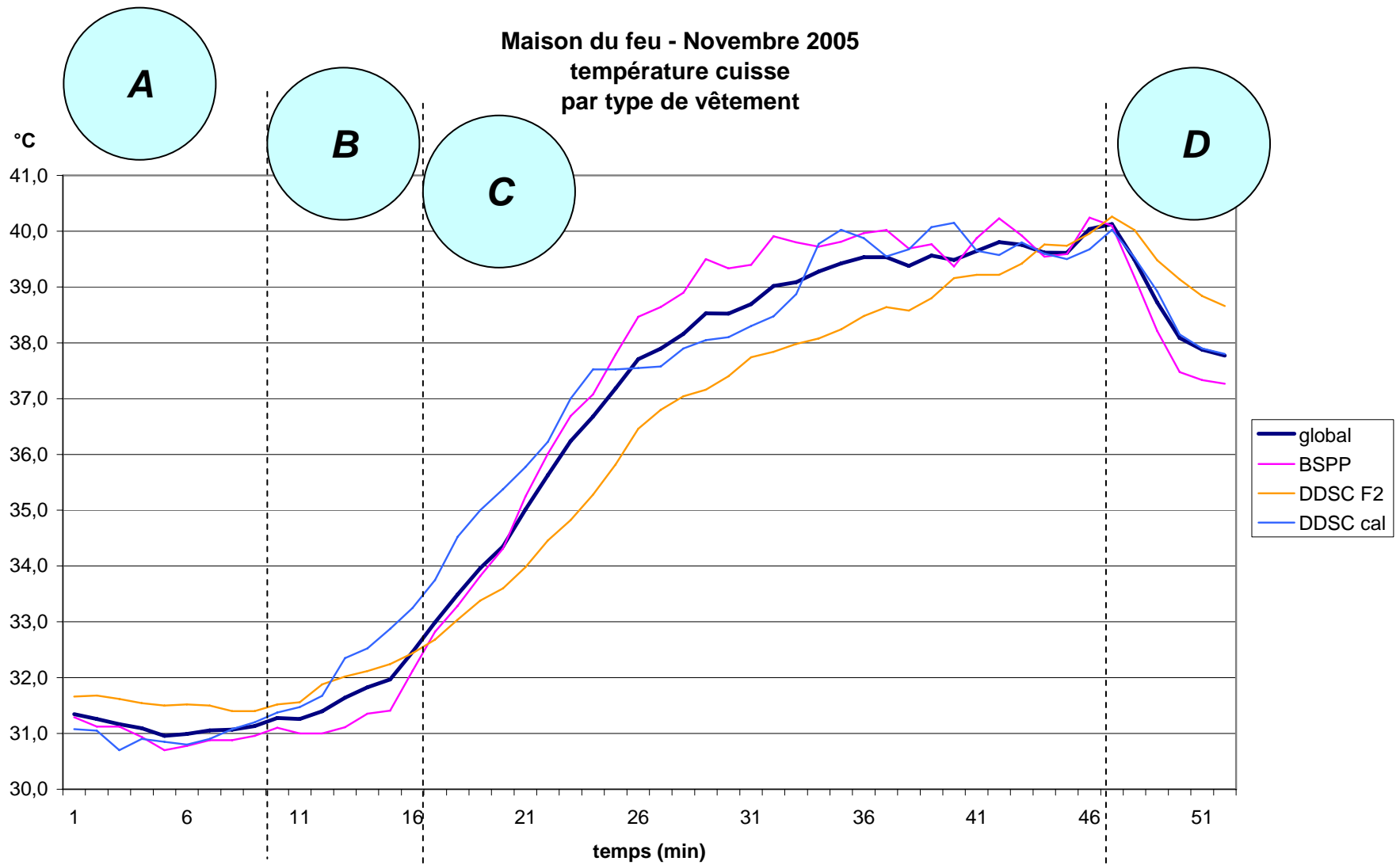






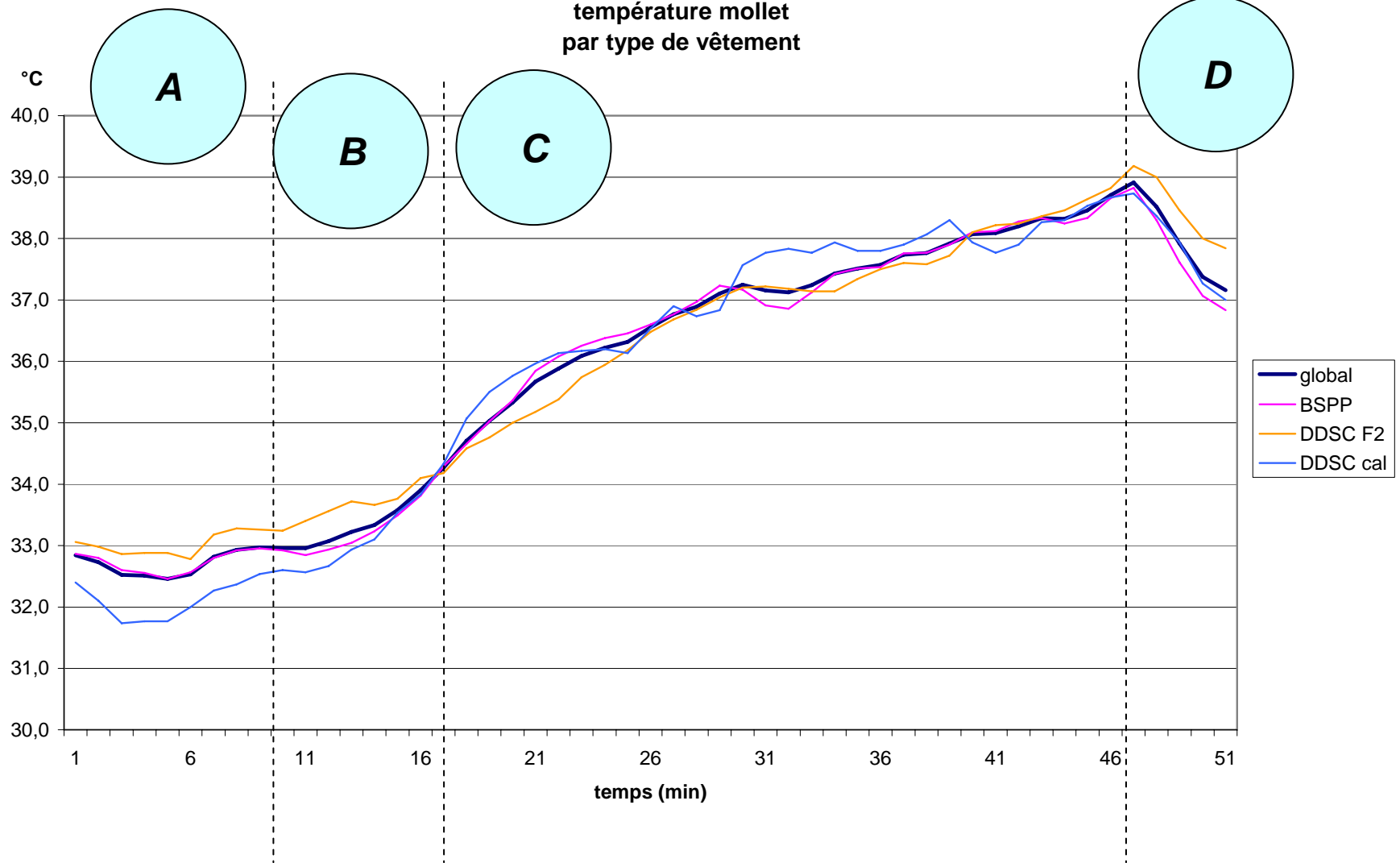
Maison du feu - Novembre 2005  
température thorax

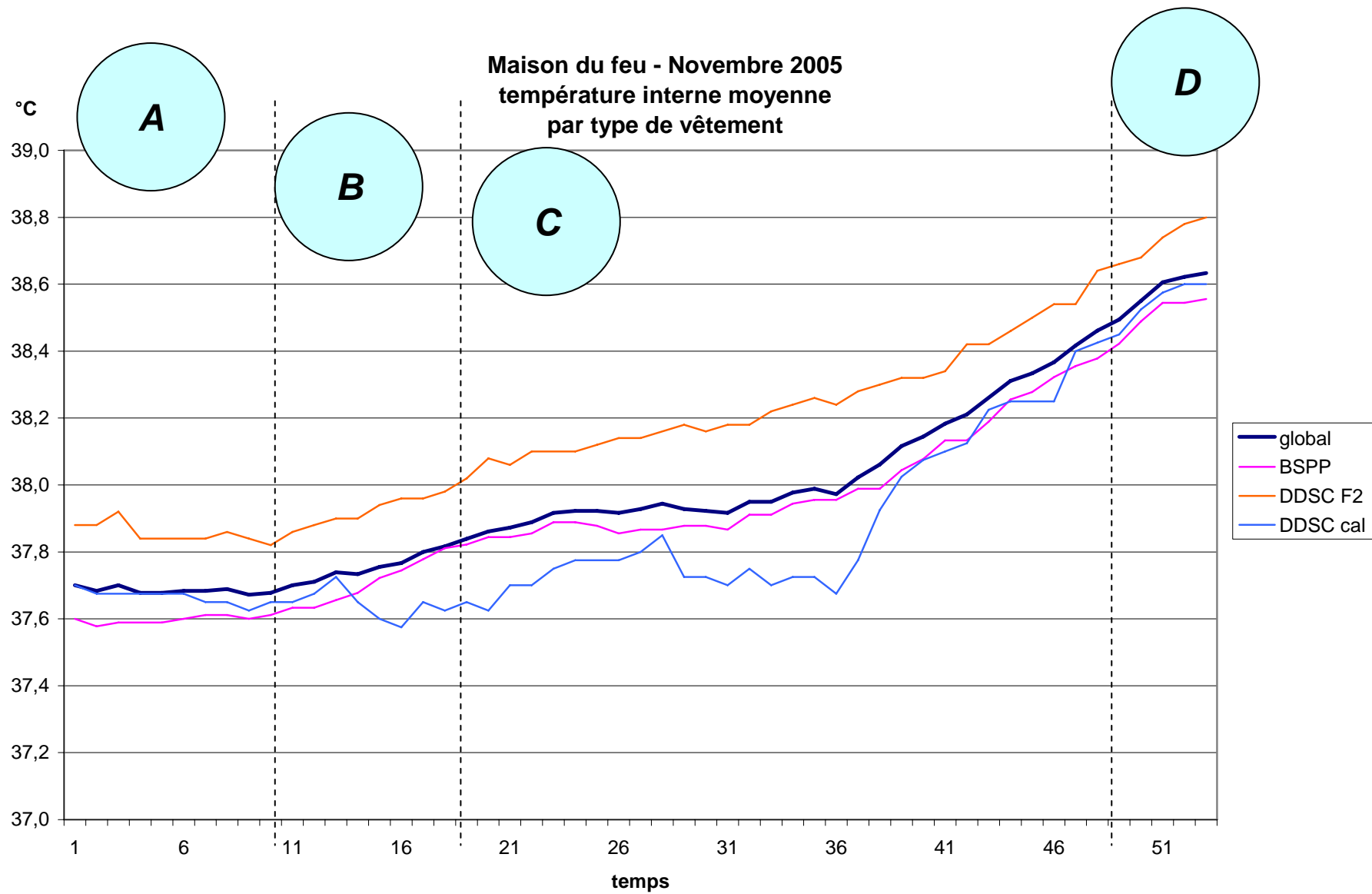






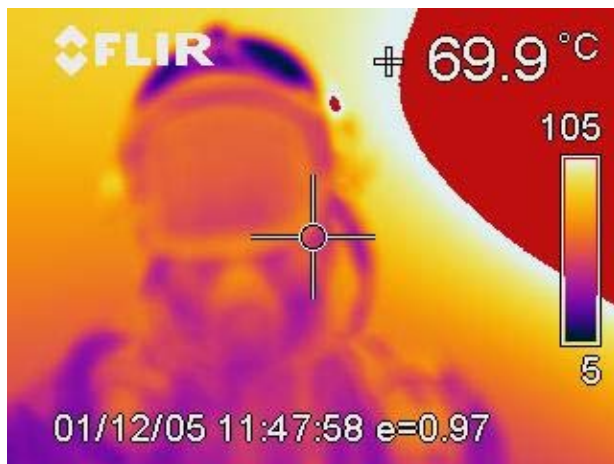
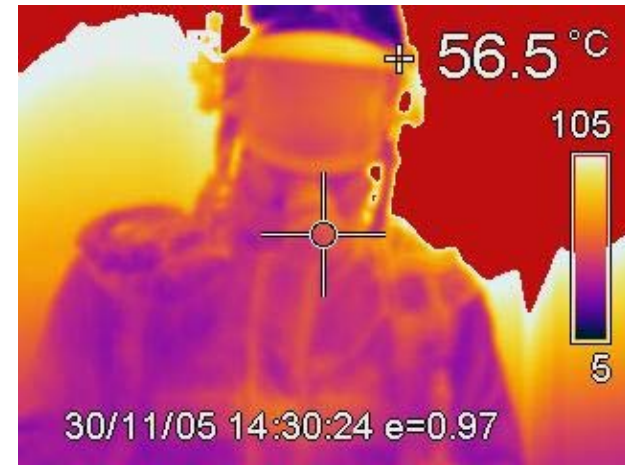
Maison du feu - Novembre 2005  
température mollet  
par type de vêtement







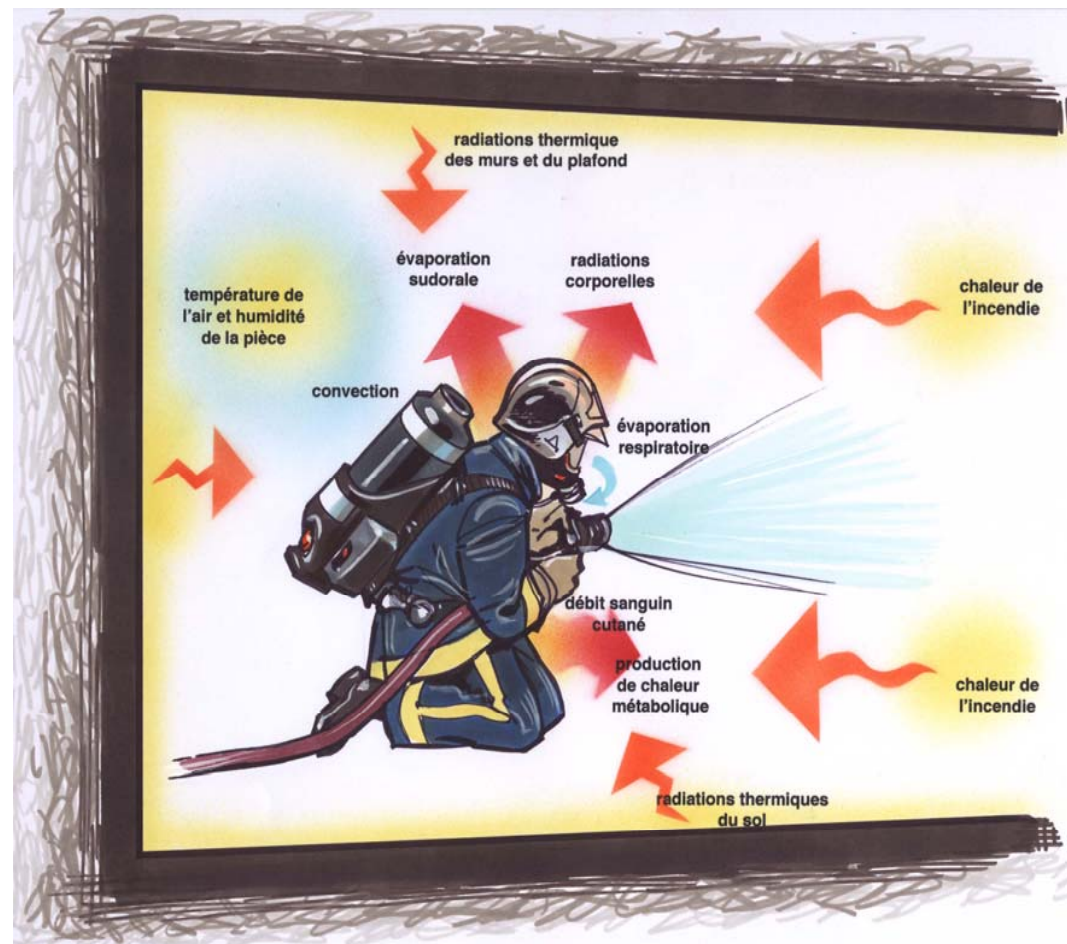
# *Relevés de températures à la sortie de la maison du feu*





# Équation du bilan thermique

- S** : bilan thermique
- M** : production de chaleur des oxydations cellulaires
- W** : flux énergétique correspondant au travail extérieur fourni par le corps
- C** : flux thermique échangé par convection
- R** : flux thermique échangé par rayonnement
- K** : flux thermique échangé par conduction
- C<sub>res</sub>** : flux thermique échangé par convection respiratoire
- E<sub>res</sub>** : flux thermique échangé par évaporation respiratoire
- E** : flux thermique échangé par évaporation cutanée

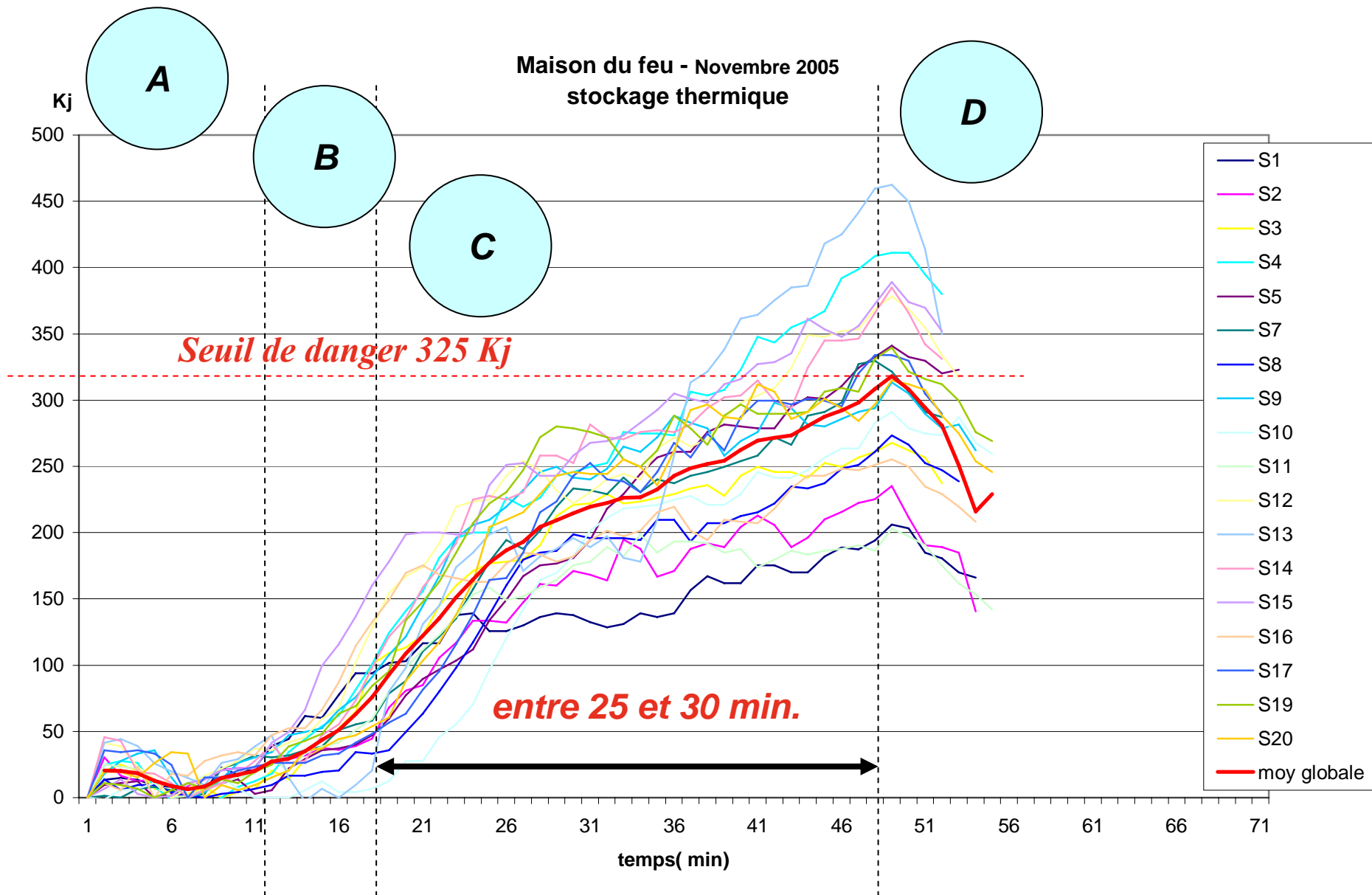


$$S = M - W - C - R - K - C_{res} - E_{res} - E = 0$$



*Stockage thermique = 0 (équilibre thermique)*

*Stockage thermique > 0 (du malaise au coup de chaleur)*





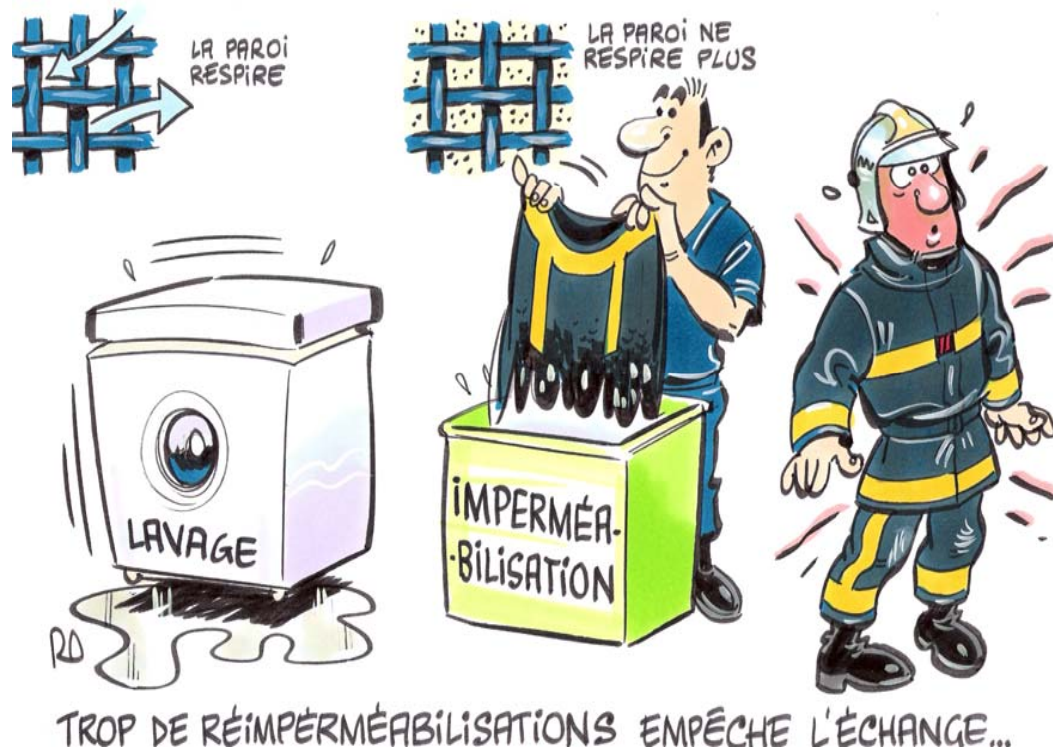


# Conclusions



*Pendant l'attaque du feu, en raison d'un taux d'humidité très élevé le transfert de sueur du corps vers l'extérieur est impossible.*

# Conclusions



***Les marquages et le port de l'ARI réduisent la surface d'échange thermique de la veste d'environ 37 % (1,1 m<sup>2</sup> à 0,67m<sup>2</sup>).***

***L'imperméabilisant peut boucher les pores de la membrane.***



*Dans des conditions d'attaque difficiles et longues, la surveillance du porte lance doit être améliorée en raison d'un risque de malaise à l'effort et/ou à la chaleur.*



# Conclusions

