

Intérêt de la cardiofréquencemétrie pour la mesure de l'astreinte thermique au travail

Gil Boudet, Alain Chamoux, Frédéric Dutheil



Dr Gil BOUDET
Institut de Médecine du travail
UCA, Clermont-Ferrand



- expositions à la chaleur fortement d'actualité avec le réchauffement climatique
- expositions durées brèves et des contraintes physiques fortes
- risques sécurité et santé des salariés doivent être évalués
 - Coup de chaleur, risque mortel +6°C voir même si +2°C de temp centrale en 24h avec prob 25-50%

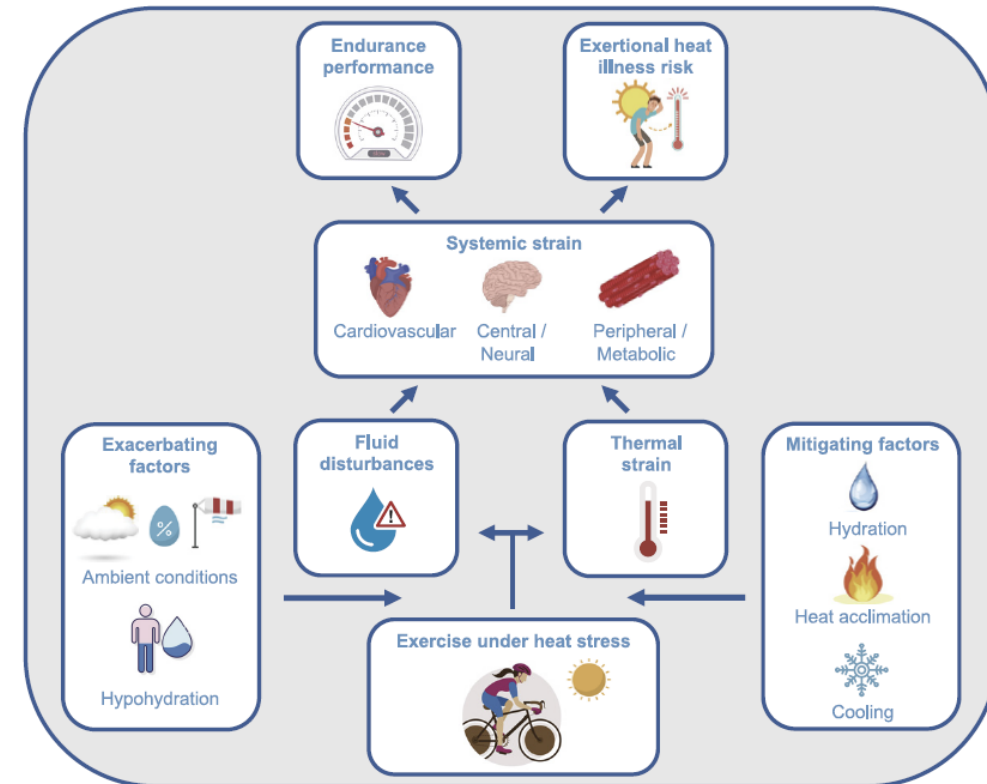
Travail à la chaleur



- pas de définition réglementaire
- repères : 30 °C pour une activité sédentaire et 28 °C pour un travail nécessitant une activité physique
- **fonderies, aciéries, hauts fourneaux** rayonnement +++
- **buanderies, conserveries, cuisines** chaleur + humidité
- travaux en extérieur **BTP, travaux agricoles**

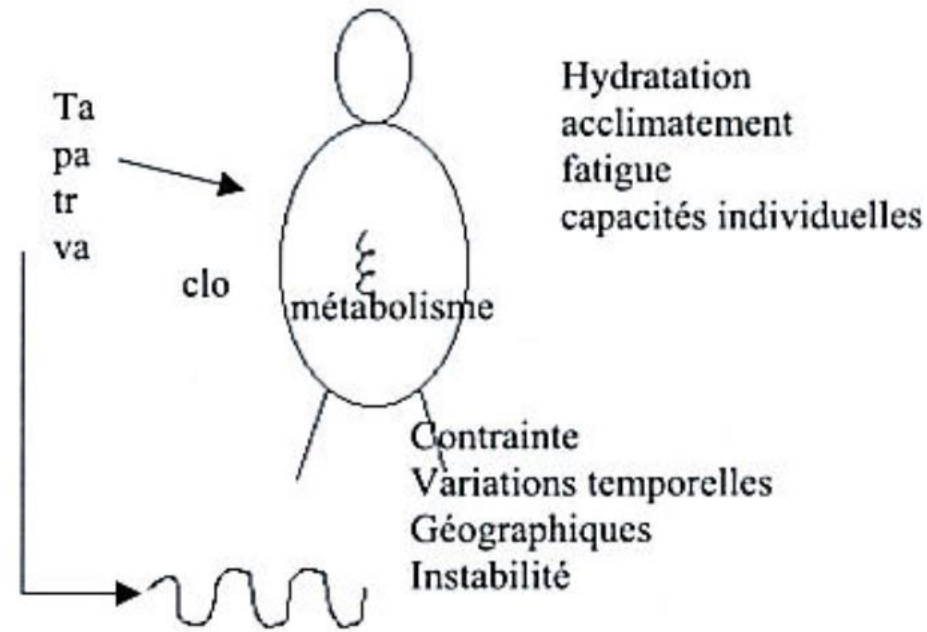
Paramètres d'influence de l'Astreinte thermique

- état d'acclimatation
- hydratation
- condition physique
- capacité cardio-vasculaire

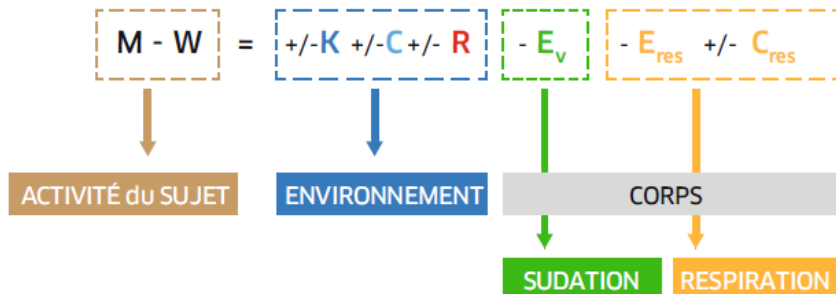


poids, sexe, obésité, ethnie, stratégies opératoires, horaire de travail, la qualité de sommeil, l'état de santé et la médication

Equilibre thermique



Homéothermie : 37°C temp noyau



Sudation principale adaptation

- Contrainte chaude = Quantité de chaleur que le salarié doit évacuer pour garder sa température constante, étant donné sa dépense métabolique et l'ambiance climatique

Comment évaluer le risque ?

- évaluer base de toute démarche de prévention
- des indices appropriés existent

Limites tolérables d'adaptation à la chaleur

- limite des pertes hydriques à 0,75l/h ou 5 litres pour huit heures
Norme ISO 7933
 - Ces pertes doivent être compensées par l'eau de boisson
- stockage thermique $\leq 1^{\circ}\text{C}$ (TC=38°C) / $\nearrow$ FC à + 30 bpm pour un sujet sain Norme ISO 9886

Evaluation contrainte thermique chaude

WBGT : Wet Bulb Globe
Température index
Norme ISO 7243

- des limites
- abandonné
- dépistage si WBGT > 25°C → ATP

Indice de sudation requise
SWREQ (Sweat Rate Required)
 $Sw_{req} + DLE$
Norme ISO 7243

Astreinte thermique prévisible
(ATP)/ Predictive Heat Stress
(PHS)
Norme ISO 7933

2005

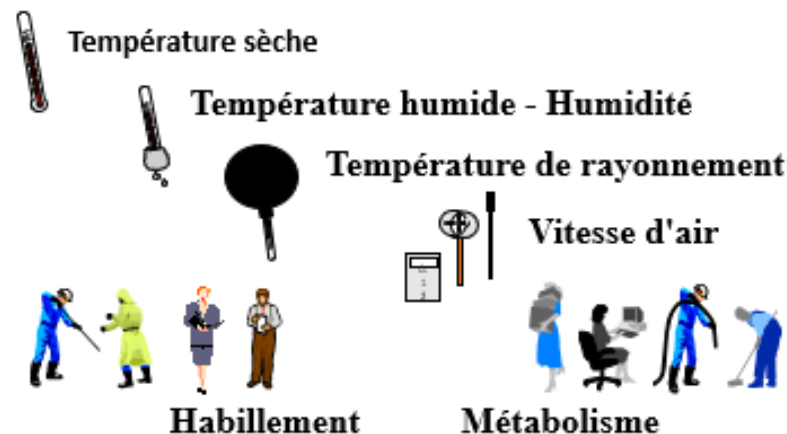


Norme ISO 7933 **Astreinte thermique prévisible ATP (PHS)**

SWreq , Sudation requise

- *ATP (PHS) → Prédire le débit sudoral et la $T^{\circ}\text{C}$ corporelle centrale*
- *Durée limite d'exposition* compatible avec une astreinte thermique tolérable (pas de dommages)

Mesure des ambiances thermiques



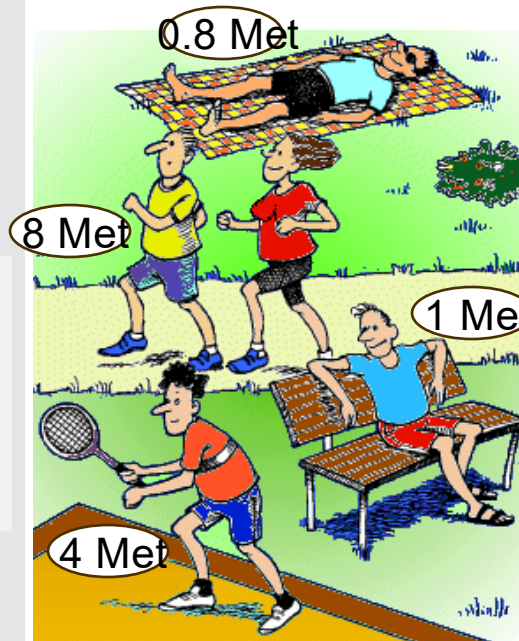
Contexte

Méthode

Résultats

Conclusions

Classe	Exemples
Repos	Sommeil Repos assis ou debout
Travail léger	Travail de secrétariat Travail assis manuel léger (taper sur un clavier, écrire, dessiner, coudre, faire de la comptabilité) Travail assis avec de petits outils, inspection, assemblage ou triage de matériaux légers Travail des bras et des jambes (conduite de véhicule dans des conditions normales, manœuvre d'un interrupteur à pied ou à pédales) Travail debout (fraisage, forage, polissage, usinage léger de petites pièces) Utilisation de petites machines à main Marche occasionnelle lente (inférieure à 3,5 km/h)
Travail moyen	Travail soutenu des mains et des bras (cloutage, vissage, limage...) Travail des bras et des jambes (manœuvre sur chantiers d'engins : tracteurs, camions...) Travail des bras et du tronc, travail au marteau pneumatique, plâtrage, sardlage, binage, cueillette de fruits et de légumes Manutention manuelle occasionnelle d'objets moyennement lourds Marche plus rapide (3,5 à 5,5 km/h), ou marche avec charge de 10 kg
Travail lourd	Travail intense des bras et du tronc Manutention manuelle d'objets lourds, de matériaux de construction Travail au marteau Pelletage, sciage à main, rabotage Marche rapide (5,5 à 7 km/h), ou marche de 4 km/h avec charge de 30 kg Pousser ou tirer des chariots, des brouettes lourdement chargés Pose de blocs de béton
Travail très lourd	Travail très intense et rapide (par exemple déchargement d'objets lourds) Travail au marteau à deux mains ou à la hache (4.4 kg, 15 coups/minutes) Pelletage lourd, creusage de tranchée Montée d'escaliers ou d'échelles Marche rapide, course (supérieure à 7 km/h)



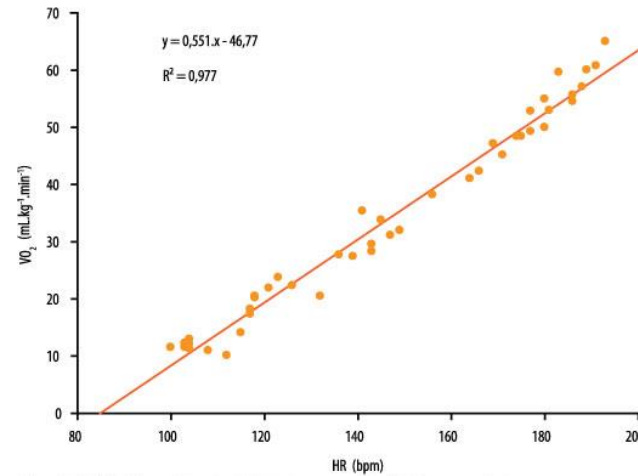
Activity	Metabolic Rates [M]	
Reclining	46 W/m ²	0.8 Met
Seated relaxed	58 W/m ²	1.0 Met
Clock and watch repairer	65 W/m ²	1.1 Met
Standing relaxed	70 W/m ²	1.2 Met
Car driving	80 W/m ²	1.4 Met
Standing, light activity (shopping)	93 W/m ²	1.6 Met
Walking on the level, 2 km/h	110 W/m ²	1.9 Met
Standing, medium activity (domestic work)	116 W/m ²	2.0 Met
Washing dishes standing	145 W/m ²	2.5 Met
Walking on the level, 5 km/h	200 W/m ²	3.4 Met
Building industry	275 W/m ²	4.7 Met
Sports - running at 15 km/h	550 W/m ²	9.5 Met



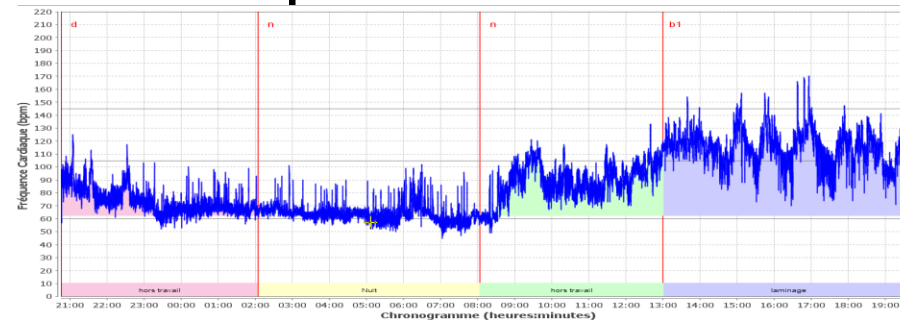
- Une erreur de 10% sur l'estimation du niveau de métabolisme est susceptible d'entraîner des variations de 176% sur la durée limite d'exposition *Wasterlund, 1998*

Astreinte thermique ne peut pas être évaluée de manière fiable à partir de la contrainte thermique

Cardiofréquencemétrie

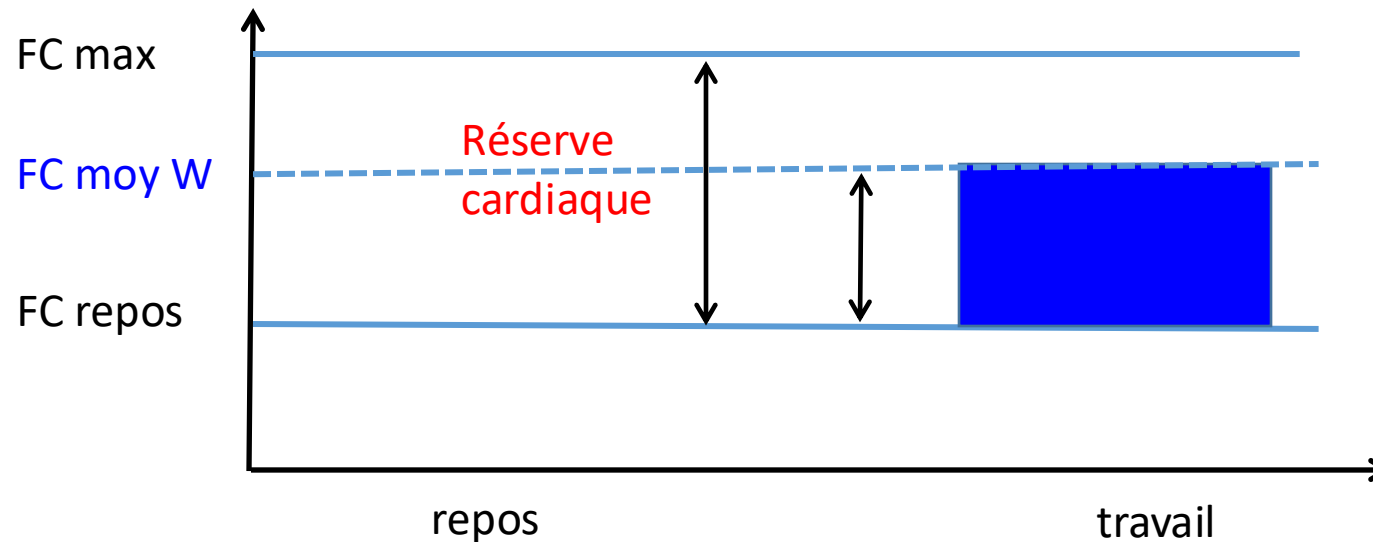


- enregistrement continu de la fréquence cardiaque (FC)
- calcul du coût cardiaque relatif (CCR) = astreinte globale
- EPCT astreinte thermique



Cout cardiaque relatif

Brouha, 1961



$$CCR = \frac{FC \text{ travail} - FC \text{ repos}}{FC \text{ max} - FC \text{ repos}}$$

- FC de repos nocturne + 15 bpm, *Garet, Chamoux, Boudet 2005*
- FC max théorique $207 - 0,7 \text{ âge}$ *Gellish, 2017*

Classes de pénibilité

Niveau de pénibilité	CCR ϕ (%)
Très léger	< 5
Léger	[5-12[
Plutôt Lourd	[12-19[
Lourd	[19-26[
Très Lourd	[26-33[
Intense	≥ 33

Limites pour 8 h :

- **CCR < 33 % sujet sain**
- CCR < 26 % sujet pathologique, RCVA

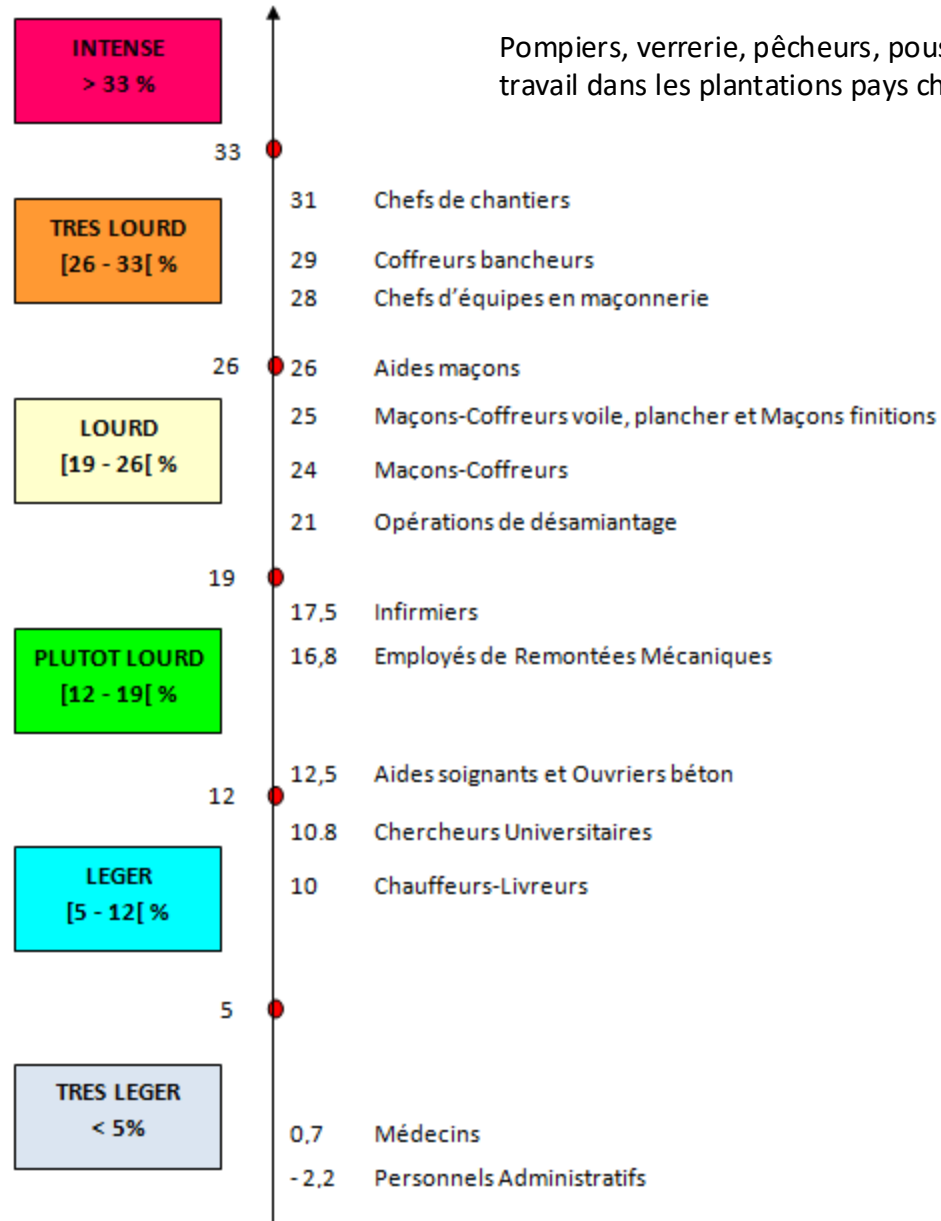
Efforts brefs et intenses

- 50% pour 1h
- 65% pour 19 min
- 85% pour 5 min
- répercussions physiologiques importantes pénibilité +++
- 1 seuil atteint pénibilité excessive et réaménagement du poste

Contexte



Méthode



Résultats

Pompiers, verrerie, pêcheurs, pousset-pousset en Inde, travail dans les plantations pays chaud etc...

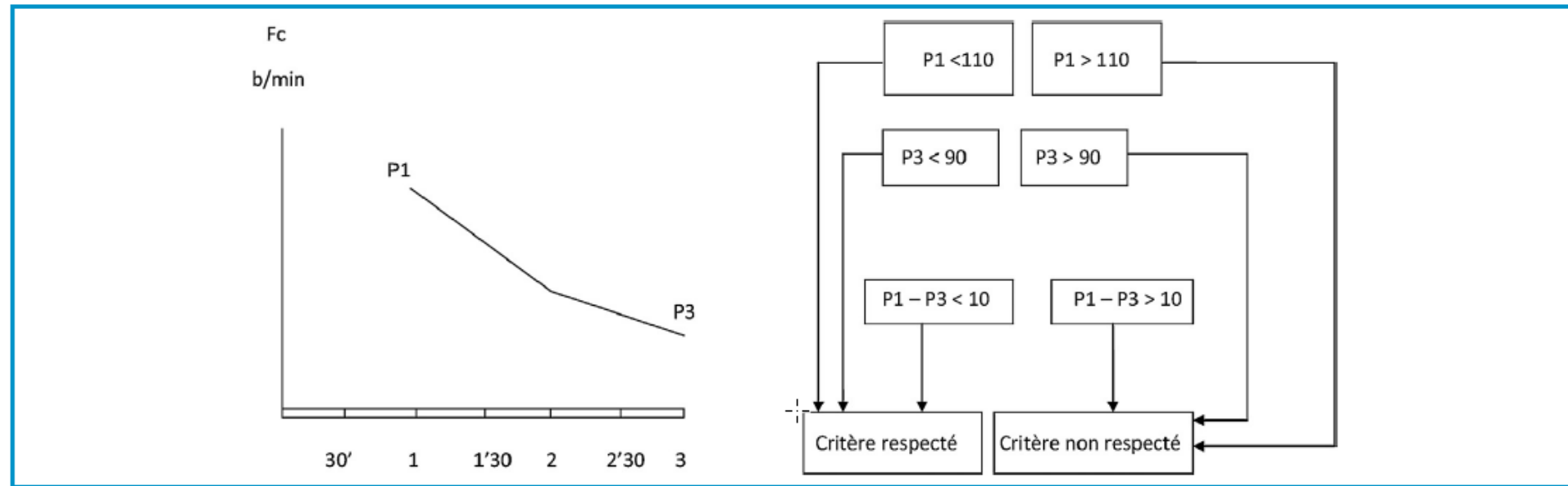
Conclusions



Référentiel professionnel 8h en CCR

Critère de de récupération de BROUHA

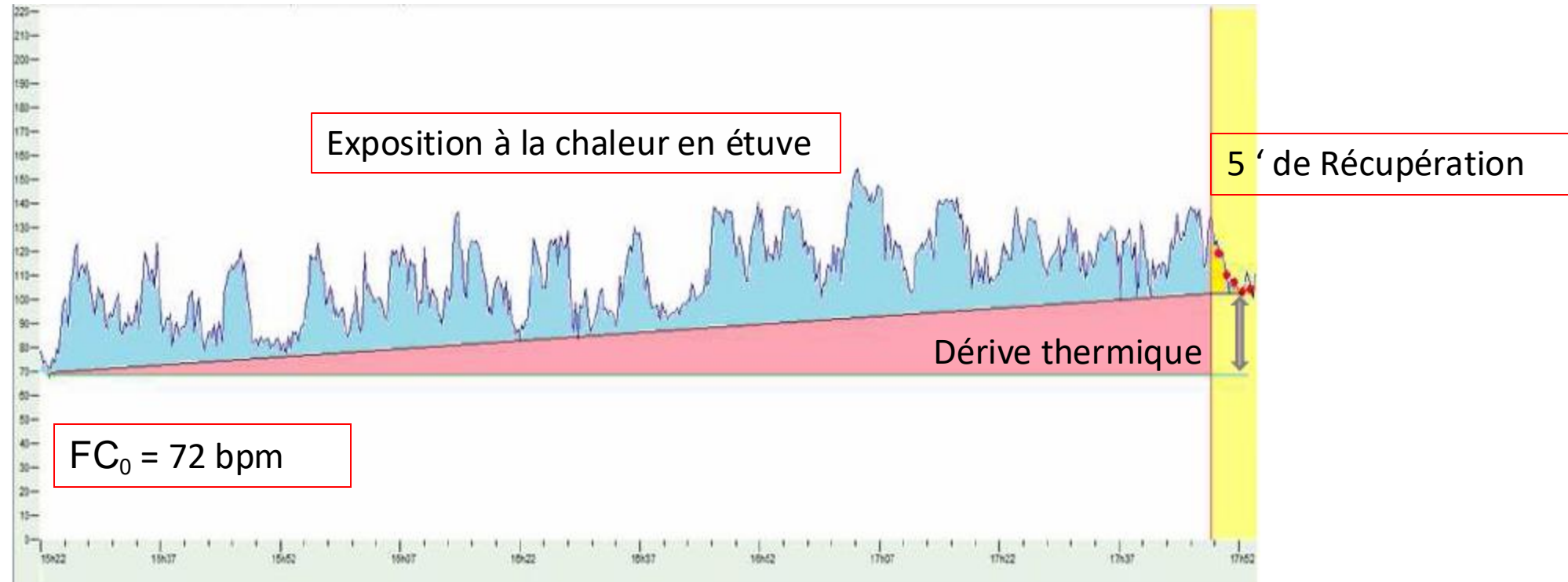
- Exposition à la chaleur > 10 minutes
- 5 minutes assis en ambiance thermique neutre



Brouha, 1963

limites de FC pour le travail à la chaleur : 110 bpm après une minute de récupération ou 85% de la FCmax théorique estimée par la formule $(207 - 0,7 \text{ âge})$ en valeur pic

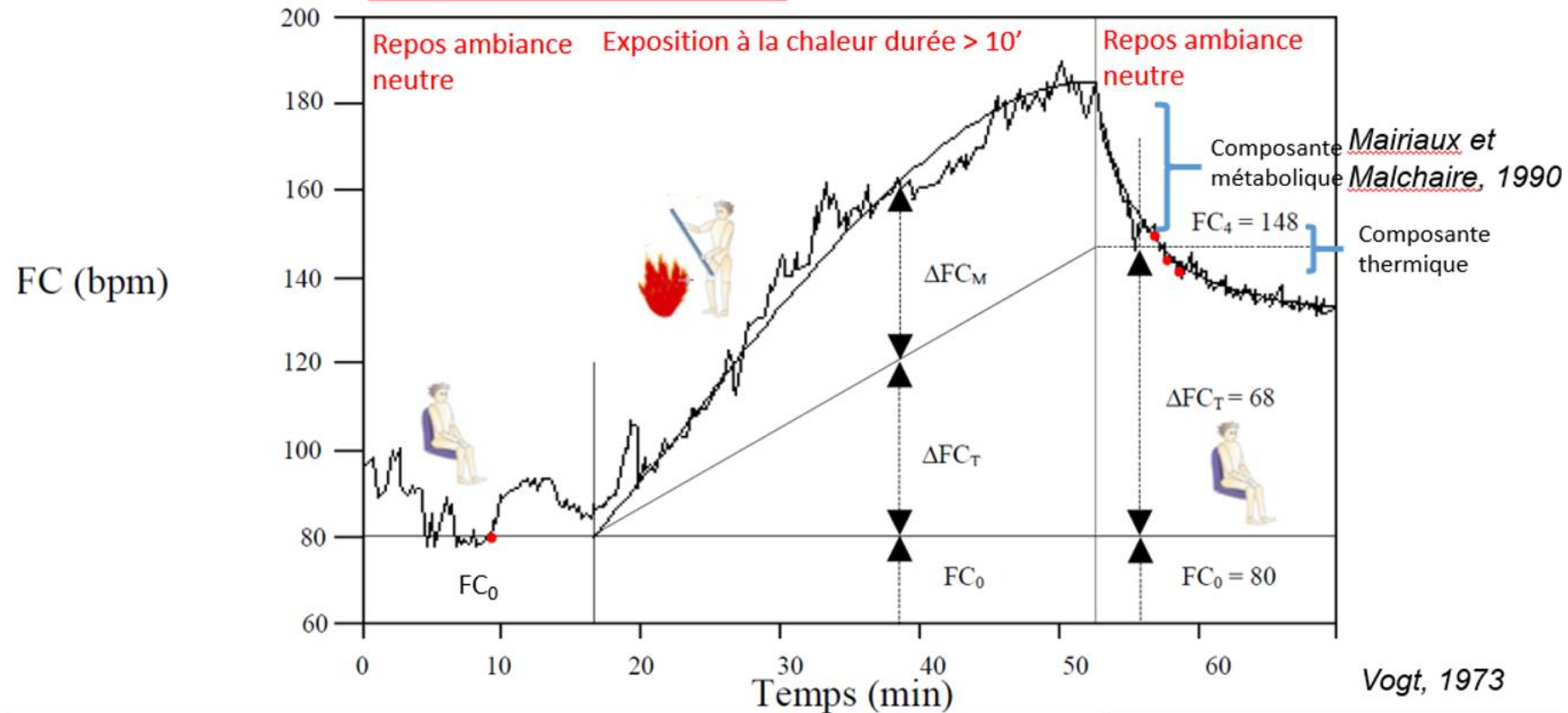
Extra-pulsations cardiaques d'origine thermique EPCT



A puissance de travail égale la FC croît de façon linéaire avec la température ambiante *Brouha, 1963*

Extra-pulsations cardiaques d'origine thermique EPCT

- Exposition à la chaleur d'au moins 10 minutes
- 5 minutes assis en ambiance thermique neutre



$$EPCT = (FCR3 + FCR4 + FCR5)/3 - FC_0$$

Extra-pulsations cardiaques d'origine thermique EPCT

- organiser l'alternance des périodes de travail et de récupération
- durée initiale 10 min calcul des EPCT et incrément de 10 min en 10 min jusqu'à DLE

Reprise du travail possible si FC inférieure à $FC_0 + 10$ bpm
EPCT seuil de 20 bpm pour des durées d'exposition > 60 min

Meyer, 2001

Ex. Fabrique corn flakes



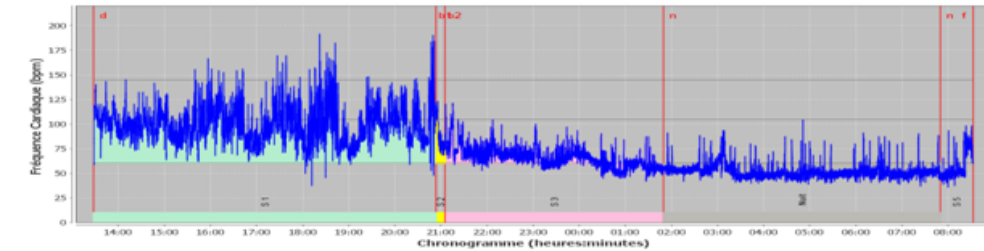
Caractéristiques salariés, n=11

	Age	Sexe	Taille	Poids	IMC	Tabac	Activité Physique	Intensité
	(ans)		(m)	(kg)	(kg/m ²)	(c/j)	(h/s)	Activité Physique
Moyenne	35,45	10 H, 1 F	1,73	77,18	25,74	13,71	1,33	L
Ecart-type	8,42		0,06	17,91	5,58	11,69	1,03	

IMC : Indice de Masse Corporelle ; Intensité Activité physique : L : légère, M : moyenne

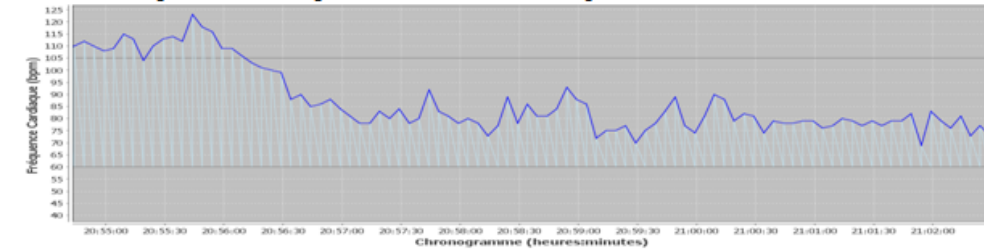
- EPCT moyenne pour le groupe 9 ± 7 bpm < 20 bpm
- pour 3 salariés relativement âgés et en surpoids EPCT ≥ 20 bpm

- Courbe des fréquences cardiaques



FCm = 50 bpm

- Zoom période de récupération ambiance thermique neutre 10 min assis



EPCT 20h45-21h

FCR0=72bpm

FCR1=116bpm

FCR2=99bpm

FCR3=84bpm

FCR4=84bpm

FCR5=78bpm

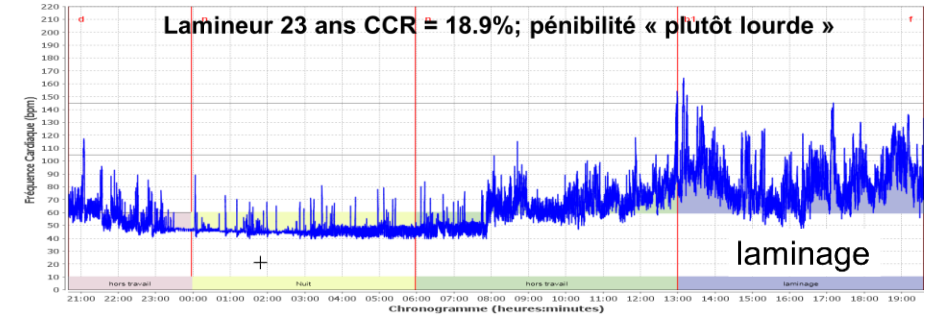
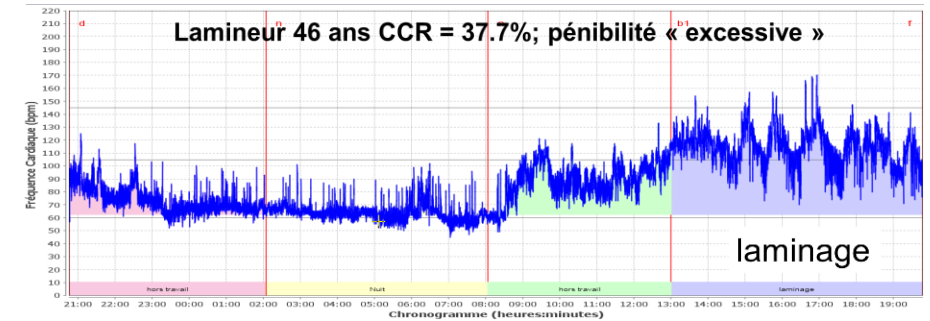
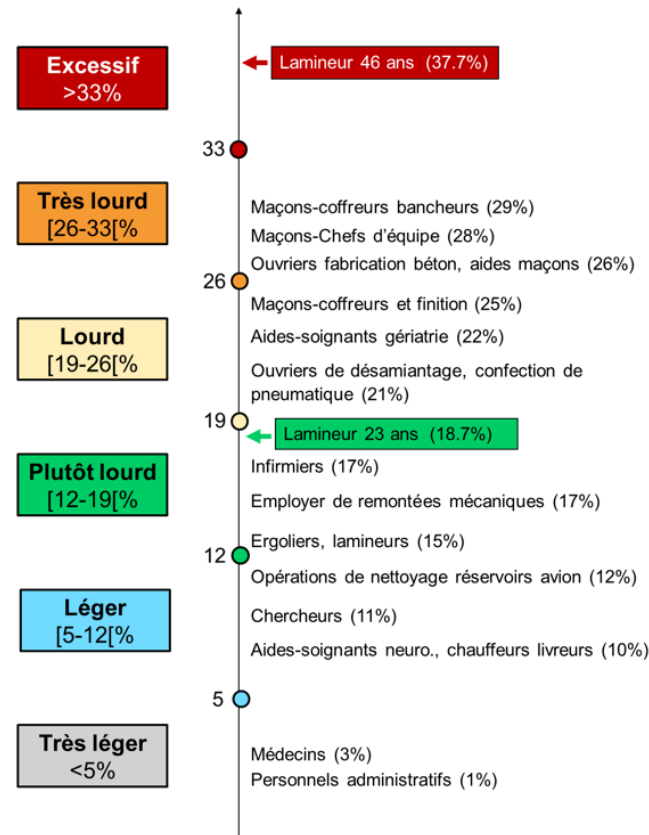
EPCT=(84+84+78/3)-72=10 bpm $\rightarrow$ +10 bpm charge thermique

L'âge et la surcharge pondérale pénalise l'adaptation à la chaleur

Ex. Aciérie



Référentiel professionnel en CCR
pour huit heures

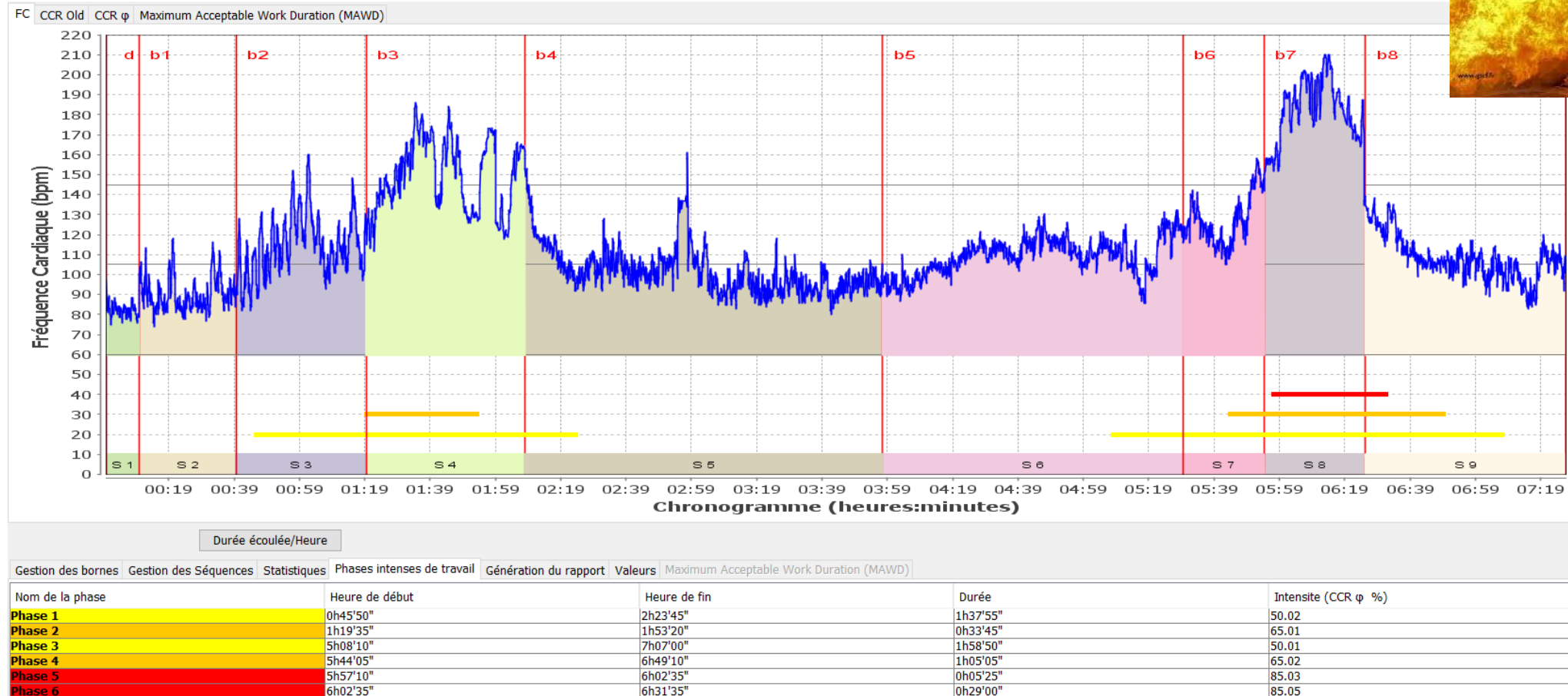


laminage travail cadencé par l'engagement des barres de métal → même charge de travail

CCR lamineur 23 ans 18,7% plutôt lourd vs, lamineur 46 ans 37,7 % excessif

L'astreinte cardiaque augmente avec l'âge

Ex. Sapeurs pompier simulation Tunnel du Mont-Blanc

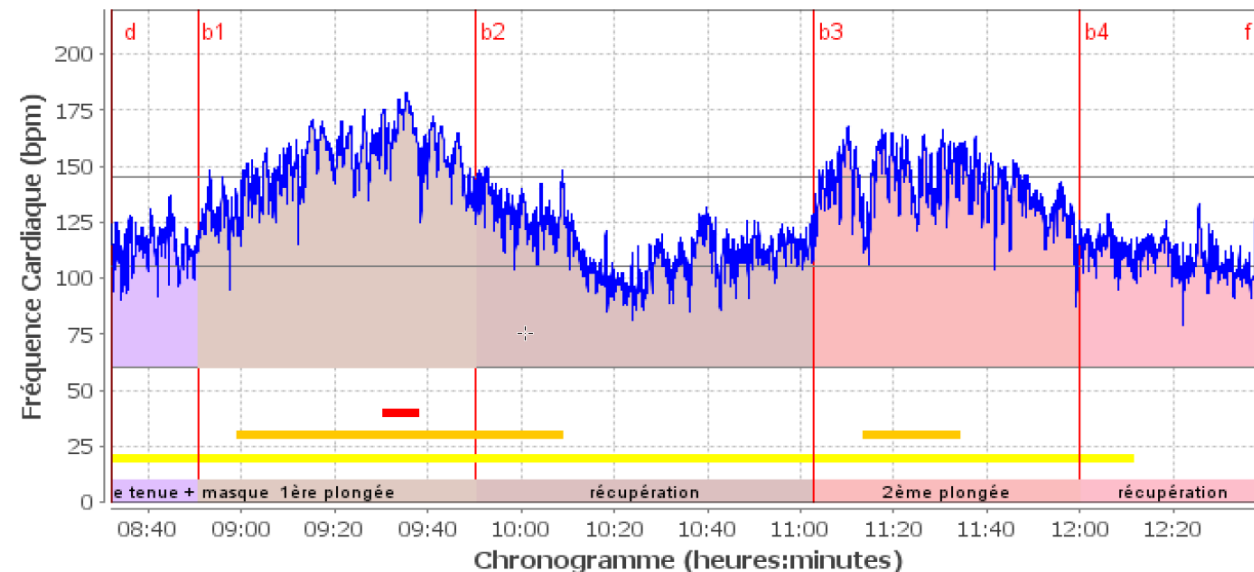


5 Phases intenses de travail détectées inacceptables dont 31'10 à CCR=91,6% → Phase très intense de travail
Poste de travail 7h26 CCR= 35.6% → Excessif

Ex. Centrale nucléaire



- 2 plongées successives en tenue de protection (combinaison étanche ventilée + masque) : forte contrainte physique (montage d'échafaudage) + chaleur



	habillage tenue + masque +	1ère plongée +	récupération +	2ème plongée +	récupération +	Cumul
Heure de début	8h32'17"	8h50'36"	9h50'06"	11h02'56"	11h59'52"	
Heure de fin	8h50'36"	9h50'06"	11h02'56"	11h59'52"	12h39'44"	
Durée	0h18'19"	0h59'30"	1h12'50"	0h56'56"	0h39'52"	4h07'27"
Rejet (en %)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Ecart type (bpm)	8.3	15.5	13.3	13.19	7.19	21.1
FC de repos	60	60	60	60	60	60
FC de repos corrigée	75	75	75	75	75	75
FC maximale	187	187	187	187	187	187
Maximum (bpm)	137	183	150	168	133	183
FC Moyenne (bpm)	113.58	150.13	114.13	141.35	109.86	128.32
Minimum (bpm)	90	95	81	87	79	79
P1	93	115	88	110	93	92
P5	99	123	94	119	99	99
P50	114	152	113	142	110	125
P95	126	171	137	161	119	164
P99	135	175	143	164	122	173
C.C.A.	53.58	90.13	54.13	81.35	49.86	68.32
C.C.R. Old	42.19	70.97	42.62	64.06	39.26	53.8
C.C.R. Phy	34.44	67.08	34.94	59.24	31.13	47.61
C.C.R.C.E.	40.32	80.93	49.91	69.71	36.13	75.05
Méthode de Chamoux et Boudet en CCR	Excessif	Excessif	Excessif	Excessif	Très Lourd	Excessif

Astreinte cardiaque globale 4h07 à 47,61% → Excessif pour 8h mais 4h
5 phases intenses de travail détectées → Excessif → réaménagement du poste



- Contraintes thermiques élevées → risques pour la santé
- **Mesure de la FC simple**, de mise en place rapide, ne gêne pas le salarié, pas de modification du travail, matériel peu onéreux
- **FC indice le plus adapté**
 - Contrôle de l'astreinte cardiaque globale du poste + Phases intenses
 - Dérive thermique de FC
 - Mesure de l'astreinte thermique EPCT
- **ne permettent pas d'évaluer l'état de déshydratation du salarié (pesée)**