



Analyse de la performance Quantification de la charge interne

UE 524 · TD

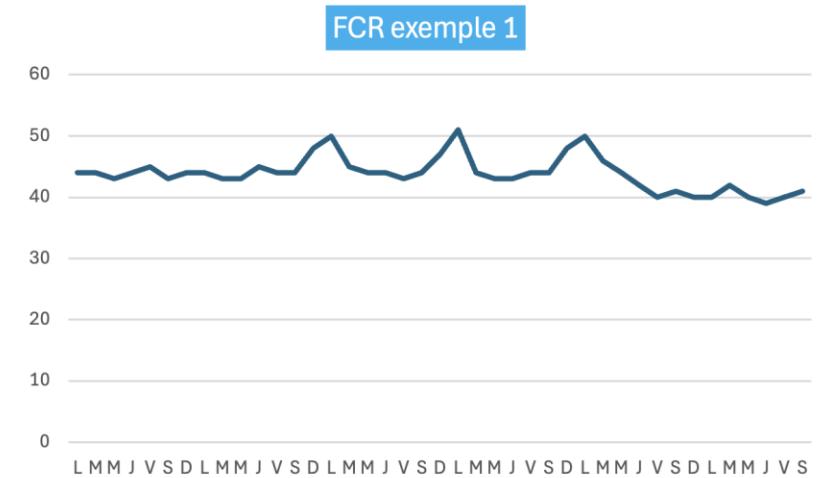
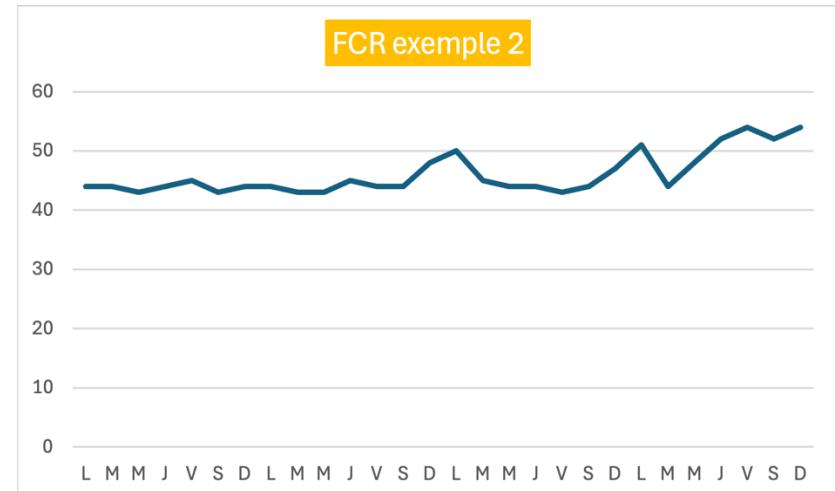
M. Frank Cannella
Année 2025-2026



Avant l'effort : FCR

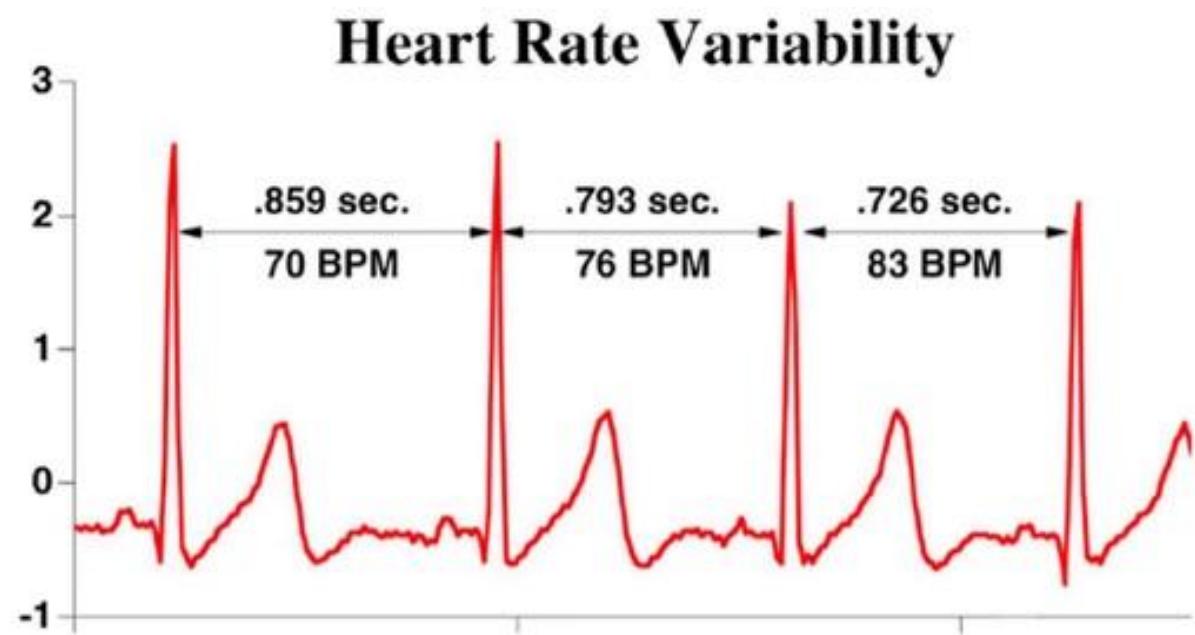
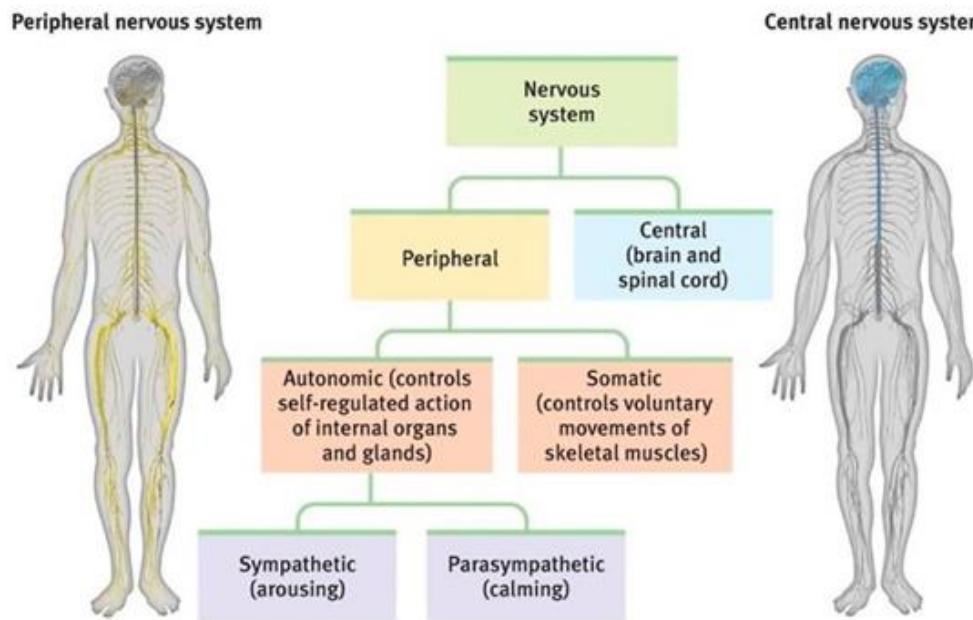
Le matin : état basal

- Protocole : Mesure photopletysmographie (PPG) versus ECG
- Exemples d'un athlète élite de sport d'endurance (cyclisme, course à pied, triathlon, etc.) avec une FCR de 44 en période de compétitions :



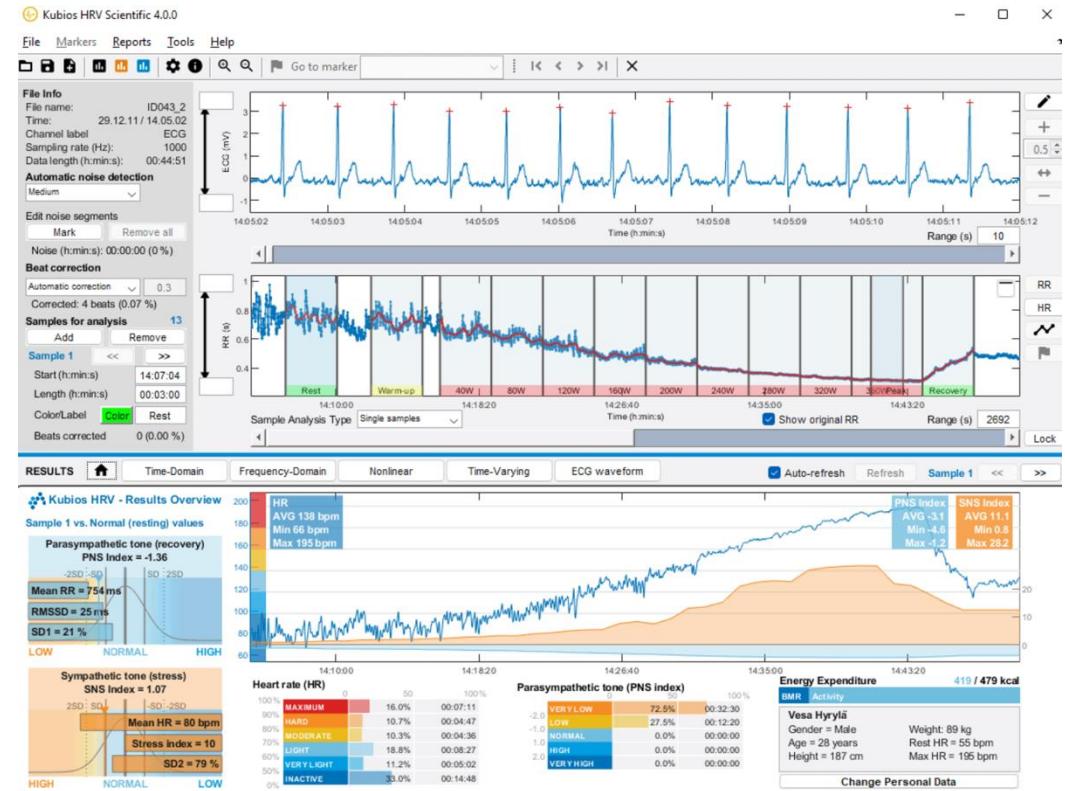
Avant l'effort : VFC - HRV

Test orthostatique : on teste le système nerveux autonome (sympathique + parasympathique) en mesurant le temps entre chaque battement cardiaque.



Avant l'effort : VFC - HRV

- On vérifie le training et la vie saine
 - vie active : stress, alcool, maladie, sommeil, soucis psycho., etc.
- Protocole stricte standardisé
- Meilleure condition physique = HRV haute
- Fluctuations fréquentes = faire des moyennes sur plusieurs jours
- Mesure ECG
- Option des montres connectées moins précises qui affichent une tendance à prendre avec prudence.

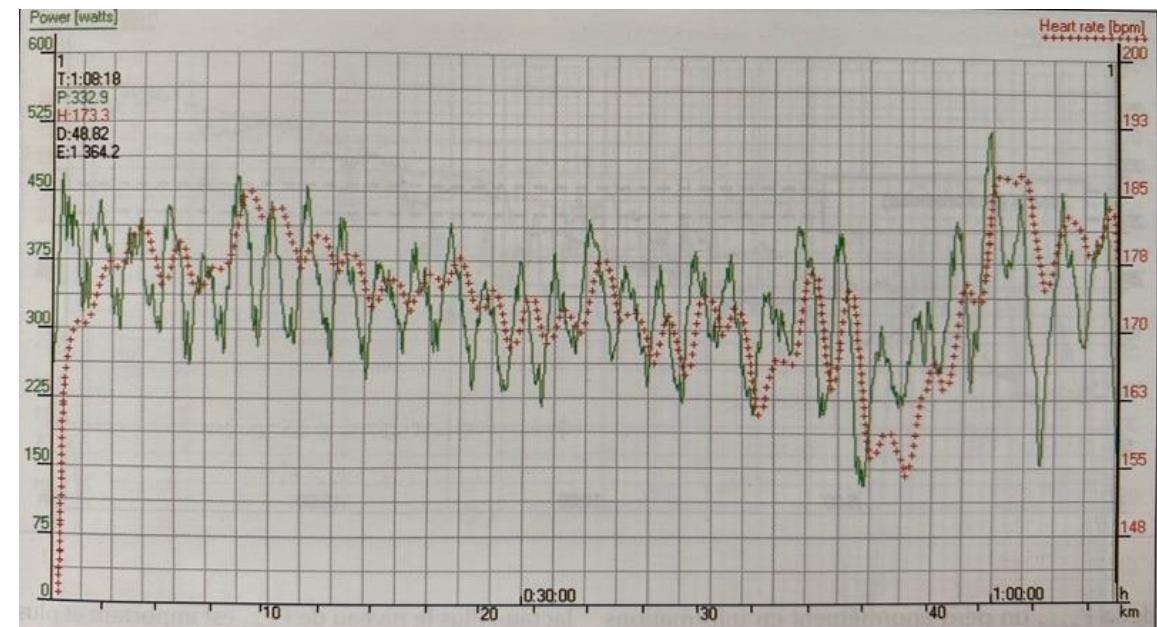


Avant l'effort : VFC - HRV

Indicateur	Signification	Interprétation
RMSSD (ms)	Mesure brute de la variation entre les battements successifs	Élevé = système parasympathique est actif = bonne récup, détente, forme.
SDNN (ms)	Mesure globale de la variabilité sur une période de plusieurs jours	Évaluation de la stabilité physiologique générale
Indice de stress calculé à partir du RMSSD	Rapport entre le tonus sympathique et parasympathique	Indice haut = stress, fatigue. Indice bas = repos et équilibre.
LF/HF ratio	Ration entre l'activité sympathique (LF) et parasympathique (HF)	>1 = dominance du stress (sympa.). <1 dominance de la récupération (parasymp.).

Le monitoring de la FC **pendant** l'effort

- En cyclisme ou en course à pied, par exemple, la FC est en étroite relation avec le RPE et la Puissance mécanique développée.
- mesure précise dans les zones de basses intensités et jusqu'au seuil anaérobie
- Cependant, il y a un délai de plusieurs secondes en réaction aux différences de puissances et notamment lors d'efforts courts.



Le monitoring de la FC **pendant** l'effort

Course cycliste sur route de 119 km



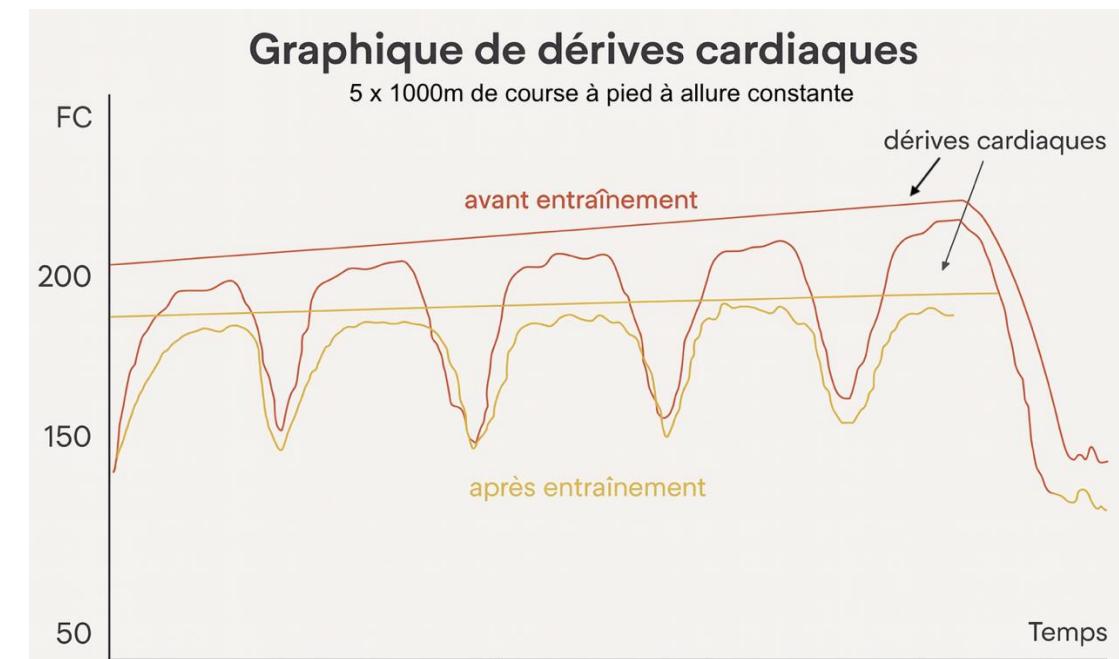
La FC pendant l'effort

Le suivi de la FC pendant l'effort montre quelques imperfections.

La dérive cardiaque : est caractérisée par une augmentation de la fréquence cardiaque et de la consommation d'O₂ à mesure qu'un travail physique se poursuit pendant une période prolongée (Trudeau & Bouchard, 2006).

Plus facilement remarquée lors d'un effort d'intensité constante.

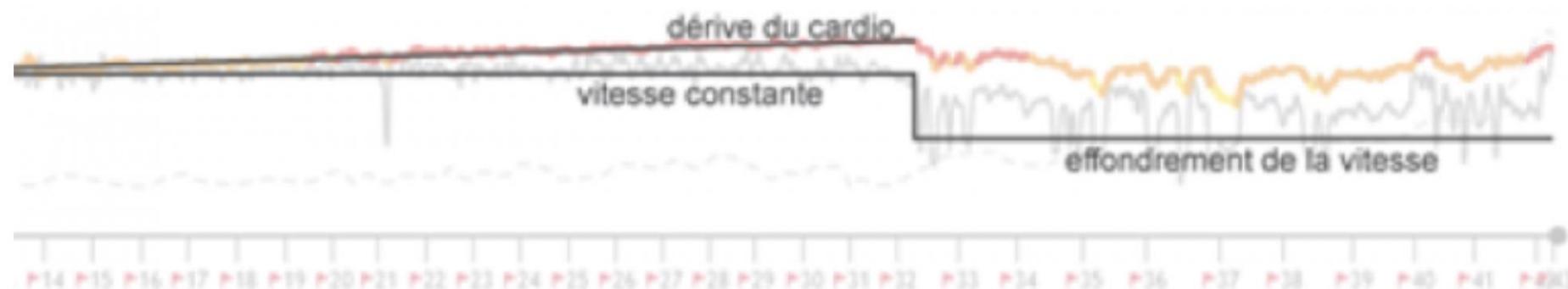
Plus un athlète est entraîné et moins sa FC va dériver.



La FC pendant l'effort

Exemple d'une course de marathon.

« Sur cet exemple de marathon, on voit à partir du 14ème kilomètre que le rythme cardiaque augmente alors que la vitesse est stable »



La FC **pendant** l'effort

Les raisons de la **dérive cardiaque** :

- apport sanguin d'O₂ et de nutriments plus important, évacuation du CO₂ et des déchets métaboliques.
- augmentation de la température corporelle > partie du débit sanguin vers la peau > thermorégulation
- déshydratation > volume plasmatique (partie liquide du sang) diminue > volume d'éjection systolique diminué
- lors de la production d'ATP, les lipides consomment davantage d'O₂ que les Glucides. De ce fait, lors d'un effort long, la production d'ATP consomme davantage d'O₂ (dominante lipides) que lors d'un effort court et intense (dominante glucides).
- activation du système sympathique (adrénaline, noradrénaline) qui favorise l'augmentation de la FC.

Quantifier selon Banister, 1991.

- Le Training Impulse, TRIMP de Banister, 1991, se calcule avec les données cardiaques suivantes :
- FC max
- FCR
- Fc moy

$$\text{Durée (mins)} * \text{IFC} * k = \text{TRIMP}$$

$$\text{IFC} = (\text{Fcmax}-\text{FCR}) / (\text{Fc moy} - \text{FCR})$$

k = facteur de pondération

$$\text{hommes : } k = 0,64.e^{(1,92*\text{IFC})}$$

$$\text{femmes : } k = 0,86.e^{(1,67*\text{IFC})}$$

Calcul de l'IFC : Indice de Forme et de Charge

Exemple

- Homme de 26 ans
- FCR de 42 bpm
- une FC max de 202 bpm
- 1 séance de course à pied de 57 mins
- FC moyenne de 149 bpm

$$\text{IFC} = (\text{FC max} - \text{FCR}) : (\text{FC moy} - \text{FCR})$$

IFC = forme : fatigue

$$\text{IFC} = (202 - 42) : (149 - 42) = 160 : 107 = \mathbf{1,49}$$

Indice : nombre qui détermine la valeur d'une évolution par rapport à une valeur de base.

Valeur de base : FCR et FC max > **IFC grand** : forme > **IFC petit** : fatigue

Nous pouvons utiliser ce même IFC comme mesure de la CI. C'est à l'entraîneur, avec le temps, d'établir ses propres repères chiffrés d'IFC pour chaque athlète.

$$\text{Durée (mins)} * \text{IFC} * k = \text{TRIMP}$$

Exemple

- Homme de 26 ans
- FCR de 42 bpm
- une FC max de 202 bpm
- 1 séance de course à pied de 57 mins
- FC moyenne de 149 bpm

Calcul de k : facteur de pondération

- **k** est un facteur pondérateur exponentiellement croissant.
- **Facteur pondérateur** : détermine l'importance de quelque chose.
- **Pondérer** : équilibrer, balancer.
- **Exemple** : au basket les paniers valent 2 ou 3 points avec un facteur pondérateur de 2 ou 3. Les points sont attribués selon la distance. Le facteur de pondération reflète la difficulté du geste en donnant davantage d'importance au geste le plus difficile.

Calcul de **k** : facteur de pondération

Exemple

- Homme de 26 ans
- FCR de 42 bpm
- une FC max de 202 bpm
- 1 séance de course à pied de 57 mins
- FC moyenne de 149 bpm

k = facteur de pondération

homme : $k = 0,64 \cdot e^{(1,92 \times IFC)}$

femme : $k = 0,86 \cdot e^{(1,67 \times IFC)}$

Le facteur pondérateur détermine la valeur de la séance en tenant compte du :

- sexe de l'athlète
- ses caractéristiques cardiaques (IFC)
- la difficulté de l'exercice qui s'avère exponentielle dans la durée (e)
- l'intensité de l'effort (FC moy dans IFC).

Par conséquent, on saura dire si une séance compte pour beaucoup ou pour peu.

Exemple

- Homme de 26 ans
- FCR de 42 bpm
- une FC max de 202 bpm
- 1 séance de course à pied de 57 mins
- FC moyenne de 149 bpm

k = facteur de pondération

homme : k = 0,64.e^(1,92*IFC)

femme : k = 0,86.e^(1,67*IFC)

Dans la formule de calcul pour notre sportif homme apparaît le **nombre d'Euler** :

$$k = 0,64 \cdot e^{(1,92 \cdot IFC)}$$

e = le nombre d'Euler = 2,718281828...

Le nombre d'Euler est une constante mathématique qui permet de décrire les croissances exponentielles.

En termes mathématiques, le symbole ^ signifie : puissance.

Exemple

- Homme de 26 ans
- FCR de 42 bpm
- une FC max de 202 bpm
- 1 séance de course à pied de 57 mins
- FC moyenne de 149 bpm

En conclusion, le TRIMP (Training Impulse) selon Banister (1991) vise à quantifier la charge interne d'entraînement à partir :

- de la durée de la séance (mins)
- de l'intensité relative de l'effort (FC)
- des FC personnelles de l'athlète.

Le modèle pondère plus fortement les efforts à haute intensité car la relation n'est pas linéaire mais exponentielle.

Ainsi, une courte période à haute fréquence cardiaque est une charge de travail plus importante qu'un effort long à intensité modérée.

En revanche, la méthode est uniquement basée sur la FC et peut être perturbée par la dérive cardiaque. De plus, cette méthode est peu adaptée aux sports de haute variabilité d'intensité. Enfin, le RPE n'est pas pris en compte.

Comment **calibrer** la FCmax ?

- Peut-on utiliser les valeurs des compétitions ?
- Peut-on se servir de la FC max lors d'un test 30-15 ?
- Est-il pertinent d'appliquer un protocole spécifique de FC max ? Dans quelles situations ?
- Évitez les calculs théoriques.
- Assurez-vous de l'engagement maximal de l'athlète.

Quantifier selon Edward, 1993

À partir de la distribution de la FC max en 5 zones qui correspondent aux différents régimes énergétiques simplifiés.

Karvonen, M. J. et al. (1957), Banister, E. W. (1975), Mader, A. et al. (1983), Kindermann, W. (1980).

Exemple :

Ben Healy : championnats du monde de cyclisme sur route 2025

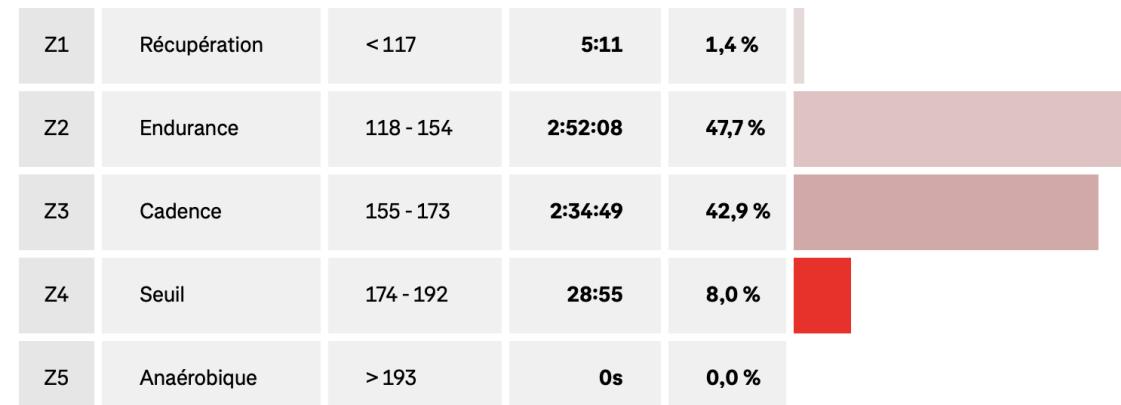
$$(5*1) + (172*2) + (155*3) + (29*4) = 930 \text{ TRIMP}$$

Méthode Edward		
Z1	50-60%	coef 1
Z2	60-70%	coef 2
Z3	70-80%	coef 3
Z4	80-90%	coef 4
Z5	90-100%	coef 5

formule de calcul = durée en minutes dans chaque zone d'intensité x coefficient attribué

252,8 km 6:01:03 4 992 m
Distance Temps Dénivelé

Analyse de la fréquence cardiaque



Quantifier selon Foster, 1998

Méthode basée sur la **CR10 Scale de Borg**

- Méthode : nombre de minutes d'effort x indice de CR10
- Exemple = 63 minutes d'entraînement à une intensité de 6 = $6 \times 63 = 378$ UA (unités arbitraires)

Modified Borg CR10 Scale

RPE Scale	Rate of Perceived Exertion
10	Max Effort Activity Feels almost impossible to keep going. Completely out of breath, unable to talk. Cannot maintain for more than a very short time.
9	Very Hard Activity Very difficult to maintain exercise intensity. Can barely breath and speak only a few words
7-8	Vigorous Activity Borderline uncomfortable. Short of breath, can speak a sentence.
4-6	Moderate Activity Breathing heavily, can hold short conversation. Still somewhat comfortable, but becoming noticeably more challenging.
2-3	Light Activity Feels like you can maintain for hours. Easy to breathe and carry a conversation
1	Very Light Activity Hardly any exertion, but more than sleeping, watching TV, etc

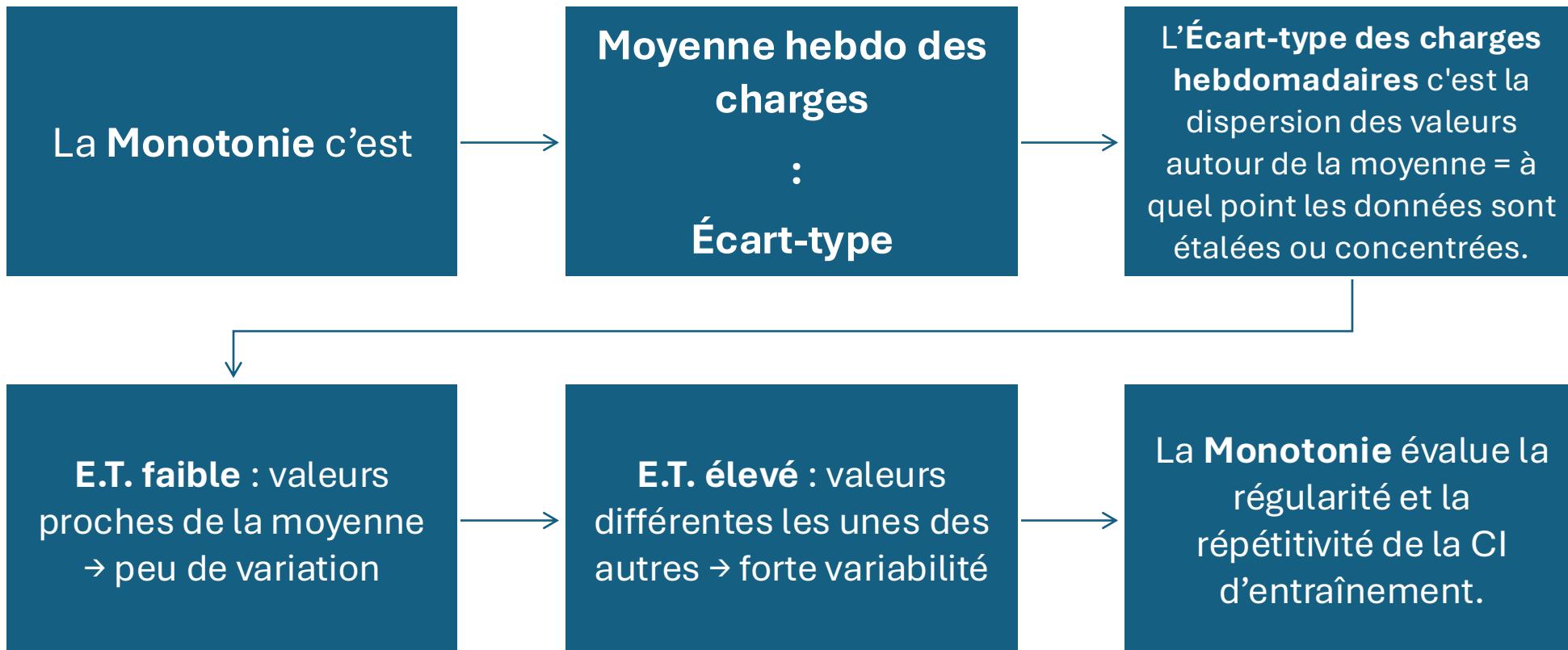
Quantifier selon Foster, 1998

- Feuille de calcul EXCEL de la méthode Foster dans laquelle nous allons rentrer les minutes + RPE pour d'obtenir les UA et poursuivre les calculs jusqu'à obtenir les indicateurs de **Monotonie** et de **Contrainte**.

JOUR	CHARGE UA	MINUTES	RPE	COMMENTAIRES
Lundi	410	82	5	
Mardi	1029	147	7	
Mercredi	714	102	7	
Jeudi	546	78	7	
Vendredi	0	0	0	
Samedi	240	60	4	
Dimanche	928	116	8	
Total (Charge hebdo)	3867			
		MONOTONIE	< 1.0	BON
			1.0 à 1.5	MODÉRÉE
			> 1.5	PEU DE VARIATIONS
Moyenne journalière	552,4285714			
Écart-type	369,097032			
Monotonie	1,496702827			
Contrainte (Strain)	5787,749834			
		CONTRAINTE - STRESS	< 2000	LÉGÈRE
			2000-4000	MODÉRÉE
			>4000	ÉLEVÉE
			>6000	EXCESSIVE

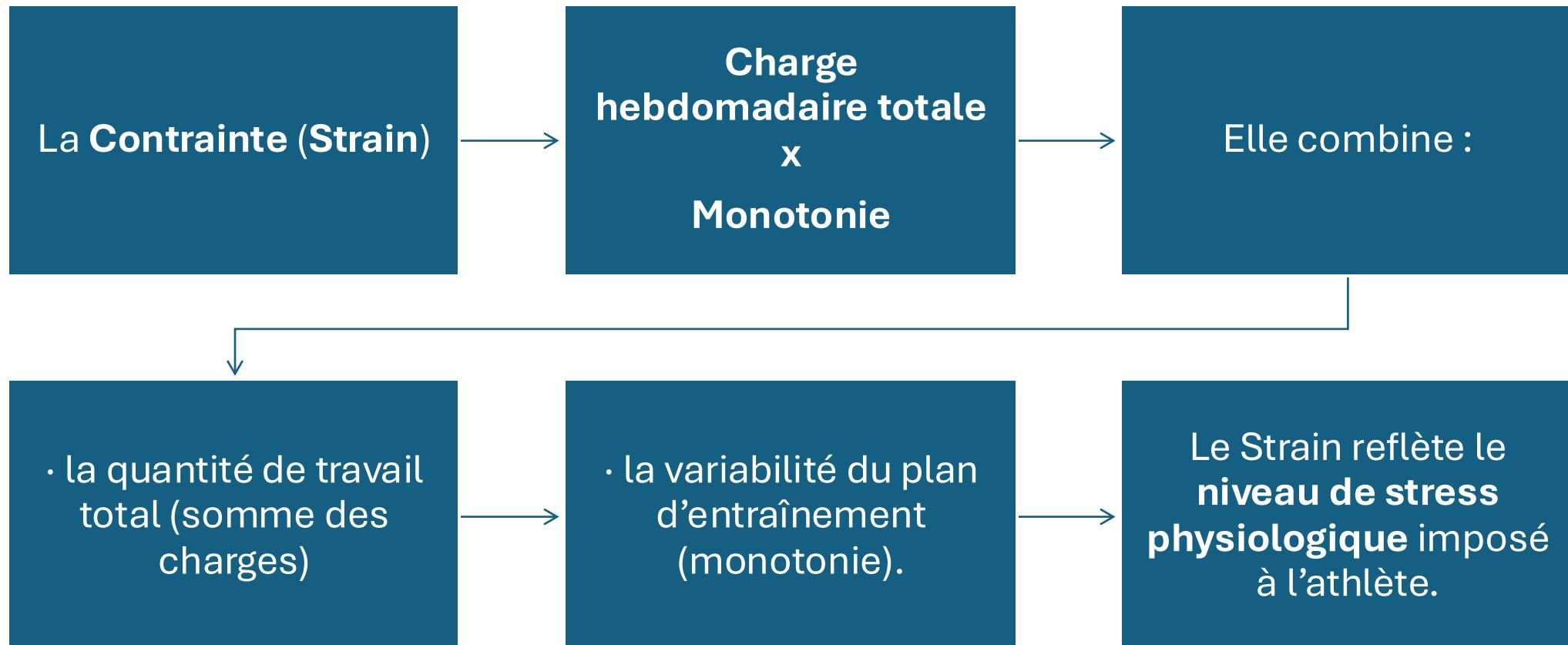
Quantifier selon Foster, 1998

En complément des UA
Monotonie, Écart-type et Contrainte-stress



Quantifier selon Foster, 1998

La Contrainte



Quantifier selon Foster, 1998

L'importance de la Monotonie et de la Contrainte

Une charge de travail importante associée à de la monotonie peut engendrer un syndrome de surentraînement. C'est pourquoi, il est important de varier la charge d'entraînement dans la semaine de façon à diminuer l'index de monotonie. Variez les séances en intensité, en volume et en thématiques de travail.

Grâce au contrôle de ses deux valeurs, nous allons favoriser :

- une meilleure adaptation physiologique aux stimuli variés
- une bonne récupération de la fatigue
- éviter la lassitude à l'entraînement
- bien gérer le stress physique et mental de l'athlète
- anticiper les problèmes de santé.