



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

Approche ergonomique pour la spécification des limites d'emploi des tenues de protection

Dr B. Warmé-Janville



DÉLÉGATION GÉNÉRALE POUR L'ARMEMENT

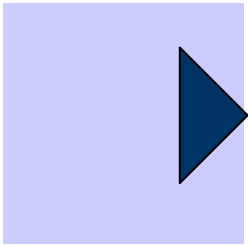
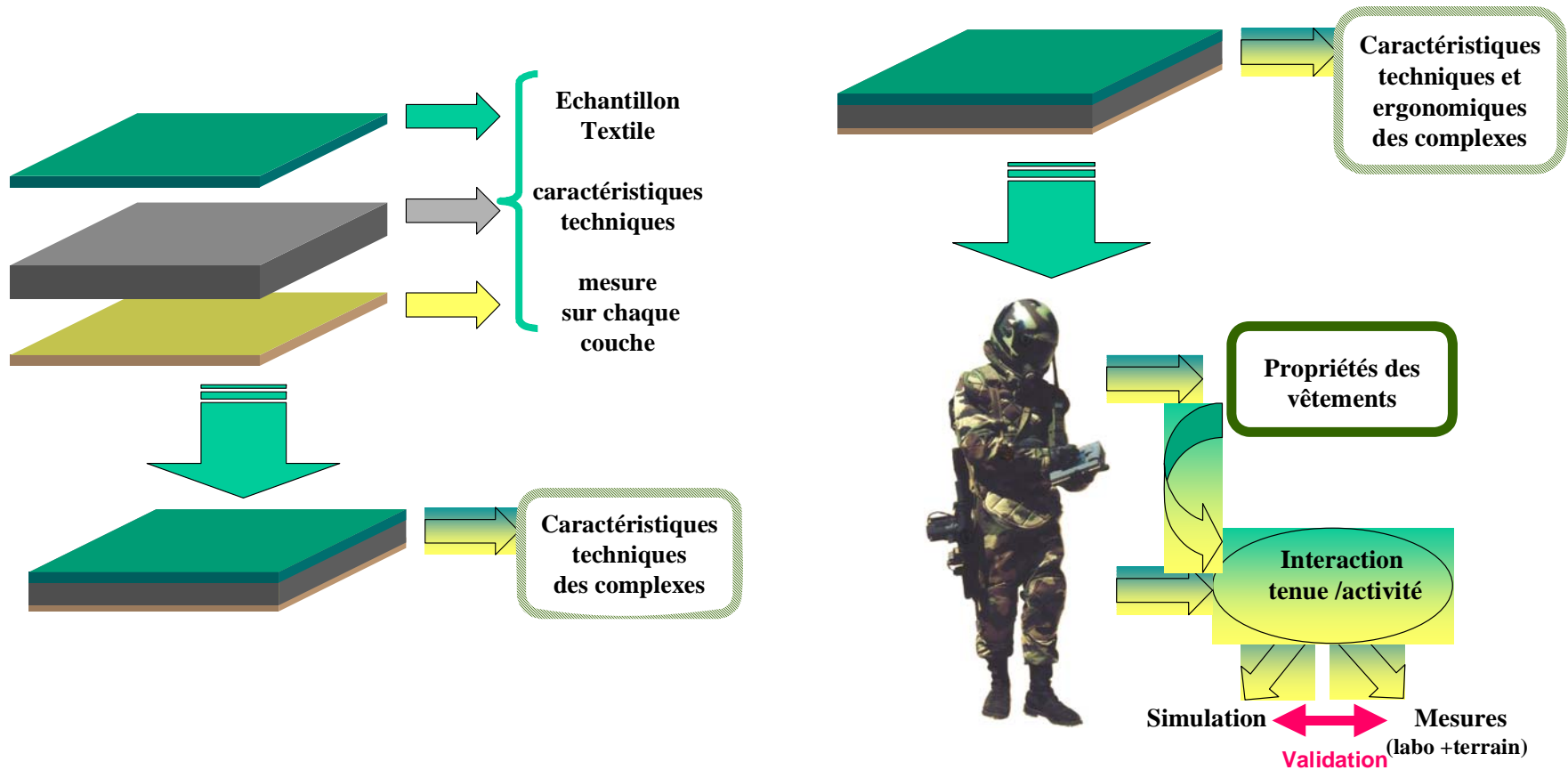
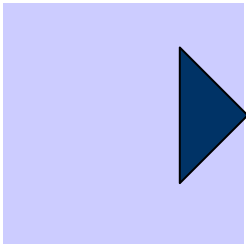


Schéma de la démarche





Méthodologie

Optimisation Ergonomie opérationnelle / Protection



Efficacité

Compromis

Vulnérabilité

Coût

Ce travail d'ergonomie commence par une démarche théorique de façon à rechercher les moyens et le meilleur compromis :

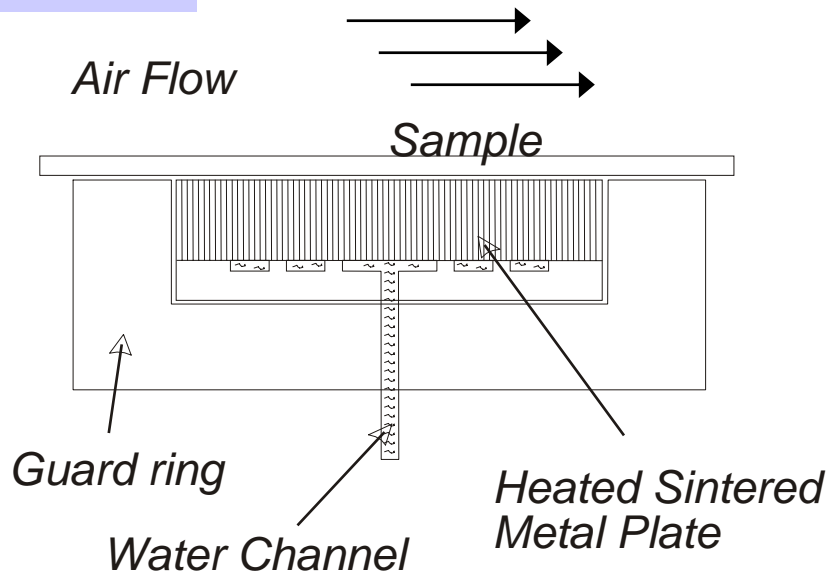
$$\text{Performance} = \frac{\text{Efficacité}}{\text{Vulnérabilité}}$$

Efficacité de la protection

Confort thermique



Test thermique : SKIN MODEL



Résistance thermique définie par :

$$R_c = (T_{skin} - T_{air}) / H_c$$

Résistance évaporative définie par :

$$R_e = (P_{skin} - P_{air}) / H_e$$

Indice de perméabilité défini par :

$$i_{mt} = \frac{(R_{ct}/R_{et})_{produit}}{(R_{ct}/R_{et})_{air}} = 60.R_{ct}/R_{et}$$

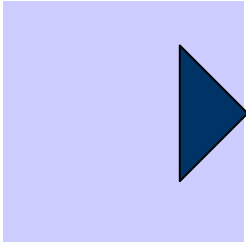
SFRP, La Hague, Septembre 2007

CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Diapositive N°4





Les outils de l'expert



- **les modèles numériques et informatiques**
- **les méthodes de simulation**
 - bancs de mesure
 - essais en laboratoire
 - essais sur le terrain
- **les bases de connaissance et d'expertise**
- **les banques de données**
- **l'expérience acquise et activité décisionnelle**



Mesures sur échantillons



Assemblage de couches textiles								
couche textile	épaisseur mm	masse surf. g/m ²	Pair l/m ² /sec (100 pa)	Padia %	Rct °k,m ² /W	Ret Pa.m ² /W	Pvap g/m ² /h	lmt
CI2C	1,1	280	1100	17	0,018	4,2		0,257
couche d'air	0,1				0,0037	0,222		1,00
complexe filtrant	1,2	280	1100	17	0,0217	4,4		0,29
tissu ext SCP sabl	0,3	175	235	10	0,010	2,3		0,26
complexe global	1,5	455	194	27	0,032	6,7		0,28
nota :lair=0,125 °k,m ² /W -->0,806 Clo			Iclo tenue TCNBC A		0,691			
couche textile	épaisseur mm	masse surf. g/m ²	Pair l/m ² /sec (100 pa)	Padia %	Rct °k,m ² /W	Ret Pa.m ² /W	Pvap g/m ² /h	lmt
B3 CPx	1	275	1107	28	0,017	4,2		0,24286
couche d'air	0,1				0,0037	0,222		1,00
complexe filtrant	1,1	275	1107	28	0,0207	4,4		0,28
tissu ext SCP Fr	0,3	206	162		0,010	2,3		0,26
complexe global	1,4	481	141		0,031	6,7		0,27
			Iclo tenue TCNBC Fr		0,669			





Systemes d'evaluation par simulation



Méthodologie EDYPE :

Evaluation DYNamique de la Perte d'Efficacité

Modules simples de simulation :

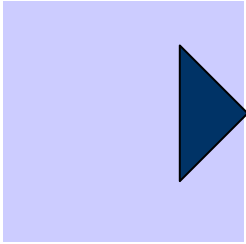
- Evaluation des performances liées au port de complexes multicouches NRBC,
- Prévion des caractéristiques globales d'une tenue NRBC (aspect physiologique),
- Evaluation de la charge de travail pour des scénarios élémentaires,
- Evaluation de la durée limite d'utilisation d'un EPI,
- Evaluation de l'apport d'une assistance thermique individuelle,
- Evaluation de la débitmétrie et de la dosimétrie durant une mission sous menace NR (concept LLR),

Base de données

Scénarios de mission, charges de travail des actes élémentaires,

Paramètres techniques des équipements de protection.





Principaux paramètres étudiés



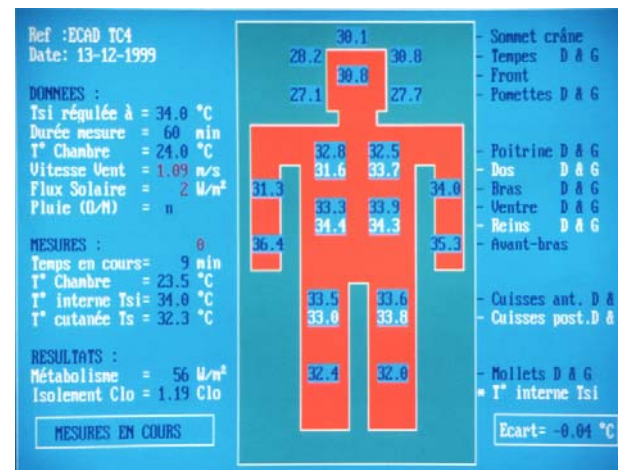
- **Paramètres techniques (Laboratoire)**
 - Index d'isolement (Clo)
 - perméabilité à l'air et à la vapeur d'eau (sueur)
 - facteur de protection (tests OTAN, SD, Sanatex, flamme...)
 - ➔ matériel neuf et après emploi
- **Test sur l'homme en laboratoire (sujets volontaires et éclairés)**
 - tests physiologiques avec le CRSSA (limites de sécurité avec IPE)
 - dextérité manuelle et sensibilité tactile (gants)
 - transmission de la voix (intelligibilité de la parole)
 - nombreux tests du domaine Facteurs Humains et ergonomie
- **Evaluation sur le terrain avec un groupe de combat ou une compagnie**
 - en France
 - outre-mer, en ambiance tropicale

Mannequin thermique ARSENE



Caractéristiques techniques :

- chambre climatique
 - Ta : 15-55°C
 - vitesse de l'air : 0,2 - 2 m/s
- Mannequin instrumenté
 - puissance de chauffage régulée (0 - 200 W/m²)
 - 24 capteurs thermiques de peau simulant l'aspect thermique humain (temp interne 37°C, temp de peau 34°C)



Logiciel de commande et de mesure
LAMA&CEB version 3.1 (juin 2007)



Mannequin instrumenté transpirant



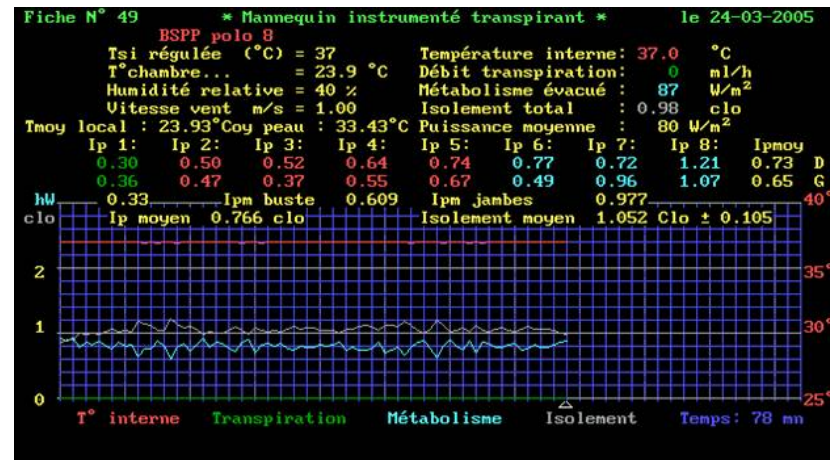
Caractéristiques techniques :

➤ chambre climatique

- Tair : -15 - 85°C hygrométrie 10% - 95% Hr
- vitesse de l'air : 0,2 - 3 m/s

➤ Mannequin transpirant instrumenté :

simule l'aspect thermique
et la sudation humaine
puissance de chauffage interne
(0 - 1000 W/m²)
température interne 37 °C
température de peau 28- 36°C



Logiciel de commande et de mesure

LAMA&CEB version 3.0 (2007)
SFRP, La Hague, Septembre 2007



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Diapositive N°10



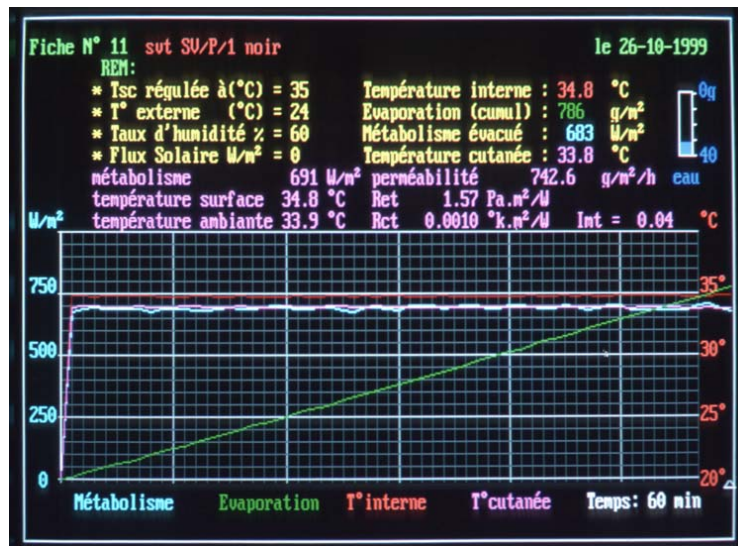
Main transpirante instrumentée



Evaluation de l'isolement thermique et du débit sudoral de la main pour tout types de gants

Caractéristiques techniques :

Main transpirante instrumentée :
puissance de chauffage interne
(0 - 800 W/m²)
simule la sudation humaine
et l'aspect thermique
(température de peau 34°C)



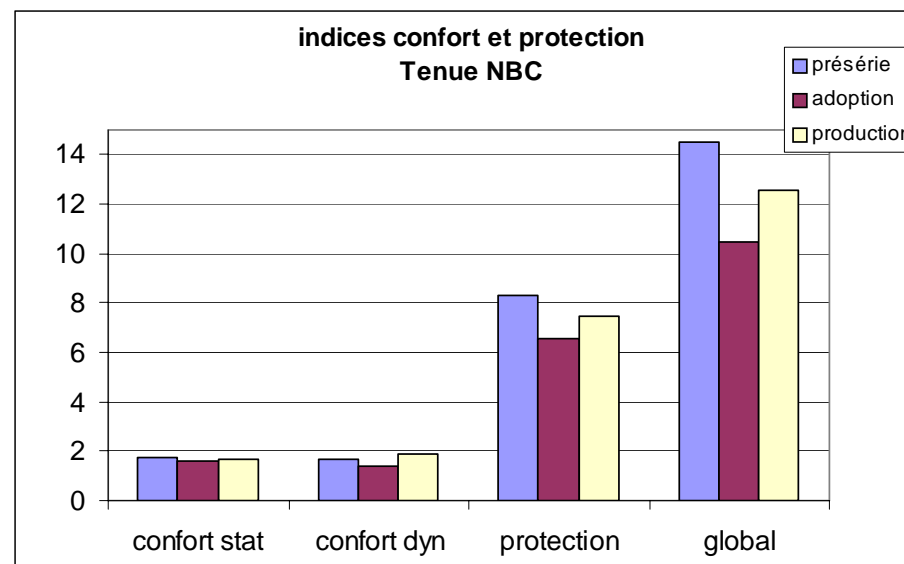
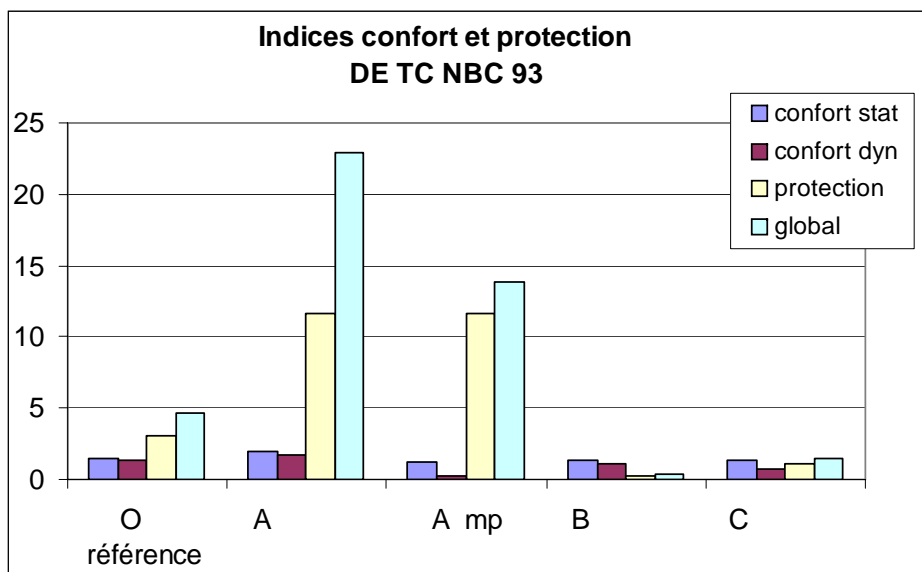
Logiciel de commande et de mesure
LAMA&CEB version 2.0 (1999)



Indices de confort et de protection



Type de tenue de combat NBC		Isolement (Clo)			perméabilité		masse surf N&V g/m ²	poids kg	SD heures	Sanatex g/cm ² /24h	indice confort stat	indice confort dyn	indice protection	indice global
		0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s	air l/m ² /s	vap g/m ² /h								
Tenue sable r	O référence	0,73	0,70	0,67	118	201	286	1,79	7,75	2,1	1,5	1,3	3,1	4,7
TCNBC bario	A	0,71	0,70	0,68	108	258	287	1,71	7	0,5	2,0	1,7	11,7	22,9
TCNBC bario	A mp	0,85	0,82	0,79	5	182	290	1,79	7	0,5	1,2	0,2	11,7	13,8
TCNBC bario	B	0,81	0,72	0,67	118	175	356/342	1,91	3,5	10,6	1,3	1,1	0,3	0,4
TCNBC bario	C	0,79	0,75	0,69	62	187	288/254	1,72	6,2	4,5	1,3	0,7	1,1	1,5





Le modèle de la norme ISO 7933



Le modèle de simulation utilisé est celui de la norme ISO 7933, basé sur la méthode de la sudation requise.

Il prend en compte les paramètres suivants :

- **les caractéristiques d'un sujet de référence (Homme ou Femme),**
- **l'ambiance thermique et hygrométrique du lieu d'intervention,**
- **la charge de travail de l'opérateur (scénario),**
- **les caractéristiques de l'équipement de protection utilisé.**

Le résultat calculé, pour un niveau de risque donné dans cette ambiance thermique, est la durée limite d'exposition (DLE) à cette situation.

définition des limites possibles et des risques



- la limite tolérable est définie par la température interne :
 - soit en valeur absolue (Tre),
 - soit sa variation par rapport à la température initiale (Dtre)

Niveau	Tre °C	Dtre °C	Stockage Kj	référence
alarme	37,8	0,8	180	ISO 7933
danger	38,0	1,0	315	ISO 7933
danger DL 25	38,5	1,5	325	ISO 9886
danger DL 50	39	2,0	430	OTAN et ISO 9886
Danger DL 75	39,5	2,5	540	US-ARIEM

Ce qui correspond à un stockage thermique, non compensé par l'évaporation de la sueur. A ces valeurs sont associées des probabilités de risques de coup de chaleur.



Simulation de la contrainte physiologique, Evaluation de la charge de travail



- Les références de charge de travail sont issues d'une compilation de différents documents et reprise dans le manuel d'ergonomie militaire.
- La formule de calcul dynamique (Berlin & Goldman 1975) a été validée par l'OTAN (1977) ainsi que par le CRSSA (2002),
- Le CEB l'utilise depuis 1987 pour la préparation de ses essais en laboratoire et sur le terrain.

$$M(w) = 1,5 W + 2(W+L) (L/W)^2 + \eta (W+L) (1,5v^2 + 0,35 v.g)$$

avec

M = coût énergétique total (w)	W = masse corporelle (kg)
v = vitesse de marche (m/sec)	L = charge portée (kg)
η = facteur de terrain	g = pente en %

Dépense énergétique au cours d'actes élémentaires



juil-2002

Dépense énergétique au cours d'actes élémentaires								
		1 kcal/h = 1,16 W	1 met = 58 W/m ²					
		1 l/min O ₂ = 335,5 W	23 l/min V _{resp} = 1 l/min VO ₂					
Situation	type d'activité	dépense énergétique				respiration	VO ₂	source
		kcal/h	Watts	W/m ²	met	débit (l/min)	l/min	
Repos	sommeil	60	70	39	0,7	4,8	0,21	Ergo SSA
	debout détendu	105	120	67	1,1	8,2	0,36	
	s'habiller	156	181	101	1,7	12,4	0,54	Consolazio 70
	manger assis	90	104	58	1,0	7,2	0,31	Consolazio 70
marche	terrain plat 4 km/h	180	210	117	2,0	14,4	0,63	
	descendre un escalier	428	496	276	4,8	34,0	1,48	Consolazio 70
	monter un escalier	1115	1293	719	12,4	88,7	3,86	Consolazio 70
	monter la garde	115	130	72	1,2	8,9	0,39	
marche	opérateur radio	200	240	133	2,3	16,5	0,72	
	paquetage 15 kg et fusil	410	475	264	4,5	32,6	1,42	
	patrouille de surveillance	155	180	100	1,7	12,3	0,54	
décontaminatic	détection zone contaminée						0,8-1,0	Rodhal 1974
	décontamination véhicule avec jet sous pression						1,2 - 1,7	Rodhal 1974
secours	brancardage sur route avec ble	405	465	258	4,5	31,9	1,39	
conduite	conduite auto, trafic intense	190	220	122	2,1	15,1	0,66	
	conduite camion	200	230	128	2,2	15,8	0,69	
métiers, activités industrielles								
	bucheron (fente du bois)	450	520	289	5,0	35,6	1,55	
	mineur piquage au marteau	420	490	272	4,7	33,6	1,46	
Sport, loisir	jouer au basket	514	596	331	5,7	40,9	1,78	Consolazio 70
	ping-pong	295	340	189	3,3	23,3	1,01	
	tennis de table	295	340	189	3,3	23,3	1,01	
	gymnastique	300	350	194	3,4	24,0	1,04	



Exemple de simulation



DGA-CEB
Scénario

CAPOPS Djibouti

Simulation des échanges thermiques selon la norme ISO 7933 rev
avec soleil TC NBC 93 A BTC

version 6.1-09/2004

Grenadier voltigeur avec et sans équipement

Paramètres sujet									Equipement		Pw24 40 g/m ² /h 253
Taille m	Poids Kg	Charge P Kg	Pente %	Coef terrain	Vitesse Km/h	Surf. Corp m ²	Coût global W	M W / m ²	isolement Clo	Pair moy l/m ² /s	
1,75	75,00	9,4	1	1	2	1,91	171	90	0,69	108	
avec portage									0,80	100	

AMBIANCE THERMIQUE										Clo mod 0,68	Pw amb 318
Ta ° C	Hr %	Tg ° C	V m/s	M Wm ²	W W/m ²	Clo corr	Ar/Ad	Tsk0Si?			
35,00	60,00	50,00	0,50	90	18,0	0,68	0,77	0,00			
avec portage et masque				104	20,8	0,79	0,68			0,79	0,68

PARAMETRES DERIVES										Coefficients de transfert de chaleur	
Psta	Pa	Tr	Vm	Var	Tsk	To	Hc	Hr	He		
5,62	3,37	66,97	0,17	0,67	34,53	49,45	6,97	5,75	116,3		
avec portage et masque			0,24	0,74	34,16	48,07	7,34	5,08	122,6		

Facteur d'accroissement de surface d'échange dû au vêtement standard

Fcl	1,208
-----	-------

Fcl	1,241
-----	-------

Isolement thermique effectif (m²C/W)

Icle	0,092	0,59
------	-------	------

°K,m ² /W	clo	
Icle	0,107	0,69

Coefficients de réduction des échanges par le vêtement

tenue en coton	
Fcl	Fpcl
0,461	0,413

Tenue de protection	
Fcl	Fpcl
0,430	0,365

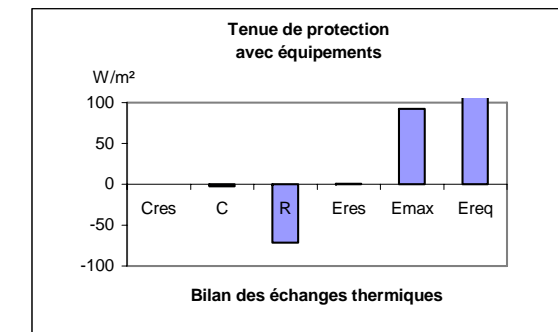
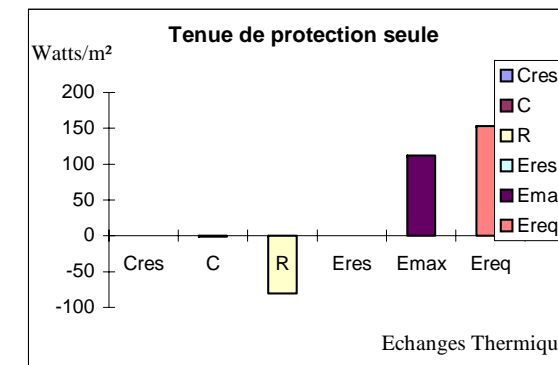
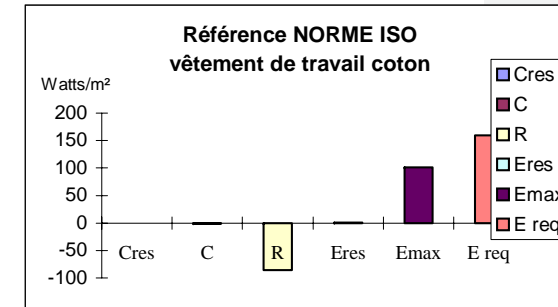
Echanges thermiques vêtements de référence

Wreq	1,00	r	0,50	température	37,8 °C	38,0 °C	38,5 °C	39,0 °C
				stockage	180 kJ/m ²	216 kJ/m ²	324 kJ/m ²	430 kJ/m ²

Cres	C	R	Eres	Emax	E req	SWreq	SWreq g/h	DL Alerte	DLE 60	DLD 90	DLD 120
						W/m ²	W/m ²	g/h	min	min	min
0,00	-1,52	-85,98	0,39	101	159	318	902	52	62	93	124
								sudation (2%)	100		

Im		sans portage		avec portage		DLE sans portage					
Ia	0,18	0,21	Wreq	1,00	1,00						
Fpclwj	0,46	0,38	r	0,50	0,50						
Cres	C	R	Eres	Emax	Ereq	SWreq	Swreq	DL Alerte	DLE 60	DLD 90	DLD 120
						W/m ²	W/m ²	g/h	min	min	min
0,00	-1,42	-80,19	0,39	112	153	306	868	73	88	132	176
						318 g/m ²	sudation (2%)	104			

avec portage		Pmoy		0 W/m ²		0 W		DLE avec portage					
		0,00	-2,67	-71,7	0,45	92	157	314	890	46	55	83	111
						261 g/m ²	sudation (2%)	101					



SFRP, La Hague, Septembre 2007

CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

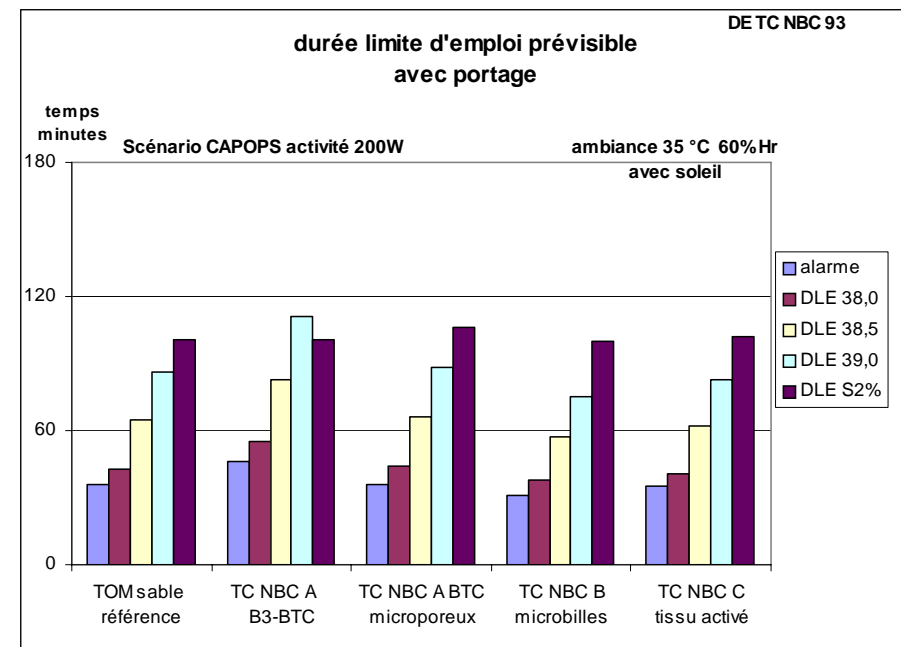
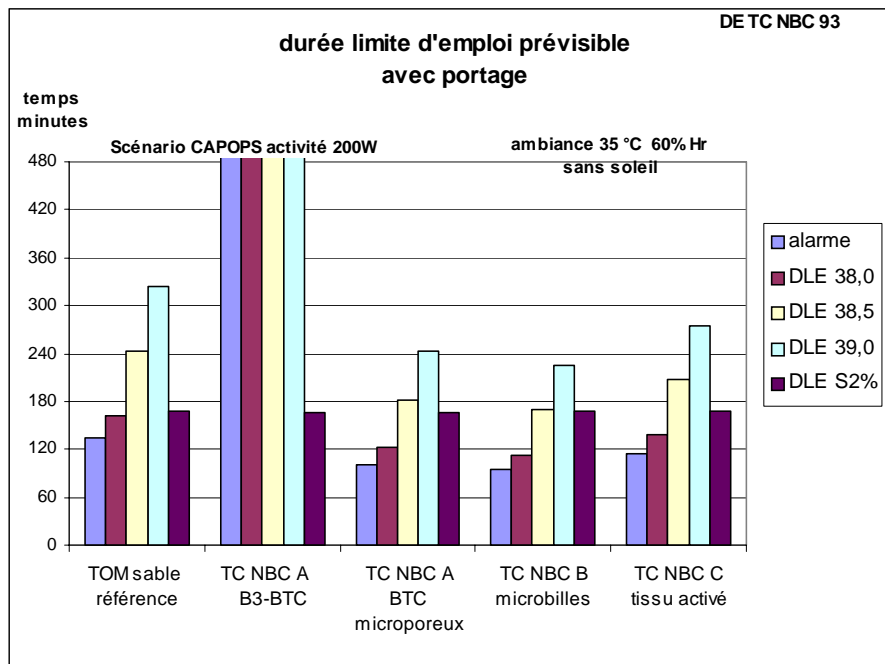
Diapositive N°17



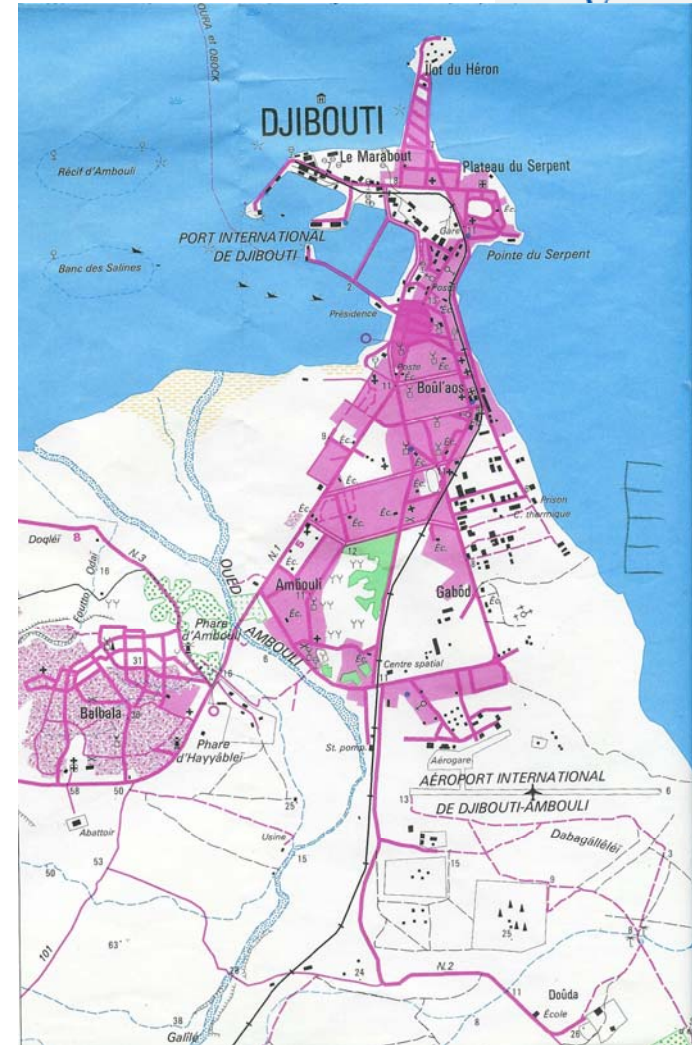
Durée limite d'emploi prévisible

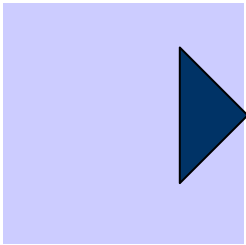


tenue DE TC NBC 93	DLE 35°C 60%hr sans soleil					DLE avec soleil				
	alarme	DLE 38,0	DLE 38,5	DLE 39,0	DLE S2%	alarme	DLE 38,0	DLE 38,5	DLE 39,0	DLE S2%
TOM sable référence	135	162	243	324	168	36	43	65	86	101
TC NBC A B3-BTC	825	990	1494	1979	166	46	55	83	111	101
TC NBC A BTC microporeux	101	122	182	243	165	36	44	66	88	106
TC NBC B microbilles	94	113	169	226	168	31	38	57	75	100
TC NBC C tissu activé	115	138	207	275	167	35	41	62	83	102



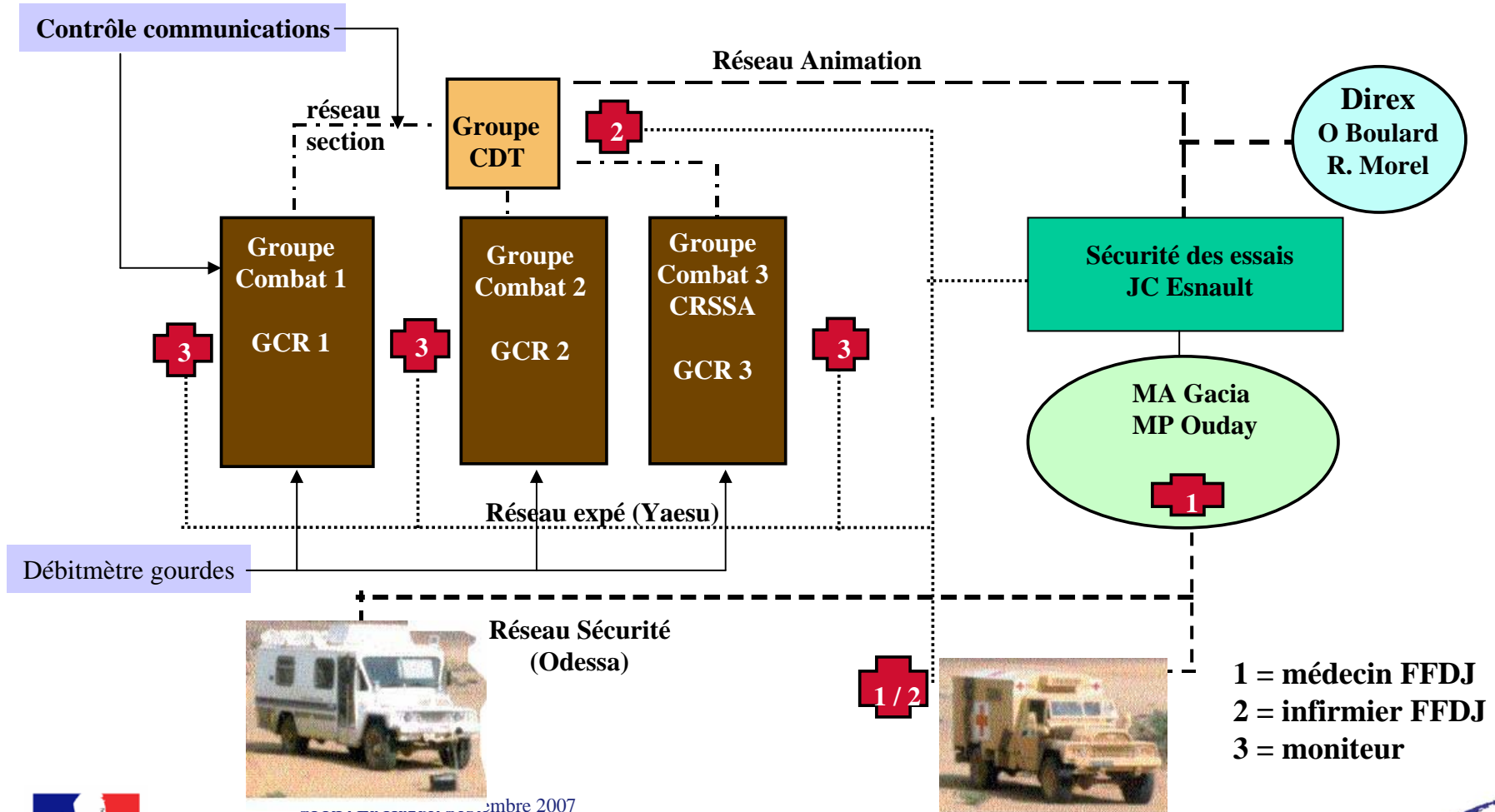
Expérimentation armée de terre



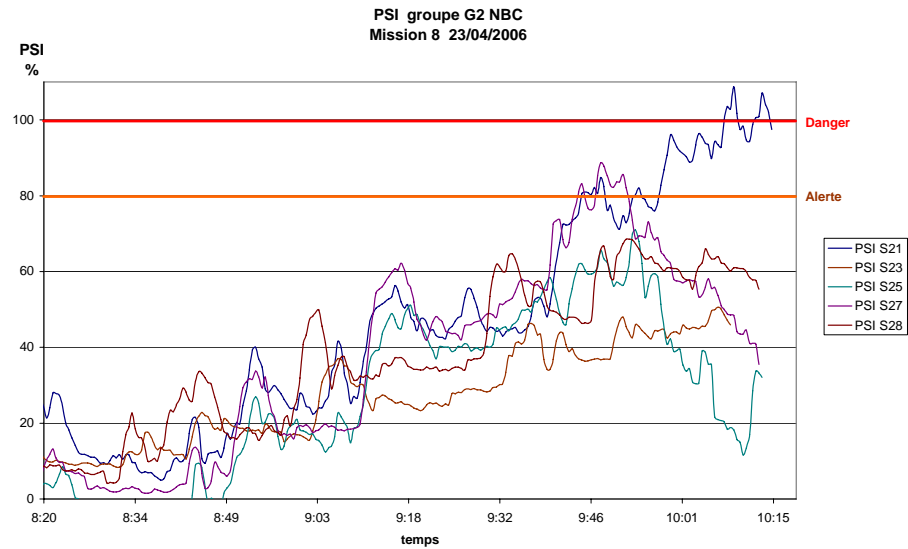
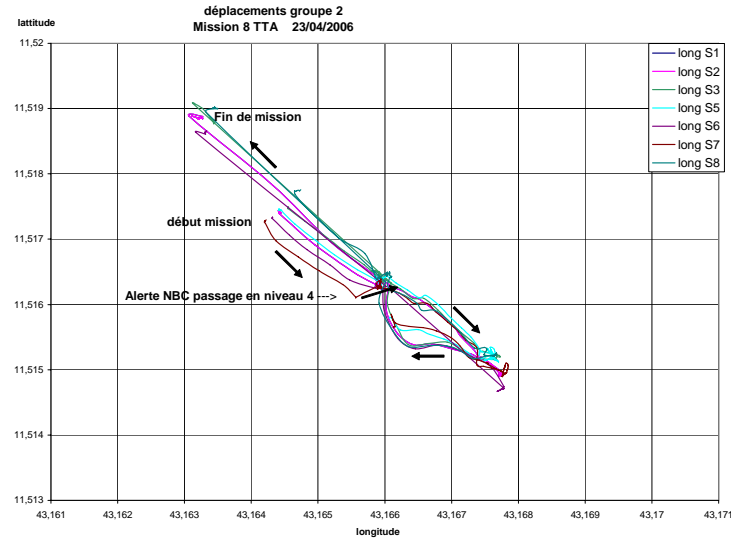


CAPOPS - Terre

(réseaux de transmission section et santé-sécurité)



Monitoring SCI3C



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

SFRP, La Hague, Septembre 2007

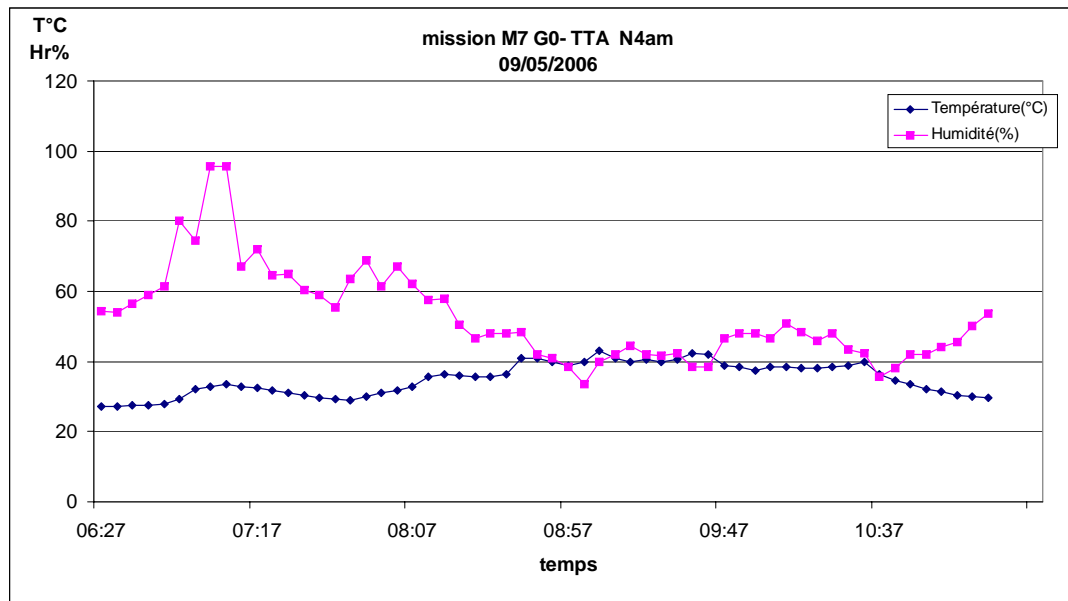
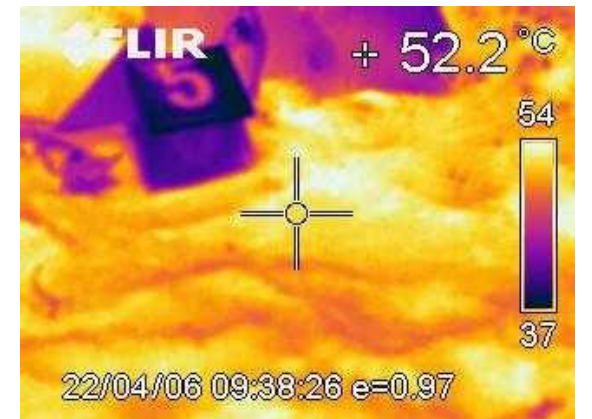
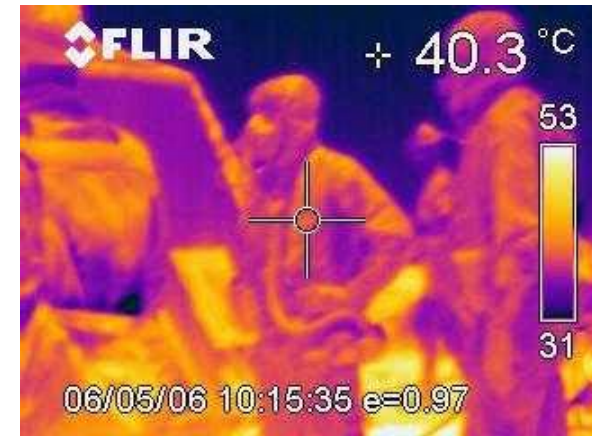
CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Diapositive N°21

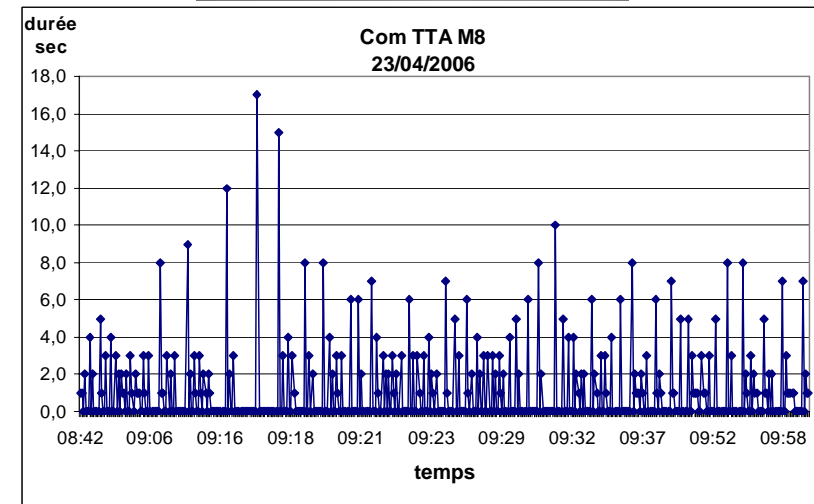
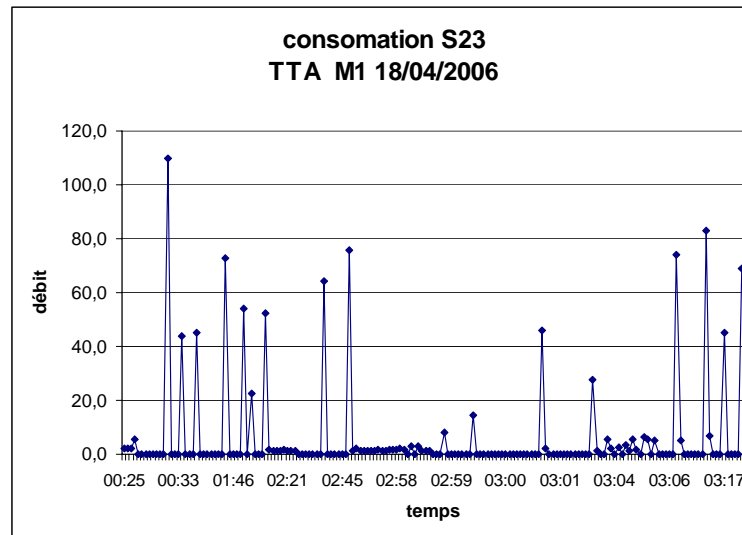


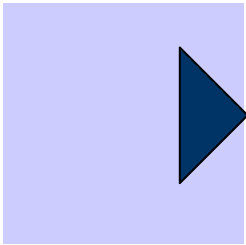
▶ météorologie





Hydratation - Communications





Essais terrain



RESCO



GRS



SIBCRA



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

SFRP, La Hague, Septembre 2007
CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Décontamination
Diapositive N°24

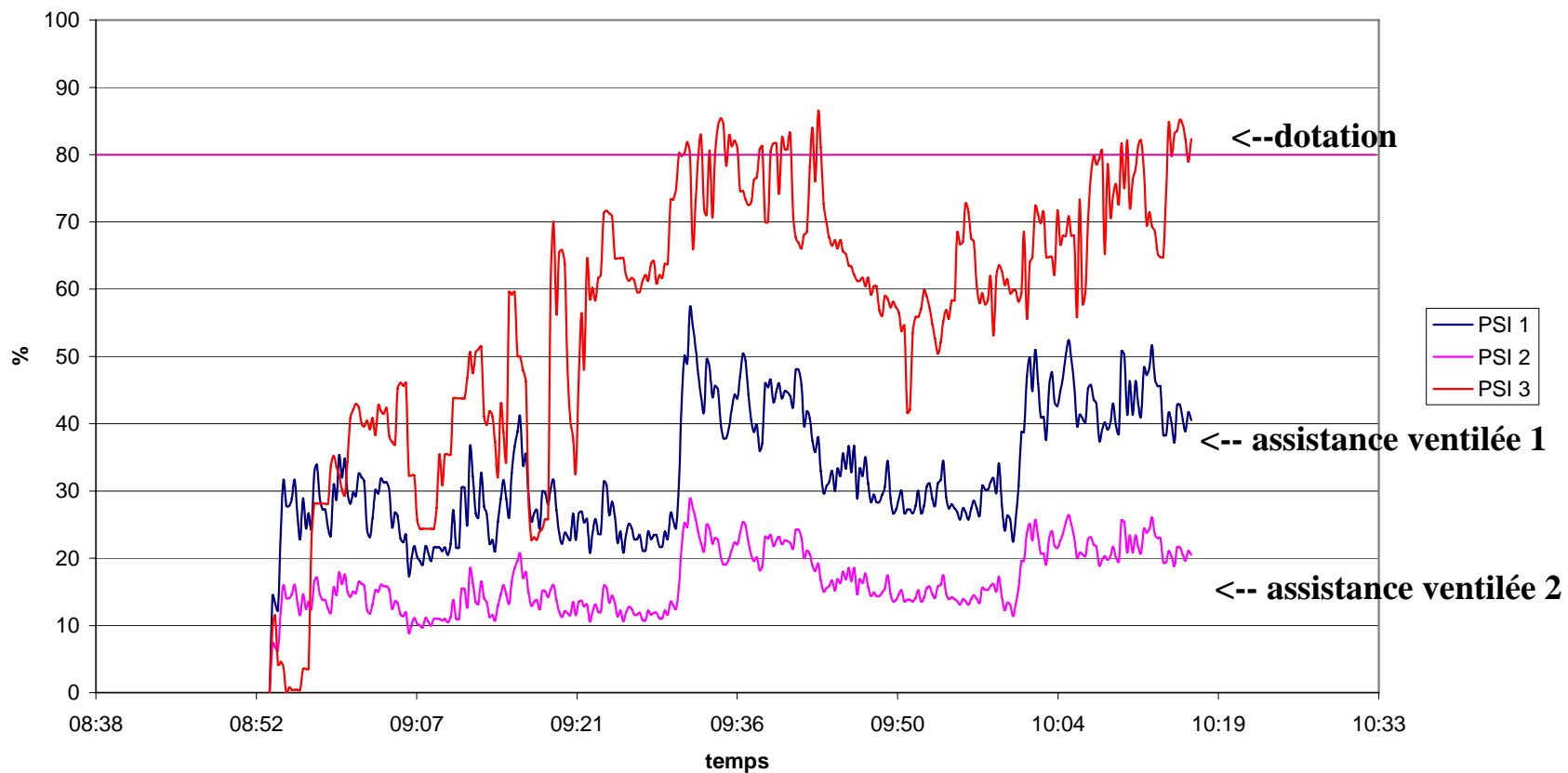


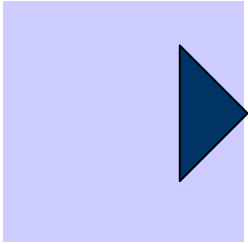
Comparaison des contraintes sur les personnels (décontamineurs en TLD)



Synthèse PSI
Déconta 2
18/05/2003

Djibouti, 39°C, 60% Hr





CONCLUSION

ERGONOMIE OPERATIONNELLE
ET
RETOUR D'EXPERIENCE

SONT LES BASES INDISPENSABLES

POUR LES GENERATIONS D'EQUIPEMENTS DE

PROTECTION DU FUTURS

Protection

Confort



Questions ?



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Diapositive N°27



Questions ?



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE

SFRP, La Hague, Septembre 2007

CEB, Leader national, partenaire international du domaine NRBC

26/09/2007

Diapositive N°28

