



Ecole Polytechnique Palaiseau  
3 avril 2025

# La variabilité de la fréquence cardiaque au service de la performance mais aussi de la santé



Laurent Schmitt, PhD Biologie  
Mail: [hrvperformance@gmail.com](mailto:hrvperformance@gmail.com)  
Sites : <https://www.hrvperformance.fr>  
<https://www.hrvcheckup.com>

# Qui suis je ?

- J'ai été pendant 38 ans responsable du département Performance et Recherche au centre National d'entraînement des équipes de France de Ski Nordique et 10 ans entraîneur de l'équipe de France de ski de fond. J'ai eu à cœur de trouver des moyens permettant d'individualiser au maximum les entraînements en fonction de chaque individu pour qu'ils puissent exprimer au mieux leur potentiel, tout en préservant, voire en améliorant leur santé.
- Docteur en biologie, j'ai développé mes recherches dans l'entraînement en hypoxie/altitude, les effets physiologiques des différentes intensités d'entraînement, l'analyse de la variabilité de la FC pour individualiser l'entraînement, diagnostiquer la fatigue et proposer les remédiations adaptées au type de fatigue ... Je suis chercheur associé à l'Université de Lausanne (laboratoire des sciences du sport) et formateur des entraîneurs nationaux toutes disciplines à l'INSEP.

# Comment je suis arrivé à développer ces suivis ?

- J'ai eu la chance de rencontrer des chercheurs et en particulier le Dr Jean Pierre Fouillot, qui est sans aucun doute l'un des premiers à s'être intéressé à la VFC, mais aussi les Pr Jacques Regnard et Grégoire Millet avec lesquels j'ai publié dans des revues scientifiques le résultat de nos études.
- J'ai à mon actif 77 publications scientifiques, le suivi de + de 800 sportifs et 8000 tests de variabilité de la fréquence cardiaque

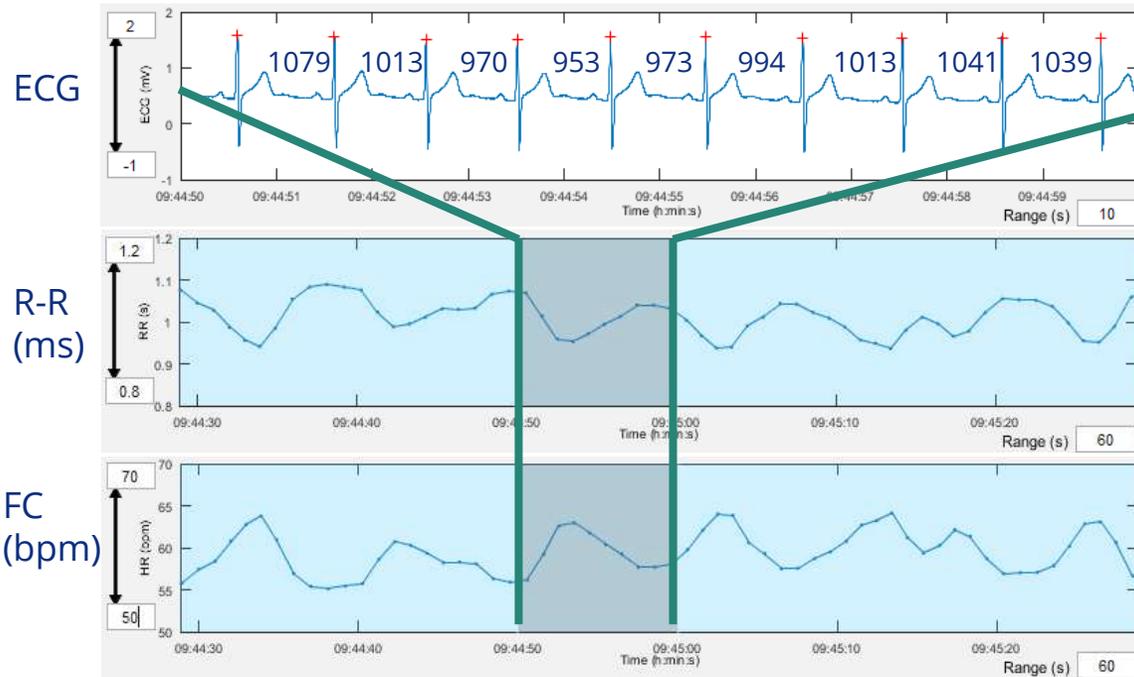
# Qu'est-ce que la Variabilité de la Fréquence Cardiaque (VFC) ?

- Le cœur isolé dans une solution saline bat à 100 bat/minute de façon autonome, très régulièrement, comme un métronome

• Dans notre organisme, il est modulé par l'activité des systèmes parasympathique et sympathique du système nerveux autonome (SNA). On observe alors une irrégularité des écarts (millisecondes) entre les pics R du complexe ECG : **Variabilité de l'intervalle RR ou encore Variabilité de la Fréquence Cardiaque (VFC)**

- De nombreuses études ont montré que cette VFC apportait des informations essentielles sur la qualité de fonctionnement de notre organisme car elle est en lien direct avec l'activité de notre système nerveux autonome c'est à dire la partie de notre système nerveux qui organise (sans qu'on y intervienne), toutes les actions physiologiques nécessaires, pour le meilleur fonctionnement possible de notre organisme.

# Qu'est-ce que la Variabilité de la Fréquence Cardiaque (VFC) ?



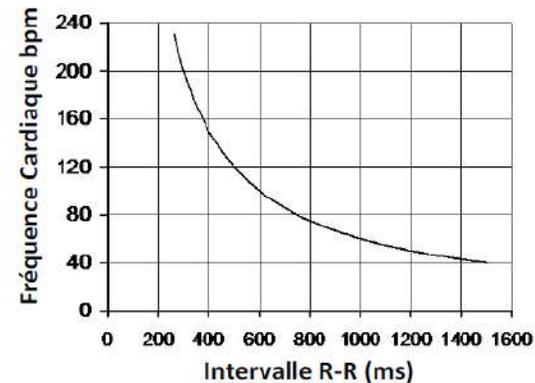
Passage de l'ECG au périodogramme R-R (ms), puis au graphe de la FC (bpm) montrant VFC  
(ECG sur 10 secondes d'enregistrement et enregistrement R-R sur 60s)

L'observation battement à battement de la FC, ou des intervalles (en millisecondes) entre les battements (intervalles R-R), a montré qu'il existait une variabilité plus ou moins importante entre les écarts de ces battements.

Le terme de variabilité de la FC (VFC) a été retenu pour décrire à la fois les effets de variations instantanées de FC et des intervalles R-R (Task Force 1997).

Pour Berntson et al. 1997, la formule appropriée devrait être :  
variabilité de l'intervalle R-R.

$$FC \text{ (bpm)} = 60000 / RR \text{ (ms)}$$



# VFC et âge

Kuo et al. (1999) Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate. Am J Physiol 277: 2233-2239

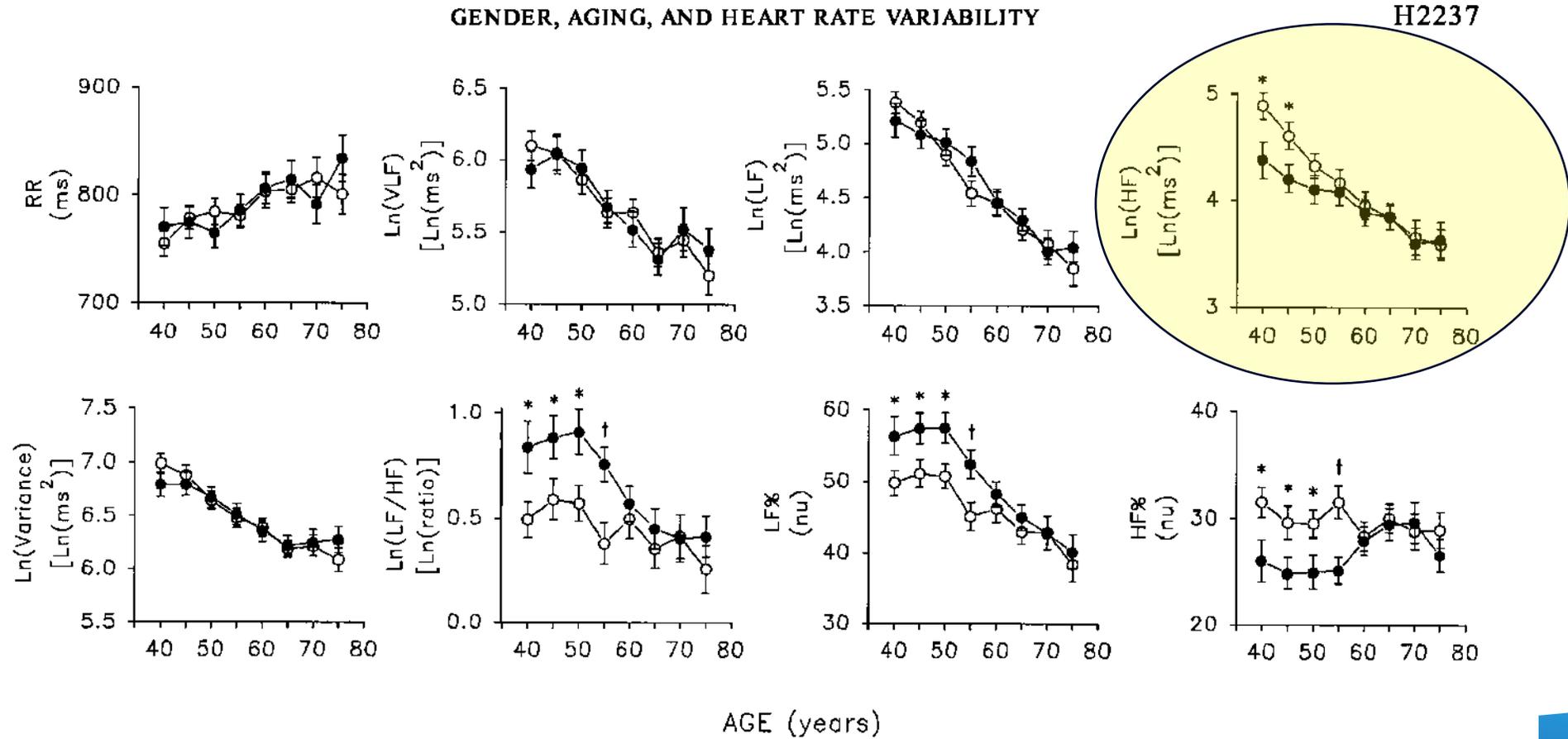
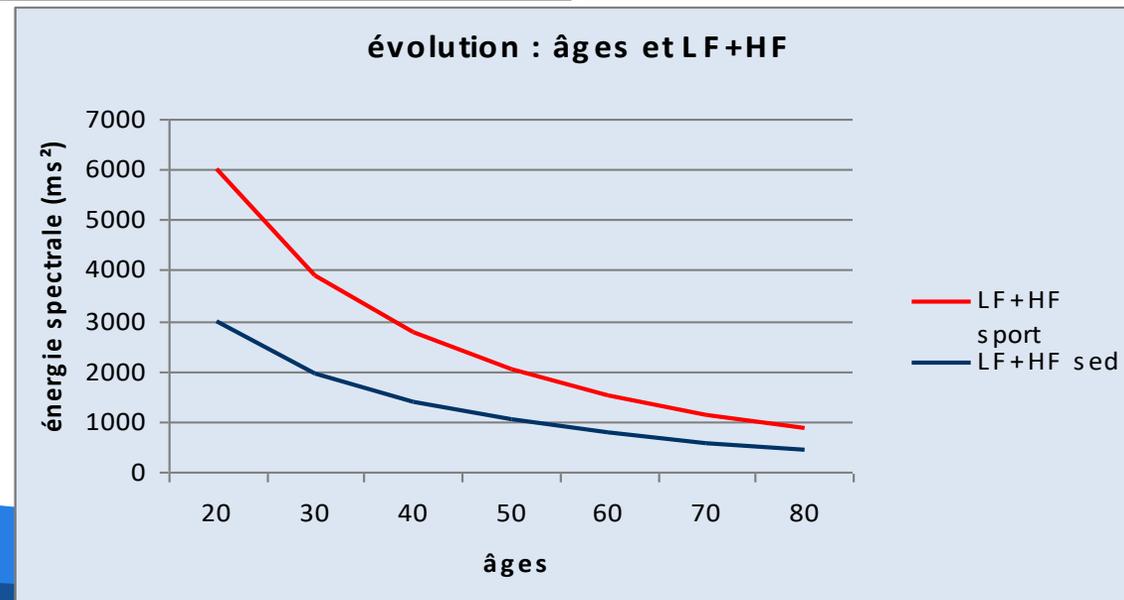
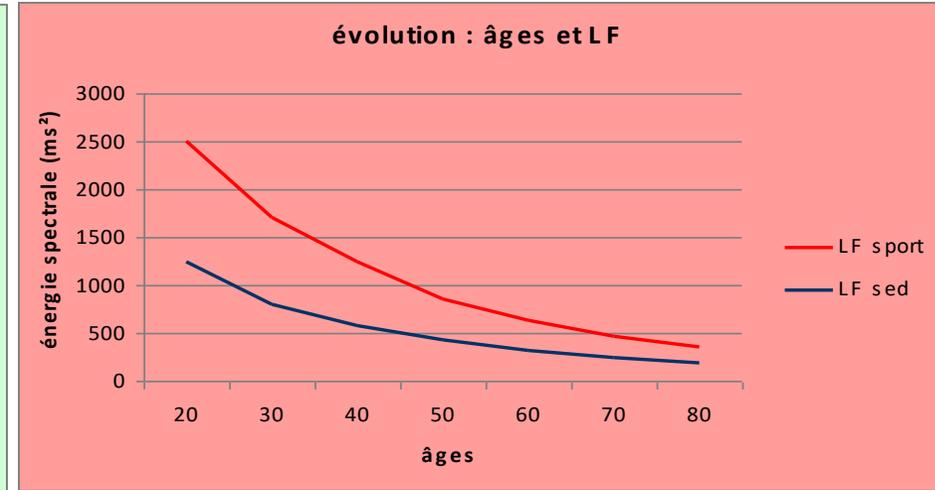
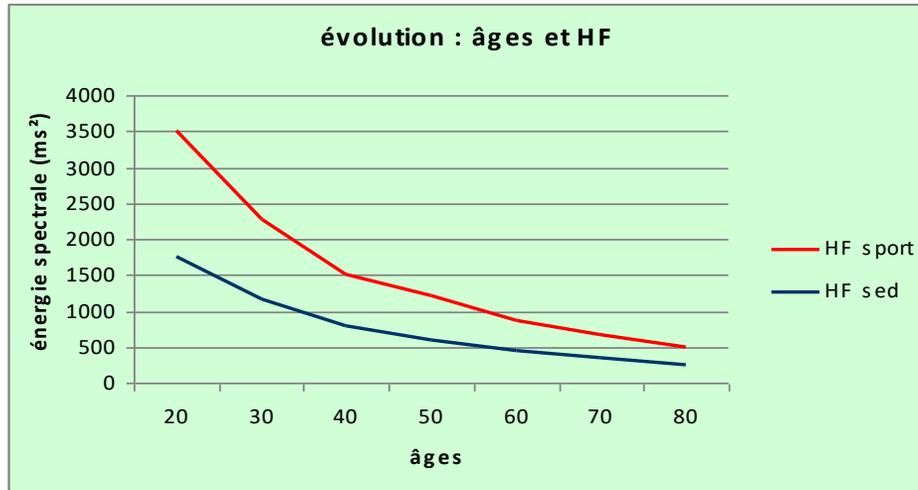


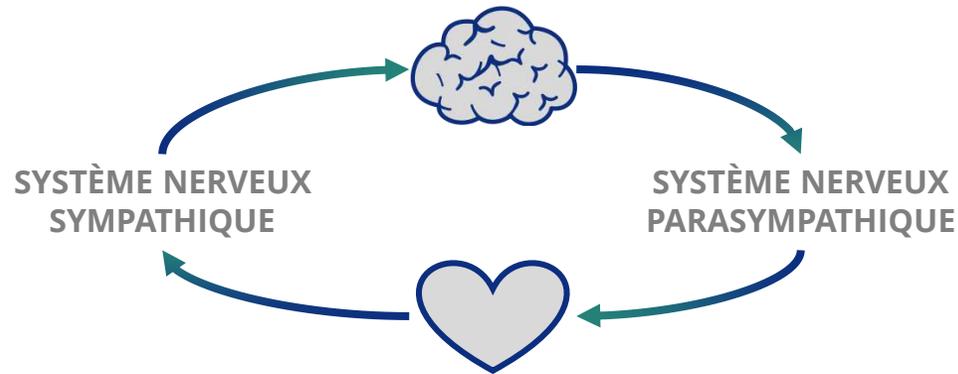
Fig. 2. Effect of gender and age on all measures of heart rate variability at 5-yr intervals from 40 to 79 yr. ●, Male; ○, female. Values are means  $\pm$  SE; nu, no units (normalized). \* $P < 0.05$ ; <sup>2</sup> $P < 0.01$  between genders by Student's *t*-test.

# VFC et âge (en décubitus)



# Relations entre VFC et Système Nerveux Autonome

## Régulation du rythme cardiaque (sinusal)



$$FC = F_{Ci} \times SNS \times SNP$$

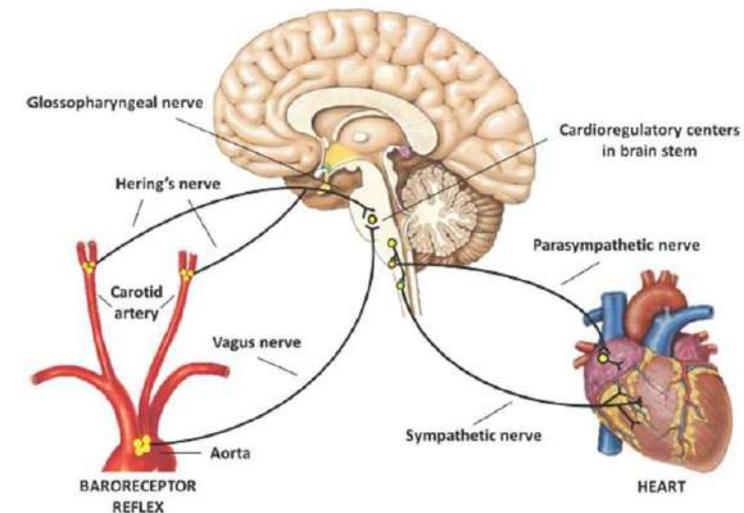
FC = fréquence cardiaque ; F<sub>ci</sub> = FC intrinsèque

Source : Rosenblueth et Simeone. Am J Physiol 1934; 110:42-55

## Relations entre le système nerveux autonome et le coeur

Le cœur est sous la double influence **parasympathique** et **orthosympathique** comme tous les organes.

En étudiant son fonctionnement (par VFC), et en étudiant aussi la régulation des pressions sanguines, il est possible d'investiguer l'activité du SNA et d'en mesurer de manière non invasive son niveau d'activité, ses niveaux d'énergie para et orthosympathique.



# Le Système Nerveux Autonome (SNA)

Le système nerveux autonome contrôle le « monde intérieur » (en association avec le système endocrinien). Son activité est indépendante du contrôle volontaire et fonctionne de façon autonome. Il accorde les fonctions des organes internes aux besoins de l'organisme. Le contrôle par voie nerveuse permet une adaptation très rapide tandis que le système endocrinien règle l'état des fonctions à long terme

Pratiquement, il contrôle:

La contraction/relaxation des muscles lisses (vaisseaux et viscères)

Les sécrétions exocrines (endocrines)

L'activité cardiaque

Le métabolisme énergétique

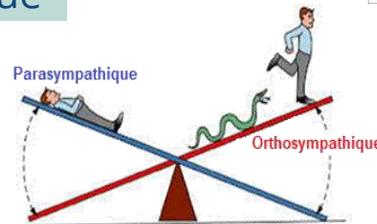
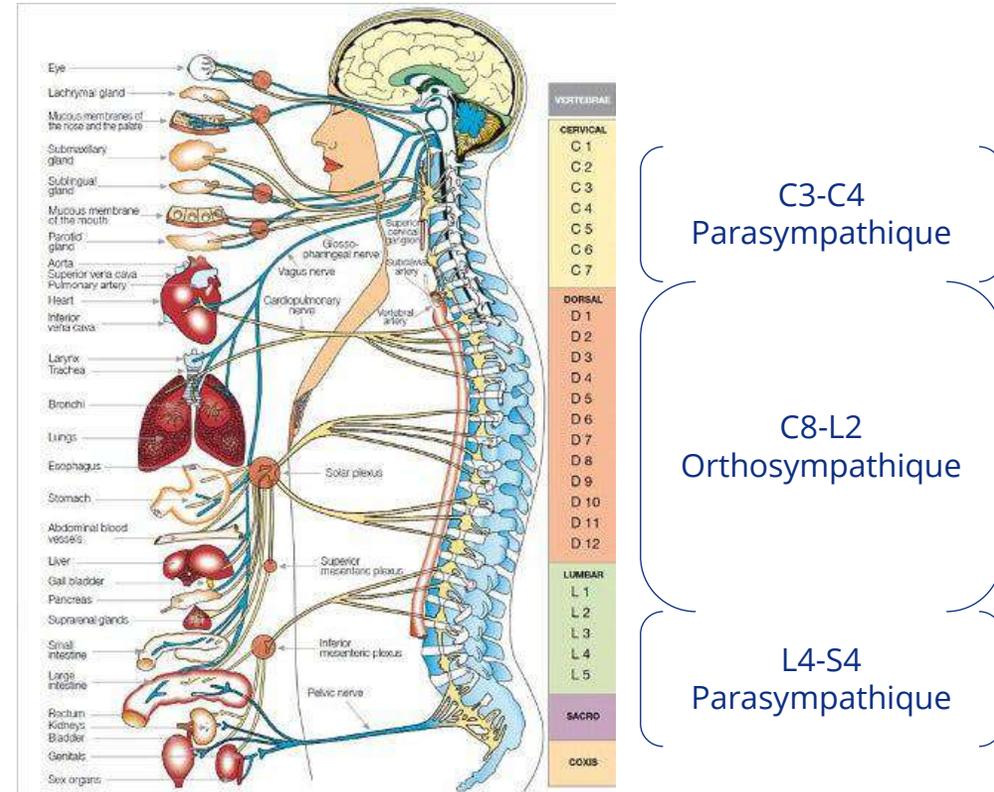
Le système immunitaire...

Il est composé de deux sous-systèmes: parasympathique et orthosympathique (ou sympathique) ayant des actions antagonistes sur le fonctionnement physiologique

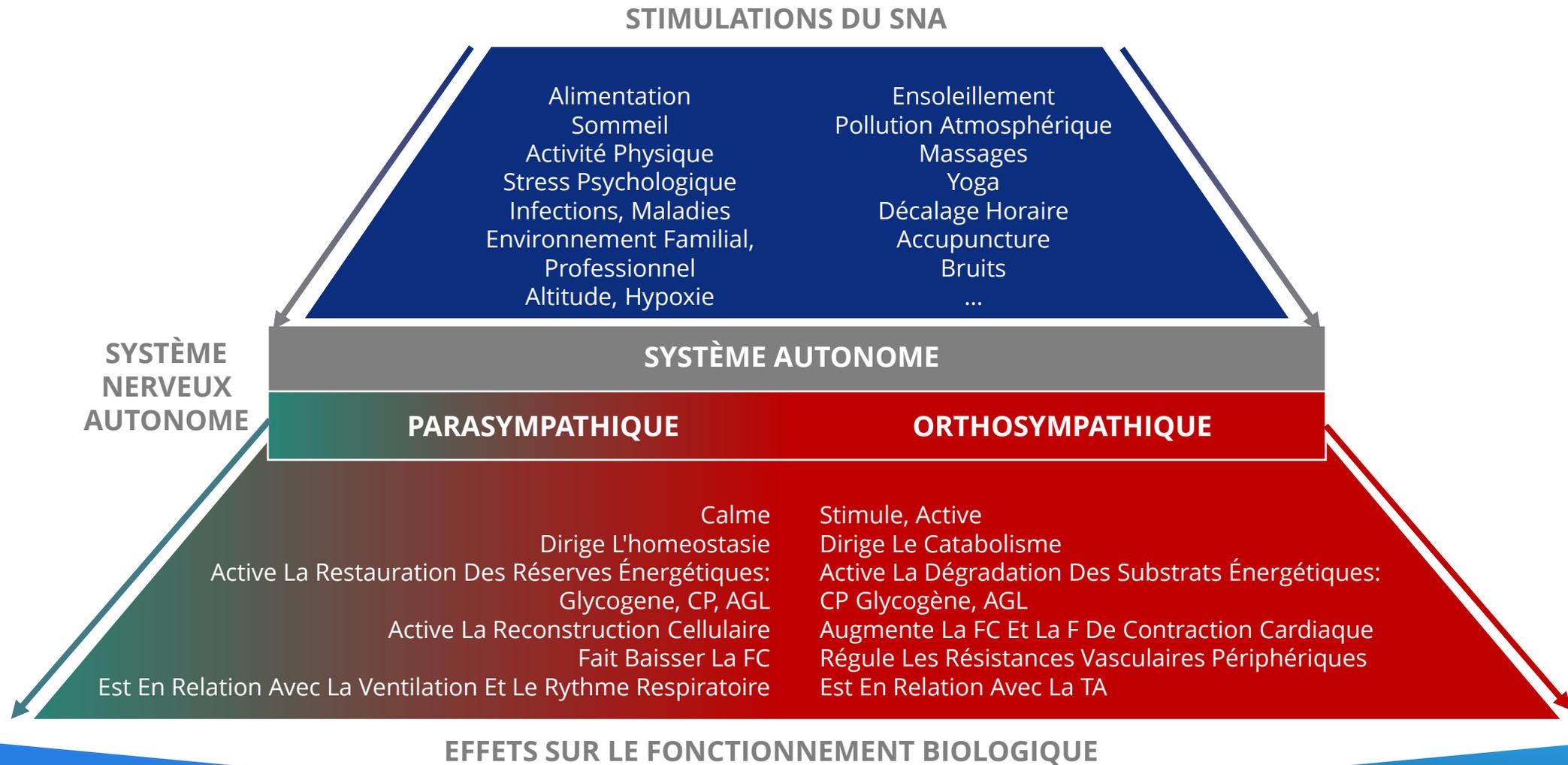
De manière archaïque :

parasympathique = récupération, reconstruction métabolique

orthosympathique = activation, fuite, combat



# Le Système Nerveux Autonome (SNA)



# Comment mesure-t-on la VFC ?

- La prise de la mesure de la VFC est simple, mais demande quelques règles pour qu'elle soit fiable :
  - 1. Comme on l'a vu, tout ce que l'on fait et vit influence l'activité de notre SNA, il est donc important de faire ces tests toujours dans les mêmes conditions physiologiques, Le moment le plus stable est le matin, après avoir été aux toilettes, avant le petit déjeuner.
  - 2. On enregistre la fréquence cardiaque, avec une ceinture cardio-fréquence-mètre, qui enregistre le rythme cardiaque **battement par battement**. Il est très important d'avoir une mesure précise de l'intervalle RR en millisecondes. On utilise soit l'ECG soit une ceinture thoracique. Les enregistrements en PPG ne sont pas suffisamment précis pour une analyse VFC fiable.
  - Le test VFC (ou Tilt Test Actif) validé scientifiquement, consiste à rester 5mn couché, puis se lever et rester 5mn debout sans bouger les pieds. La phase d'adaptation au changement de position est essentielle pour le diagnostic de certains types de fatigue.

# Comment mesure-t-on la VFC ?

## PRÉPAREZ VOTRE TEST HRV



### Avant de positionner votre cardiofréquencemètre:

- votre peau doit être propre sans crème ou huile pour le corps.
- Vous pouvez utiliser une petite éponge afin de nettoyer la zone de contact avec les électrodes

### Positionner votre cardiofréquencemètre:

- Veillez à ce que les électrodes soient placées juste sous les pectoraux ou la poitrine.
- Pour assurer un meilleur contact ne pas hésiter à mettre un gel neutre ou humidifier la peau



# Comment mesure-t-on la VFC ?

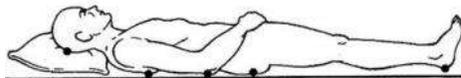
## RÉALISEZ VOTRE TEST HRV

### Position couchée et debout

L'enregistrement débute



Vous pouvez glisser l'écran vers la gauche pour avoir un chrono.

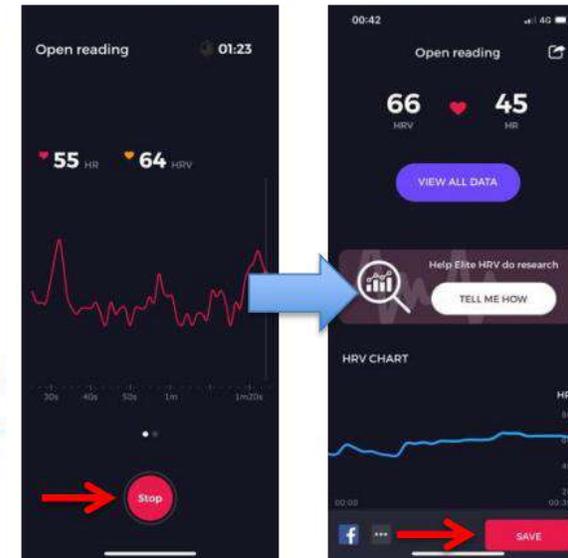


Après 5' levez-vous calmement (sans arrêter l'enregistrement), cherchez une position debout agréable les bras le long du corps. **Gardez la posture 5'.**



**Restez immobile, sans déplacer les pieds, ni exercer de pressions alternées d'un pied sur l'autre malgré une gêne possible sur les jambes. Soyez relâché en gardant l'esprit libre**

A la fin du test appuyez sur « Stop », puis « Save ».  
Retirez votre ceinture cardio



# Comment analyse-t-on la VFC ?

- Les données de FC (RR) de l'enregistrement sont récupérées simplement par le biais d'une application (exemple : EliteHRV).
- Son analyse est beaucoup plus complexe et s'appuie sur une combinaison de méthodes mathématiques (analyses temporelles, fréquentielles, non linéaires, fractales) dont on va retenir plusieurs indicateurs (FC, RMSSD, VLF, LF, HF, LF/HF, SD1, SD2, SD2/SD1, DFA  $\alpha$ 1...)
- Ces différentes données vont permettre de pouvoir diagnostiquer l'activité du système nerveux autonome de façon quantitative mais aussi qualitative en dissociant les activités **parasympathique** et **orthosympathique**, qui de façon simplifiée, représentent notre système de réparation cellulaire, de restauration des réserves énergétiques et notre système activateur, qui commande la puissance de dégradation des substrats énergétiques.

# Méthodes d'analyse

## Les méthodes de mesure des variabilités cardiovasculaires

Le but de l'analyse VFC est d'examiner les modulations du rythme sinusal sous l'influence du système nerveux autonome

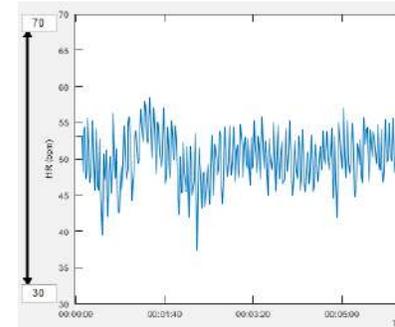


Pour obtenir des résultats cohérents dans l'analyse VFC, le choix de la période à analyser est déterminant. La période d'analyse suppose une stationnarité du système nerveux autonome pour obtenir des valeurs comparables dans le temps.

On préconise une phase préalable de repos en position couchée de 2 minutes avant l'évaluation VFC. Cette phase correspond à une mise au calme pendant laquelle la FC diminue et donc l'intervalle RR s'allonge. Il faut choisir une période stable sur laquelle ne figurent pas d'artefacts ou alors les corriger au préalable comme préconisé. Etant donné les biais induits par la correction, il est préférable d'avoir un enregistrement non parasité.

### Analyses temporelles

- statistique
- géométrique
- analyse de Poincaré



### Analyses spectrales

- non paramétrique par transformée de Fourier
- paramétrique, auto-régressive
- temps fréquence

### Analyse par ondelettes

### Analyse non linéaire

- analyse fractale
- « detrended fluctuation analysis » (DFA)
- entropie...

# Méthodes d'analyse

Quelle méthode choisir pour analyser VFC ?

## Objectif 1:

*Quelle est l'importance de la variabilité ?*

Variabilité dans le domaine temporel et analyse géométrique

## Objectif 2:

*Quels sont les rythmes sous-jacents ?*

*Quel est leur signification physiologique ?*

*Quelle est la puissance de chacun des rythmes sous-jacents ?*

Variabilité dans le domaine fréquentiel

## Objectif 3:

*Quel est le degré de complexité ou de similarité de ses rythmes ?*

Variabilité dans le domaine non linéaire

# Méthodes d'analyse

Donc afin d'optimiser tout ce que peut nous apporter l'analyse VFC il faut associer des méthodes d'analyse différentes car elles ne mesurent pas les mêmes paramètres et n'apportent pas les mêmes informations.

Pour avoir une idée de l'amplitude totale VFC, de son aspect quantitatif, on utilise la méthode de l'analyse temporelle. On va obtenir le diagramme de dispersion des données (histogramme), avec notamment le SDNN (écart type), le RMSSD (racine carrée de la moyenne des différences au carré des intervalles RR successifs), le nuage de point construit dans le temps par la relation  $n$  et  $n+1$  et les indicateurs SD1 et SD2 (écarts type). Dans cette approche on a tendance à dire que plus ces valeurs sont élevées et plus l'amplitude VFC est importante, mieux s'est pour l'état physiologique.

Et si on veut avoir une estimation des phénomènes physiologiques qui influent sur VFC, on va alors utiliser la méthode fréquentielle ou spectrale. Par une décomposée de Fourier ou la méthode autorégressive, les systèmes d'ondes qui se combinent dans la VFC sont séparés en bandes de fréquences dans le graphe spectral et cela permet de mesurer les VLF (très basses fréquences qui sont en relation avec les systèmes hormonaux de la thermorégulation, les LF (basses fréquences en relation avec les influences prédominantes du système orthosympathique, mais aussi des phénomènes de régulation des pression (barorécepteurs), et aussi de l'influence parasympathique), et les HF (hautes fréquences qui représentent uniquement l'influence parasympathique sur VFC).

Si on veut savoir si les signal VFC est plutôt du bruit sans explications physiologiques sous jacentes on va appliquer une méthode d'analyse non linéaire comme l'analyse fractale ou le « detrended fluctuation analysis » (DFA) (analyse des fluctuations déviantes).

# Relations entre analyse fréquentielle de la VFC et SNA

En 1982 et 1985 Akselrod et al. et Pommeranz et al. ont mis en évidence grâce à l'action de bloqueurs chimiques des activités des branches du SNA parasympathique (par l'atropine) et orthosympathique (par le propanolol), les effets spécifiques des influences ortho et parasympathiques sur la régulation de la fréquence cardiaque. Le parasympathique fait baisser la FC alors que l'orthosympathique l'accélère.

Mais ils ont surtout montré dans le périodogramme de la VFC que les systèmes parasympathique et orthosympathique agissant de manière séparée étaient caractérisés par des systèmes de fréquences d'onde différentes.

L'influence parasympathique sur VFC produit des ondes de hautes fréquences (de 0.15 à 0.40Hz, soit 9 à 24 ondes par minute).

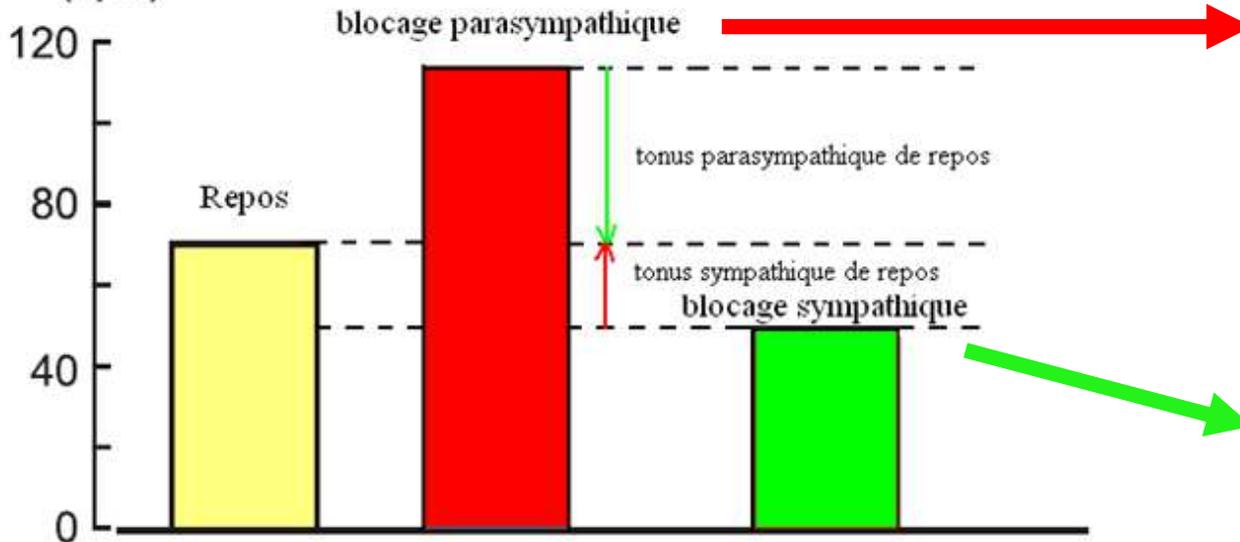
L'influence orthosympathique sur la VFC produit des ondes de basse fréquence (0.04 à 0.15Hz soit 2.4 à 9 ondes par minute).

Il devient alors possible d'estimer de manière indirecte et non invasive le niveau d'activité des systèmes ortho et parasympathique par l'analyse VFC et de ses systèmes d'ondes.

# Relations entre VFC et SNA

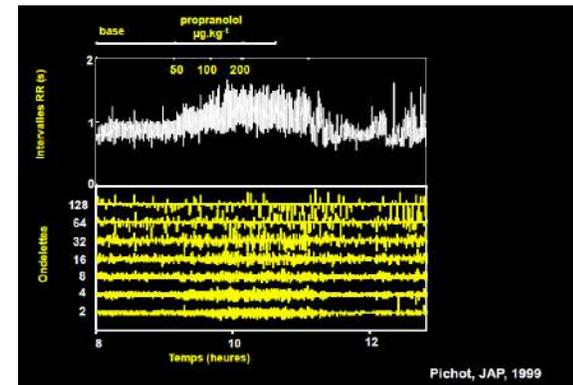
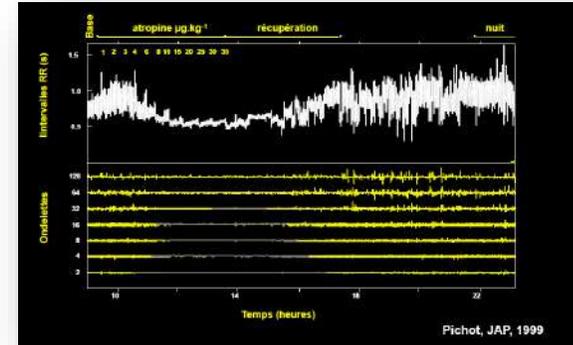
Akselrod et al. (1982), Pomeranz et al.(1985)

Fréquence cardiaque (bpm)



Propranolol bloque l'action du système sympathique

Atropine bloque l'action du système parasympathique



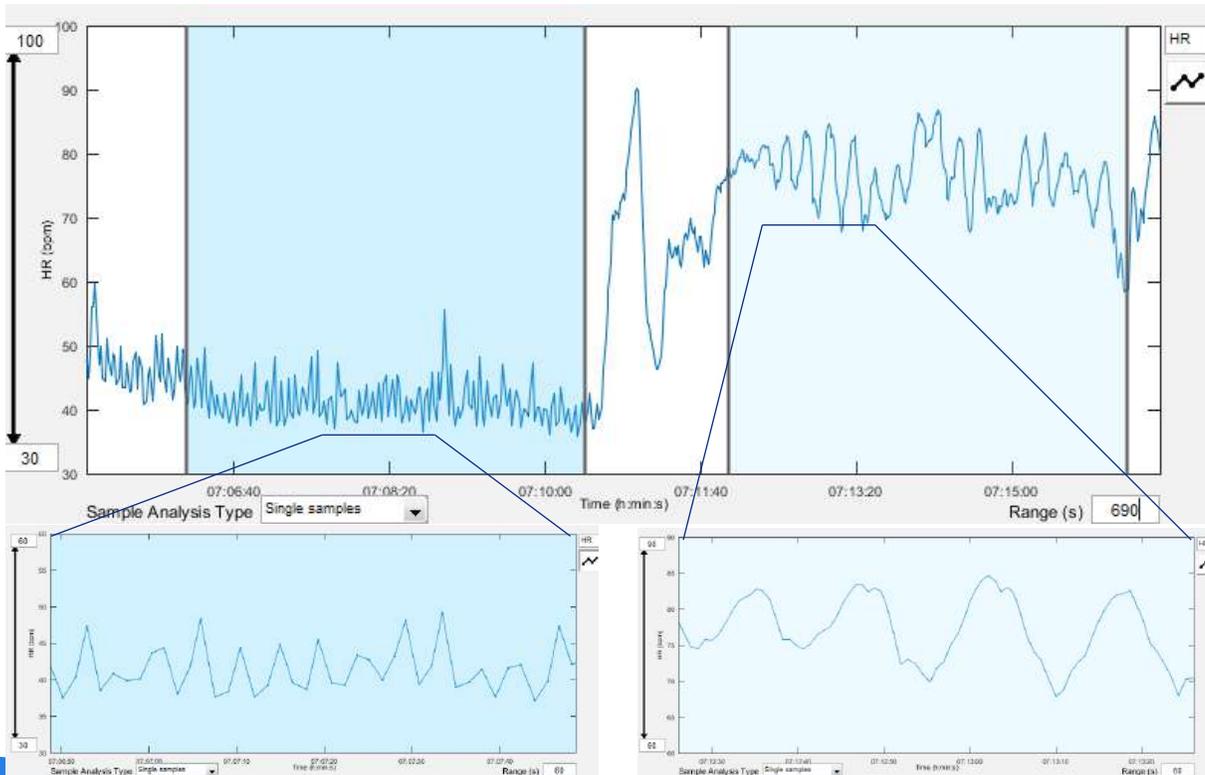
# Lecture des résultats de l'analyse de la VFC

- Ensuite, c'est une interprétation de ces différents résultats d'analyse qui va permettre, non seulement de savoir de façon précise quelle est l'activité du SNA donc l'état de santé de notre organisme, mais aussi si fatigue il y a, quel type de fatigue, et donc quelles remédiations proposer.

# Protocole Tilt test actif

Laurent Schmitt et al. 2006, 2013

Couché: Fréquence respiratoire > 9 cycles / minute et FC dans la norme du sujet



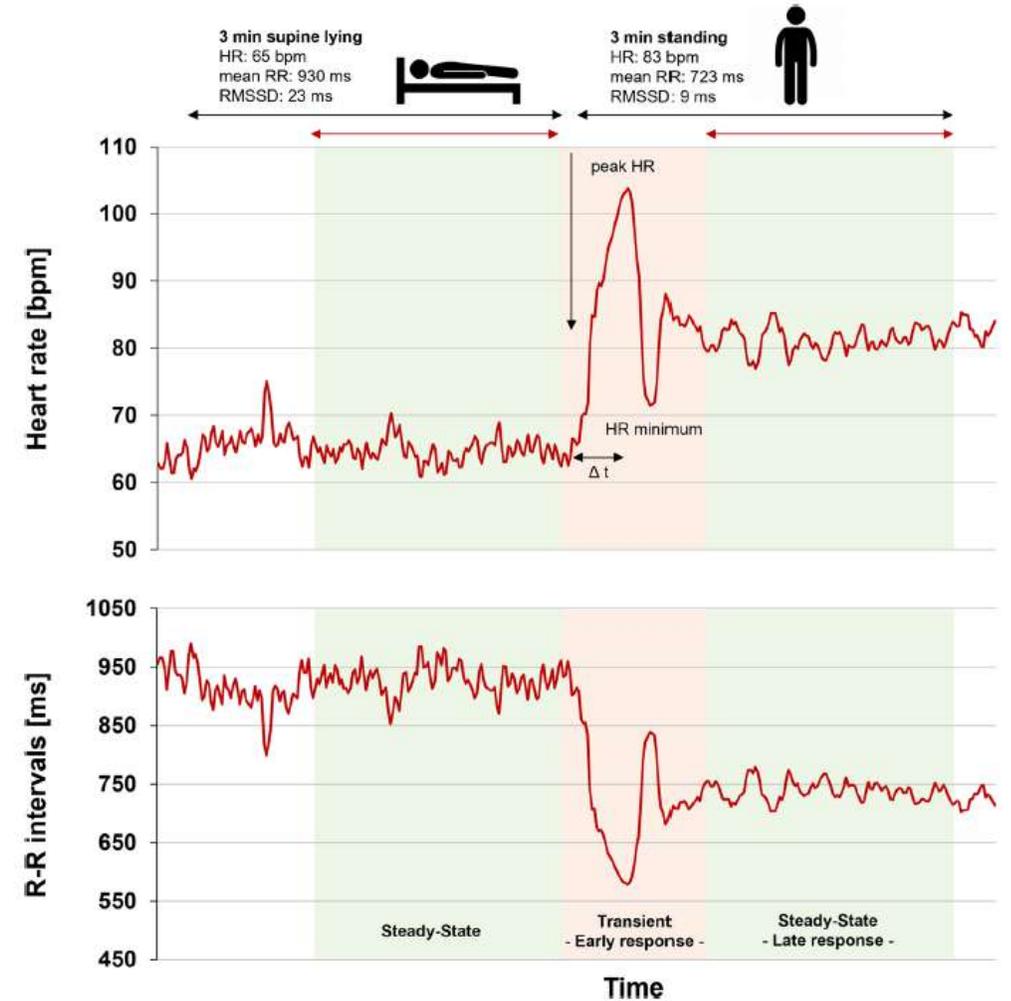
FR 12 cycles/mn

TA 4 cycles/mn

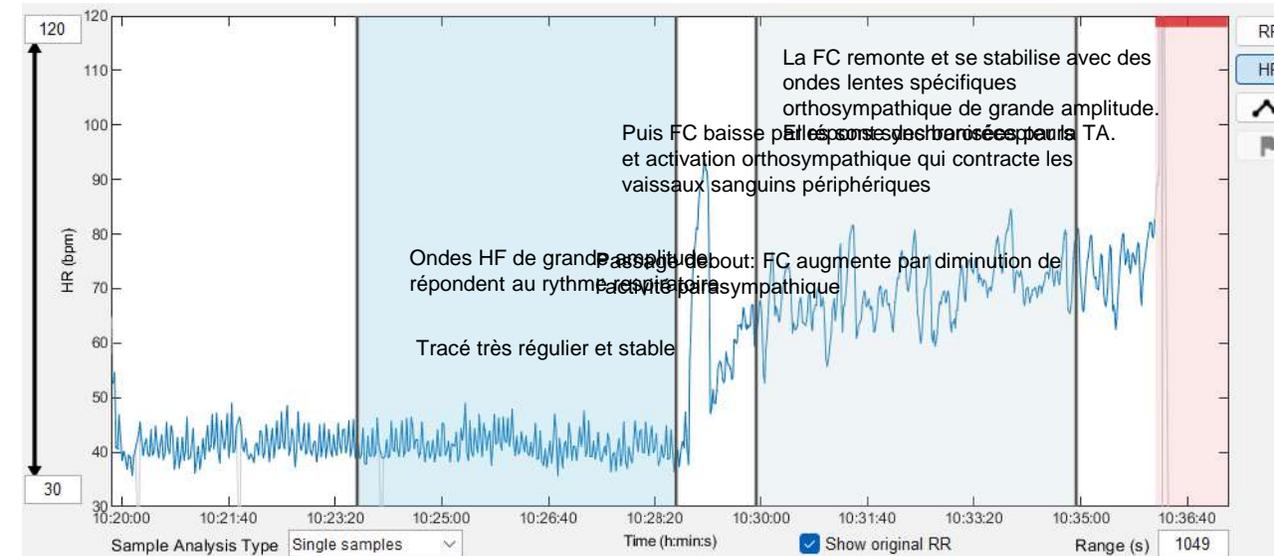
## Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice

Thomas Gronwald<sup>1,2</sup> · Marcelle Schaffarczyk<sup>1</sup> · Olaf Hoos<sup>3</sup>

Received: 6 May 2024 / Accepted: 28 August 2024  
© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2024

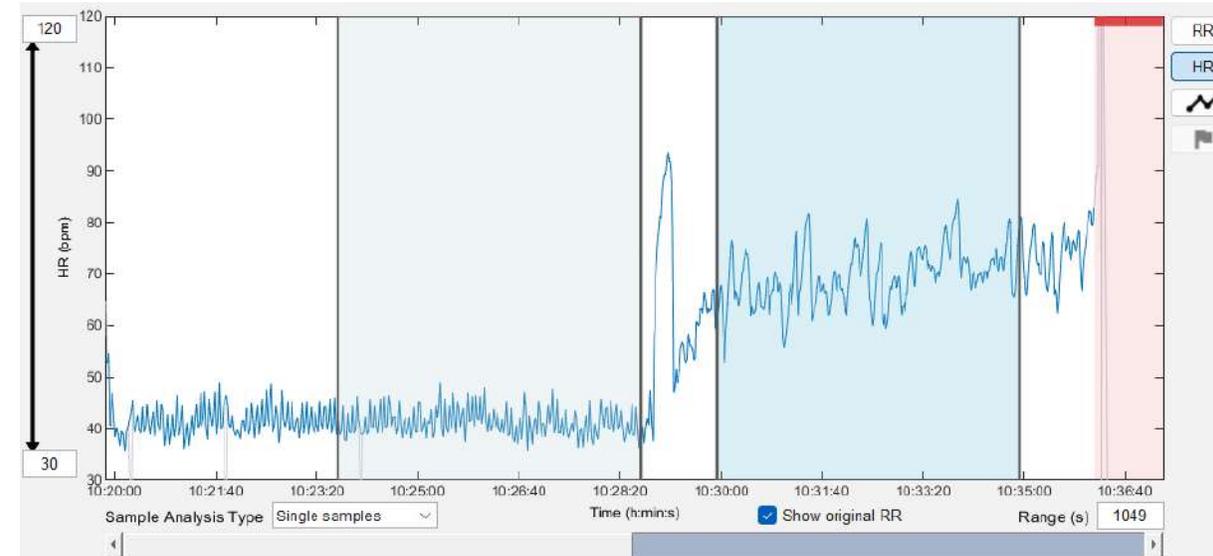


## Test VFC "idéal"



Couché

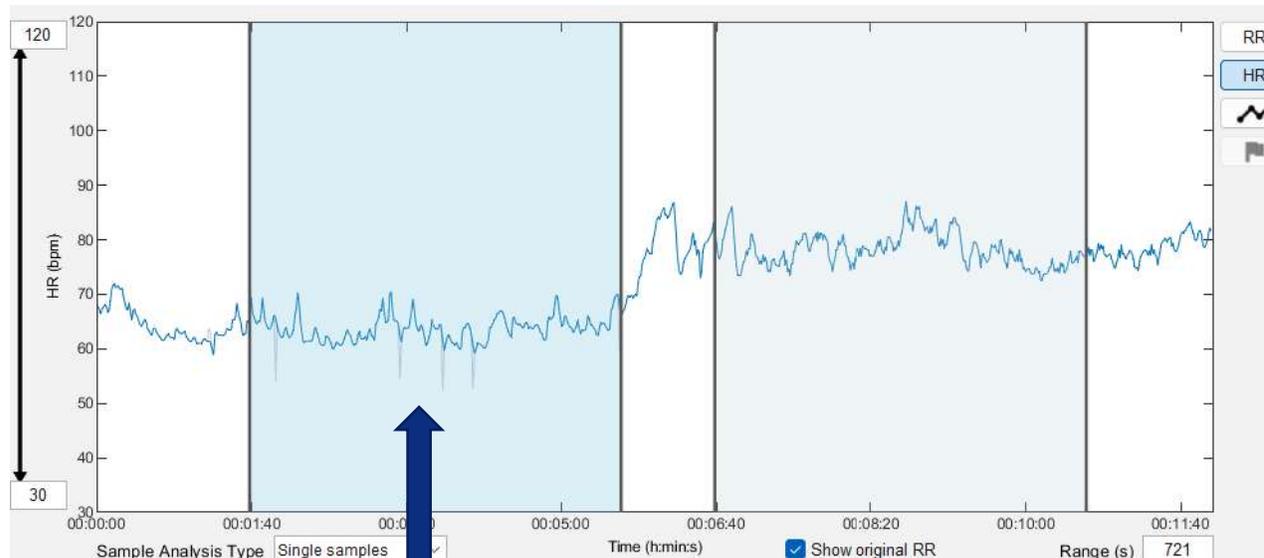
Tracé très régulier avec FC basse. Le synchroniseur dominant est la respiration (FR ; arythmie sinusale respiratoire) et les ondes de la VFC répondent à la FR. Le système parasympathique est puissant. La bande de fréquence HF est en pic très net.



Debout

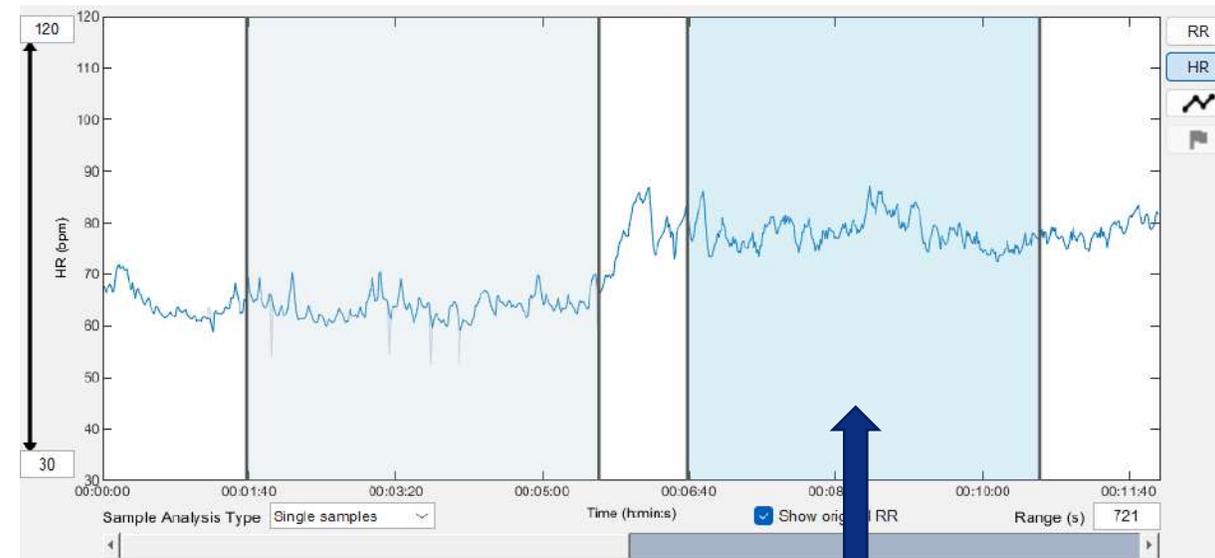
Tracé régulier avec FC augmentée de 30 bpm par rapport à la FC couché. Le synchroniseur dominant est la tension artérielle (TA). Le système orthosympathique est puissant. La bande de fréquence LF est en relation avec la fréquence de la TA (4 à 6 cycles/min).

## Test VFC avec fatigue de type hypotonie parasympathique avec dominante orthosympathique



Couché

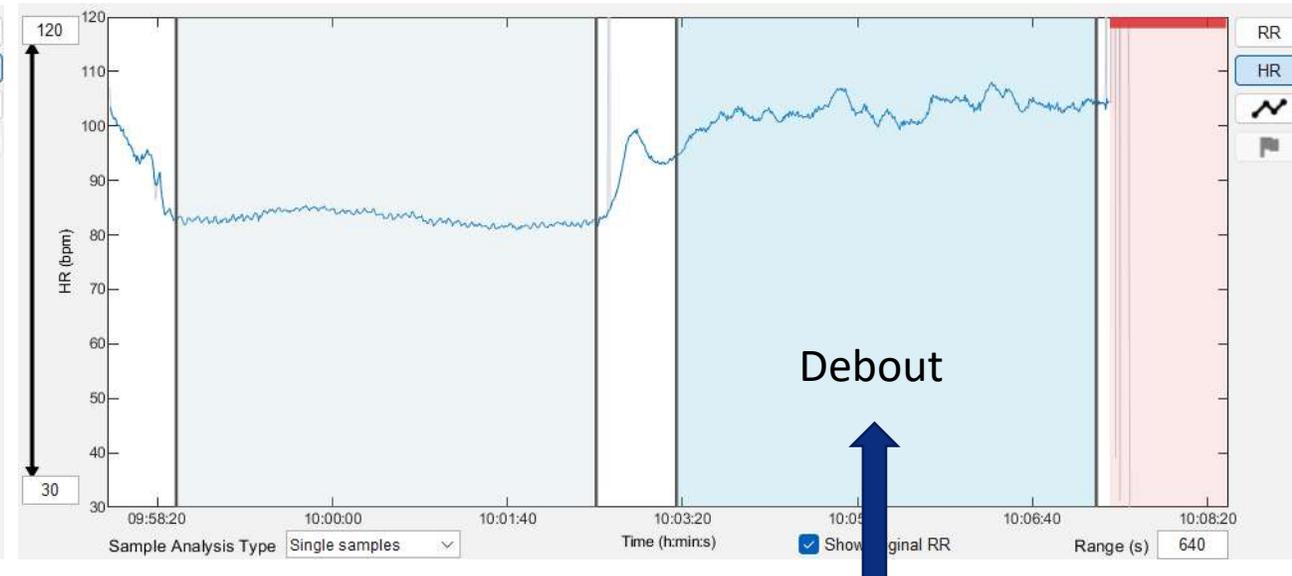
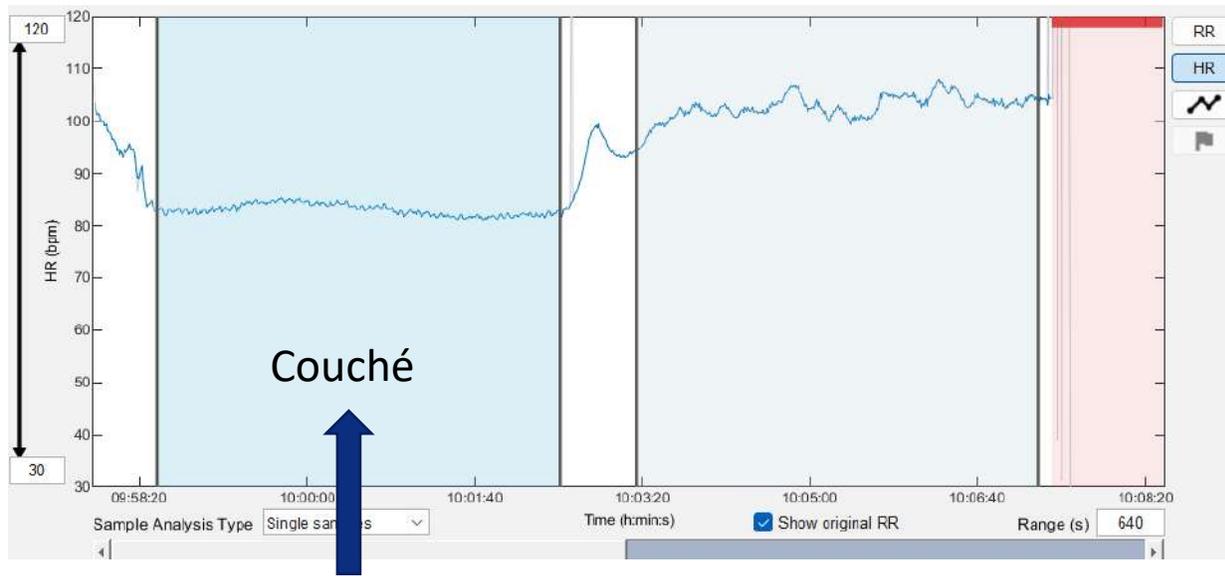
Tracé irrégulier avec FC qui est augmentée nettement par rapport à la norme du sujet. Le synchroniseur respiratoire n'est pas dominant ; dominante des basse fréquences de la régulation des pressions (tension artérielle). Hypotonie parasympathique forte avec dominante orthosympathique . Stress chronique.



Debout

Tracé assez régulier avec ondes de faible amplitude. Le synchroniseur dominant est la tension artérielle (TA). La puissance globale est très faible. Faible activation orthosympathique, sans problème d'hypotension (pas de dérive de la FC)

## Test VFC avec fatigue de type hypotonie parasympathique et orthosympathique

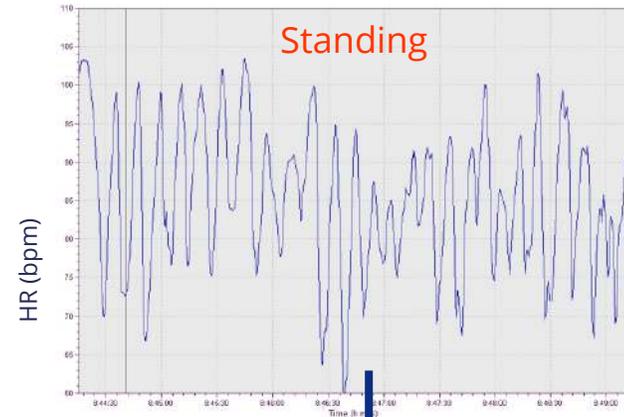
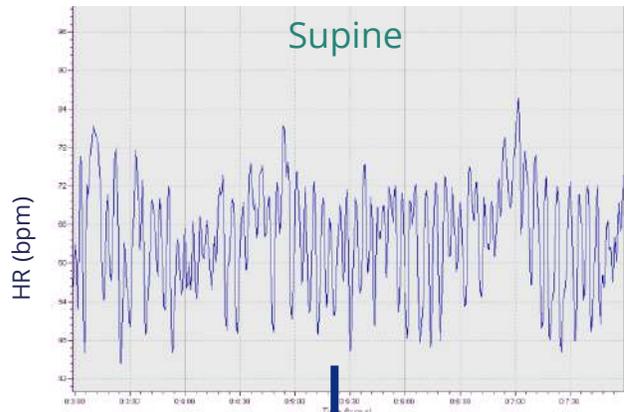


Tracé régulier avec FC qui est augmentée très fortement par rapport à la norme du sujet. Le synchroniseur respiratoire de la FR domine celui de la tension artérielle (TA) mais les ondes sont de très faible amplitude et la puissance spectrale est très faible. Hypotonie parasympathique très forte.

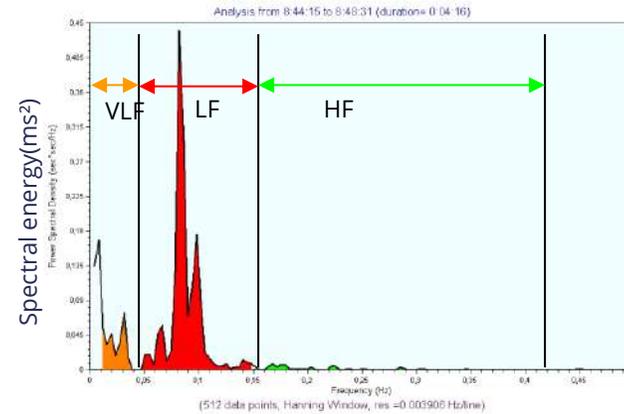
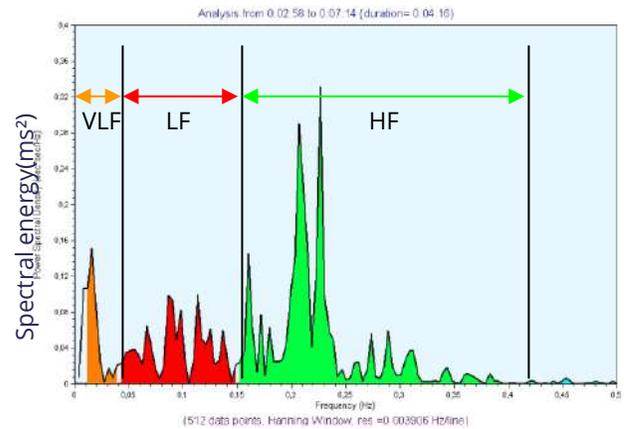
Tracé régulier avec ondes de faible amplitude. Le synchroniseur dominant est la tension artérielle (TA). La puissance globale est très faible. Hypotonie orthosympathique, sans problème d'hypotension (pas de dérive de la FC)

# Relations entre VFC et SNA

Energie Spectrale : Analyse fréquentielle par transformée de Fourier

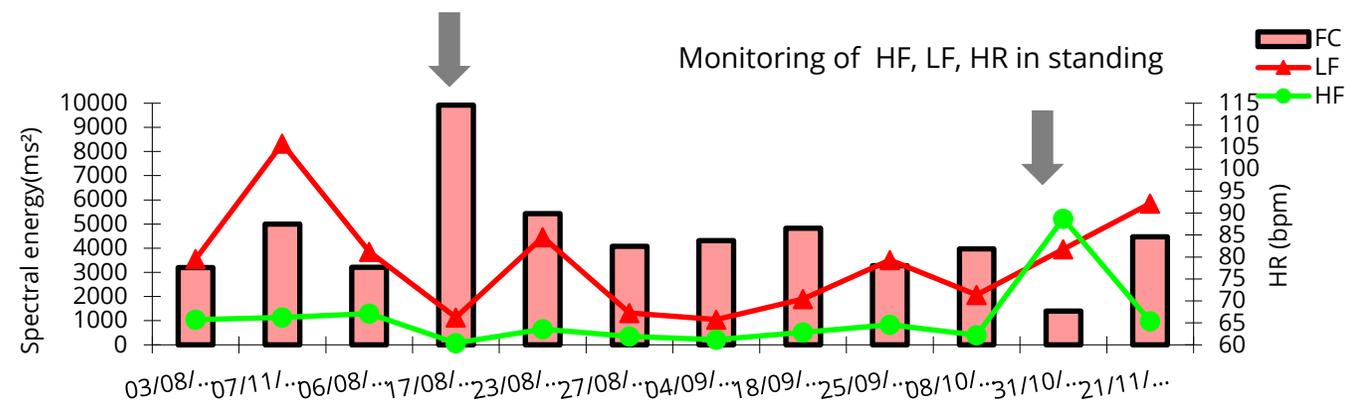
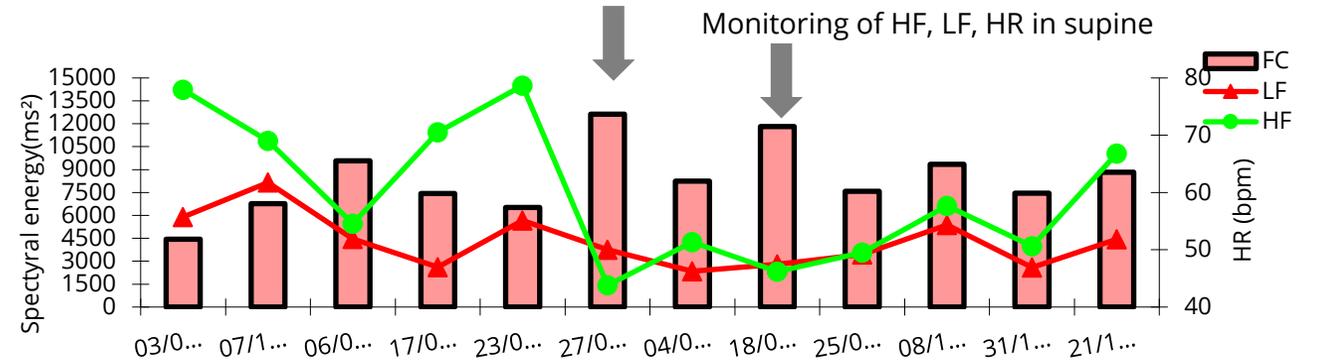
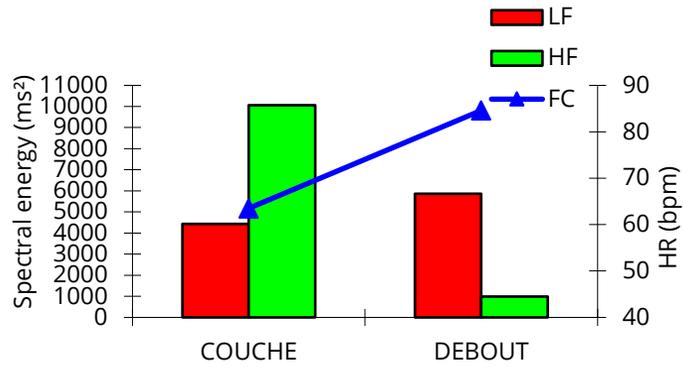


Fourier transform



# Relations entre VFC et SNA

Monitoring de la FC, et des bandes de basse fréquence (LF) et de haute fréquence (HF)



# Les différents types de fatigue

- Dans ma carrière j'ai eu la chance de suivre + de 800 athlètes de haut-niveau de nombreuses disciplines, ce qui représente plus de 8000 tests VFC analysés.
- Cette quantité de tests m'a permis à partir d'analyses mathématiques statistiques de montrer qu'il y a 5 types de fatigues différents qui demandent donc des remédiations différentes pour récupérer.
- Ces états de fatigues différents sont en lien avec l'activité globale du SNA, associés aux différents équilibres entre ses branches parasympathique et orthosympathique, associé au niveau FC, etc...
- L'analyse de ces tests demande donc de combiner de multiples facteurs, avec aussi ce que nous dit la personne sur ce qu'elle a vécu par exemple la veille et sur son ressenti



# Les différents types de fatigue

## 8 situations énergétiques

- 3 non-fatigue : TB, B et dégradé
- 5 fatigues :

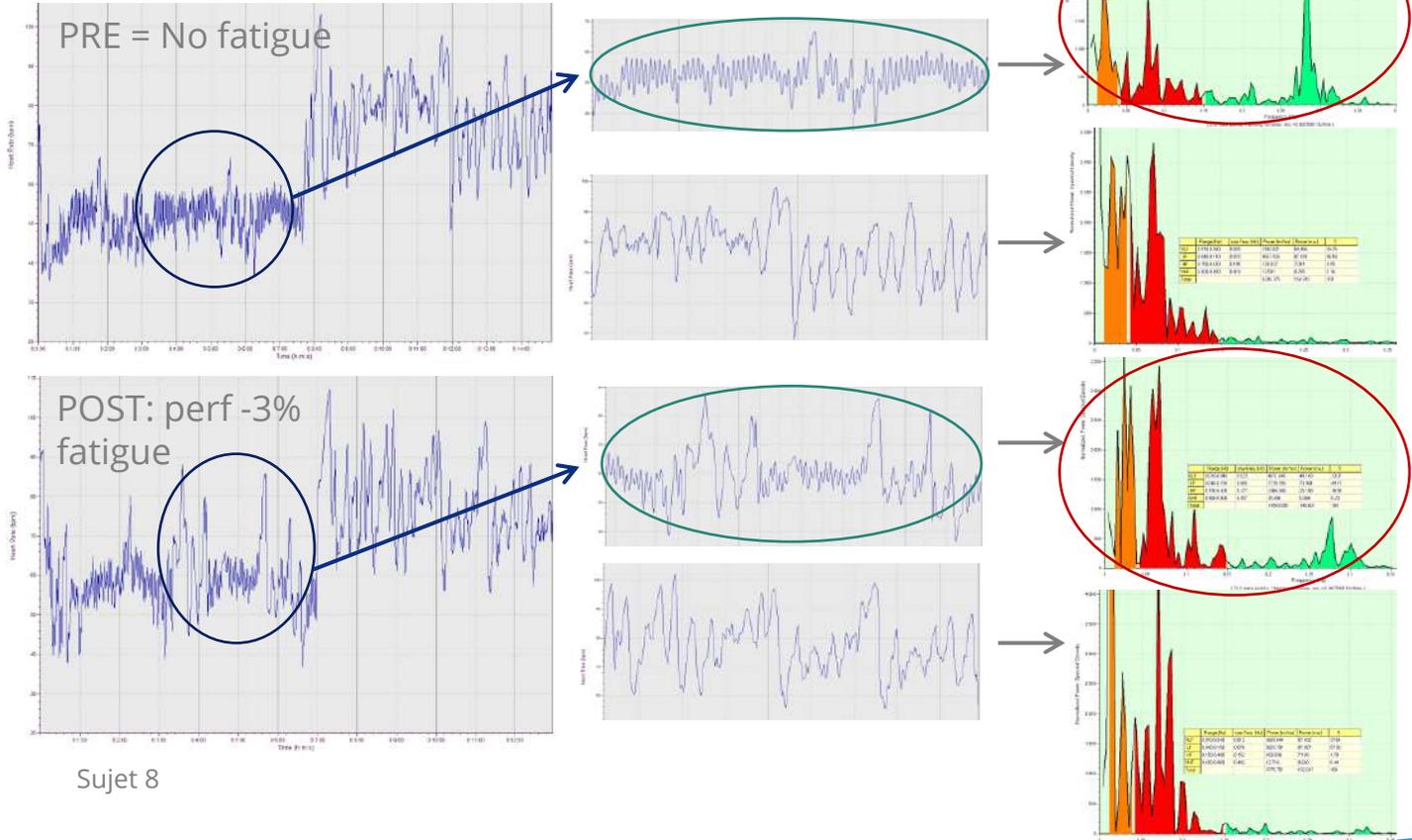
3 caractérisées en position couchée :

- Hypertonie orthosympathique
- Hypotonie para et ortho
- Hypertonie parasympathique

2 caractérisées en position debout :

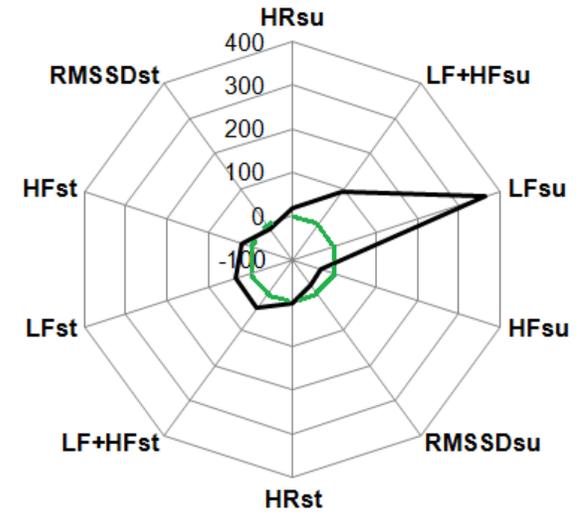
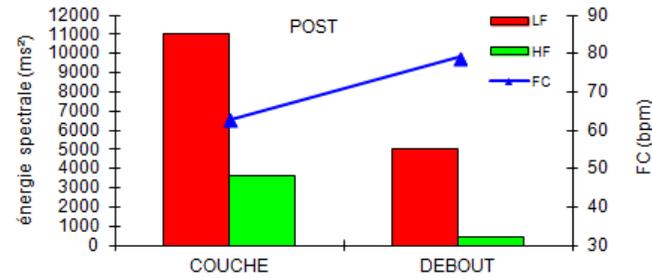
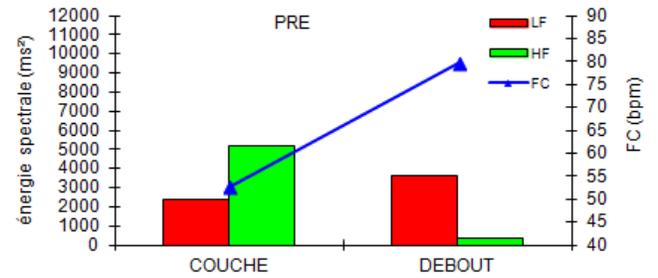
- Hypotonie orthosympathique
- Hypertonie parasympathique

### Fatigue de type hypertonie sympathique F(LF++)su



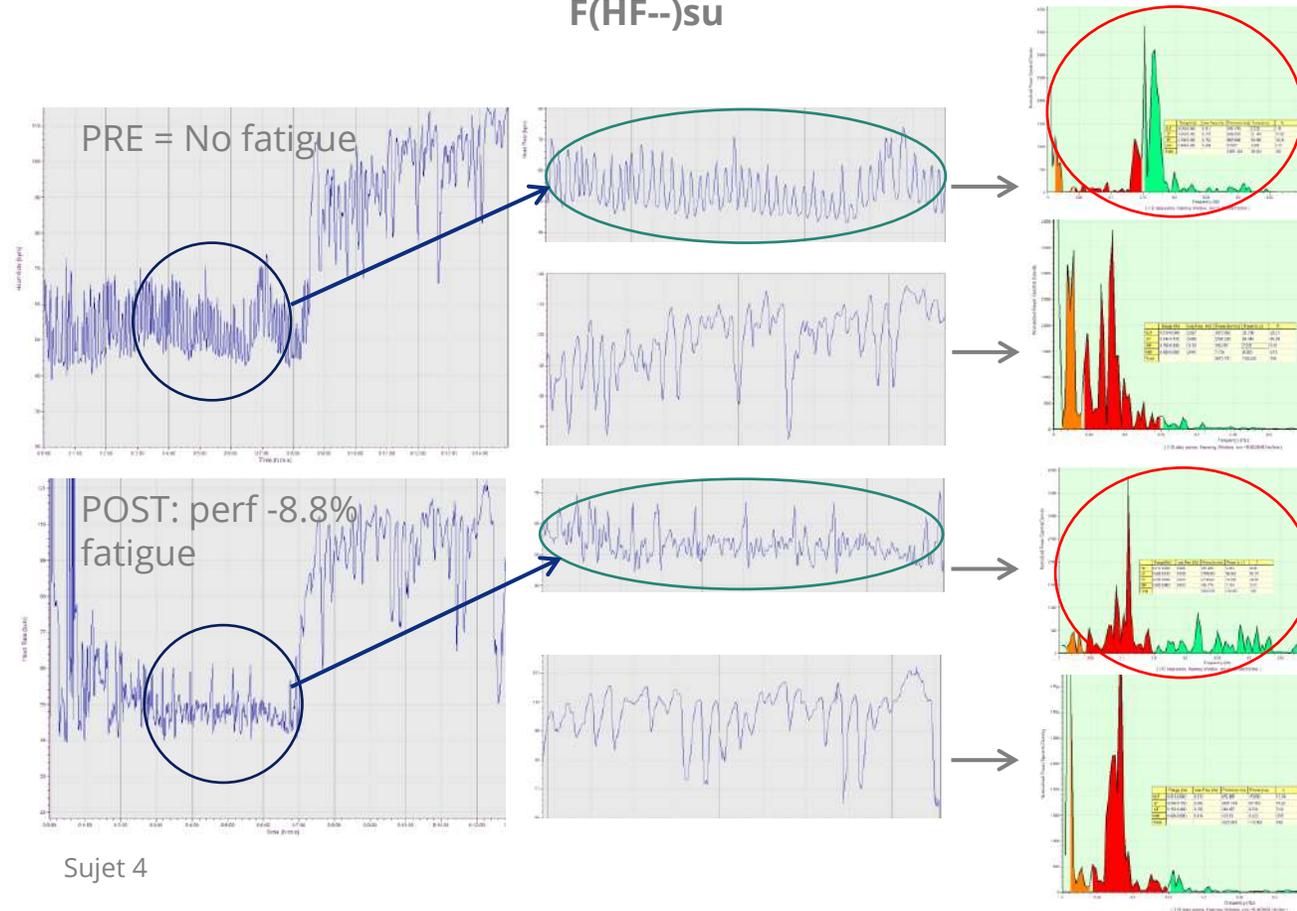
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypertonie sympathique F(LF++)su



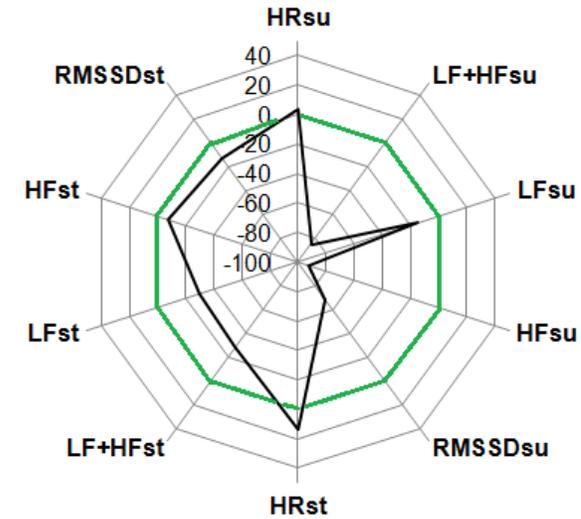
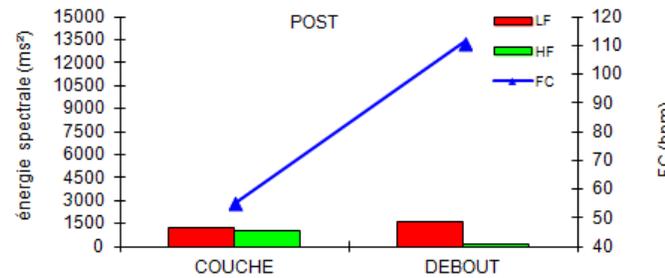
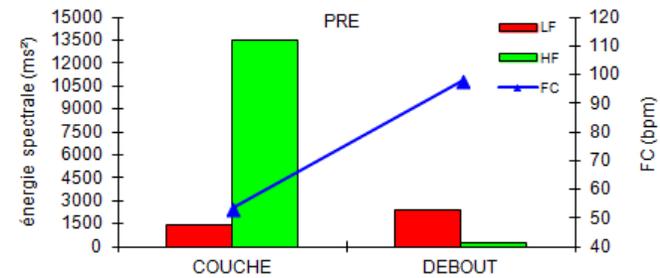
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypotonie sympathique et parasympathique F(HF--su)



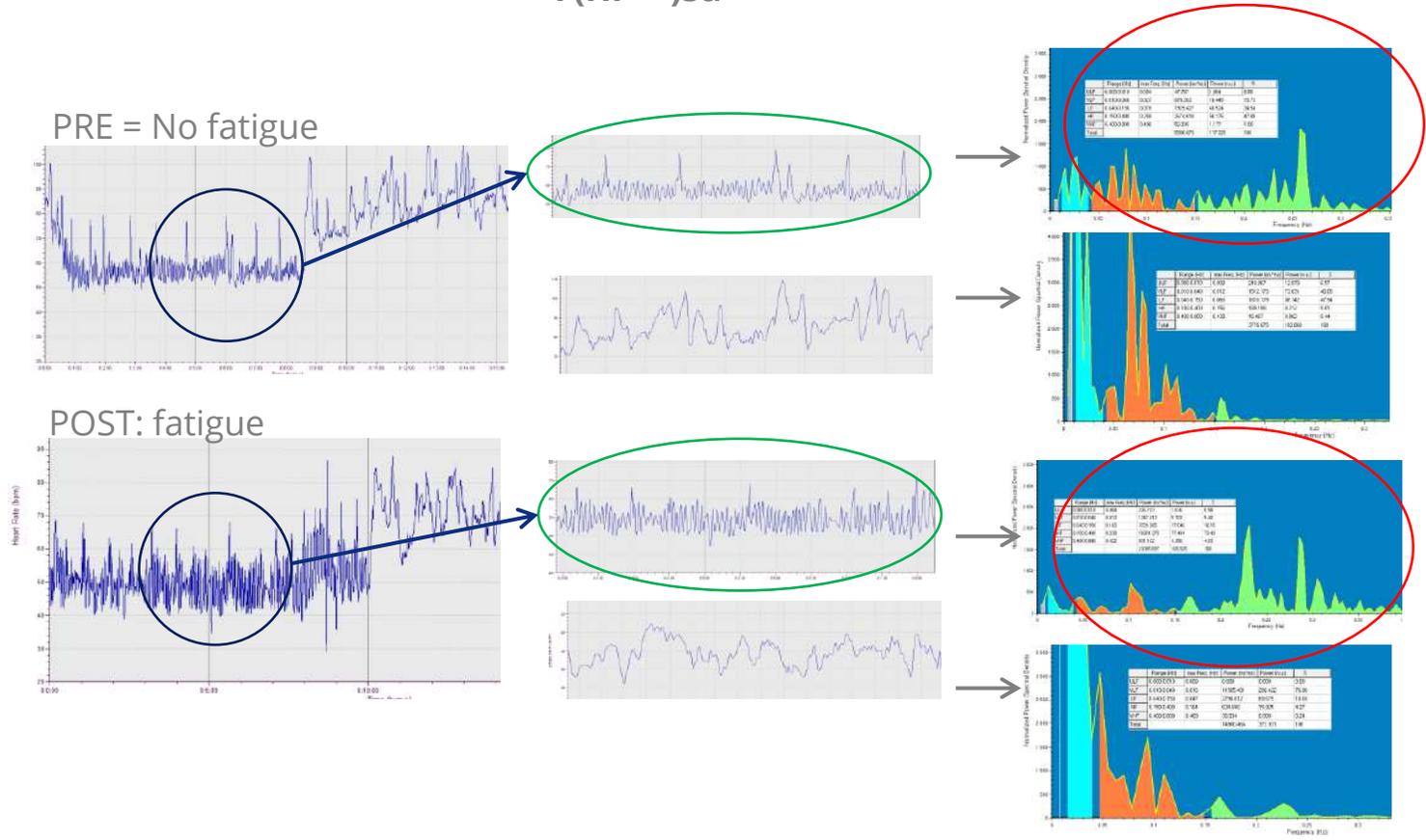
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypotonie sympathique et parasympathique F(HF--)<sub>su</sub>



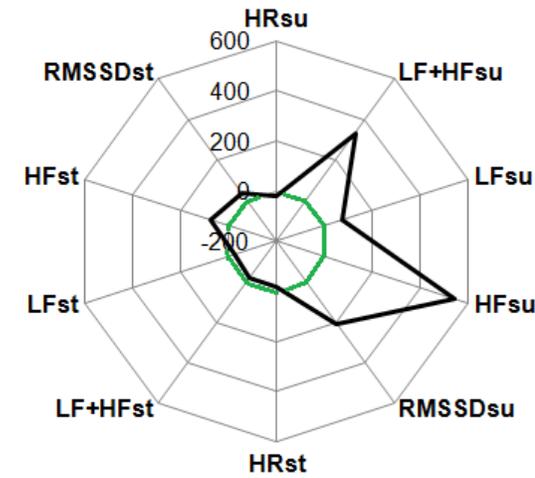
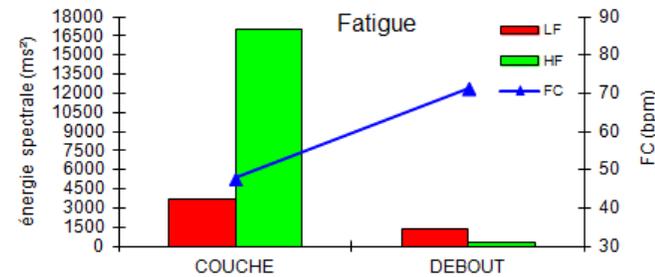
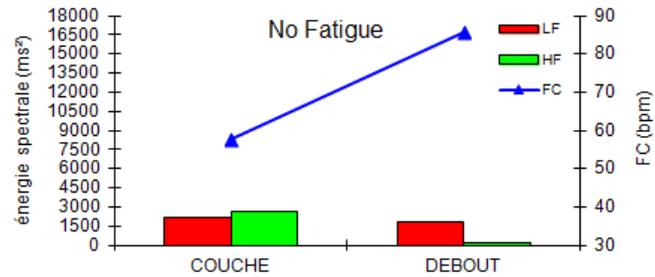
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypertonie HF couché F(HF++)su



# Les différents types de fatigue

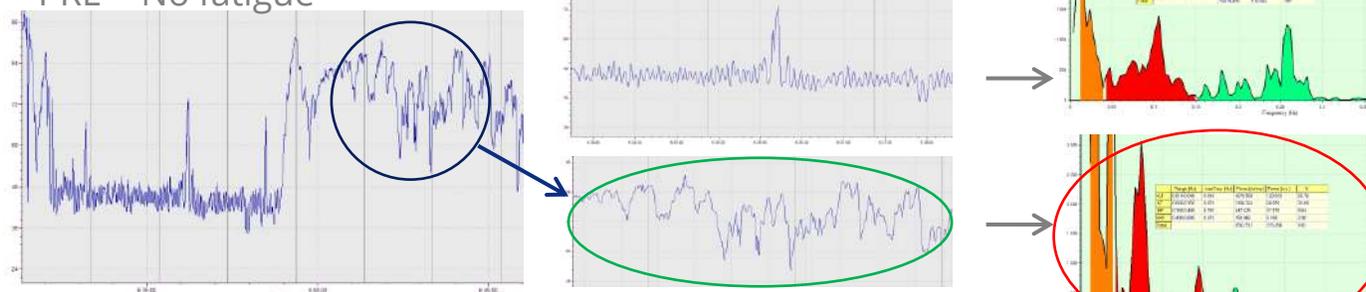
## Fatigue de type hypertonie HF couché F(HF++)su



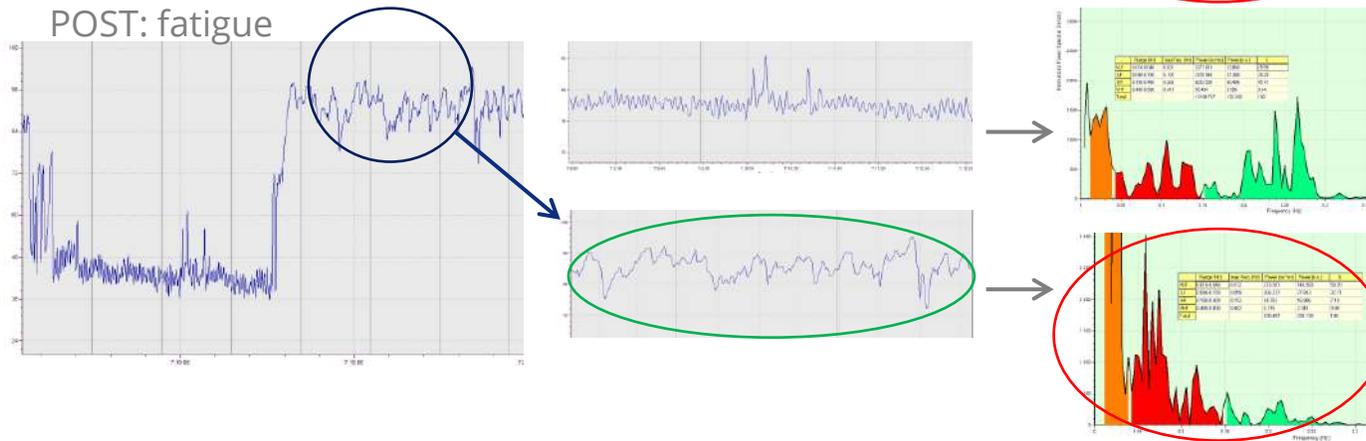
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypotonie LF debout F(LF)-st

PRE = No fatigue

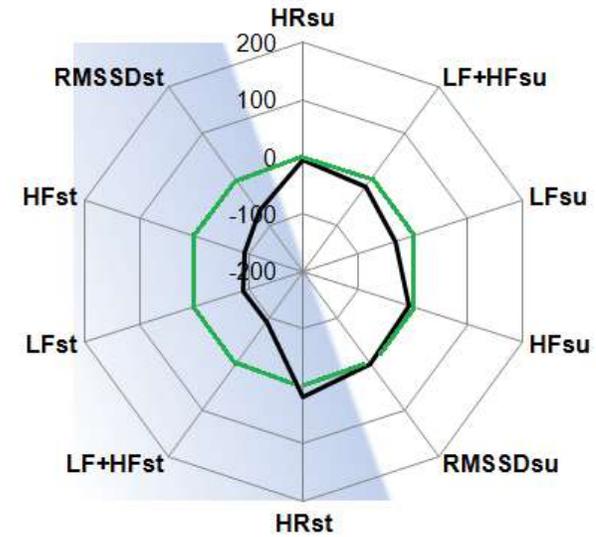
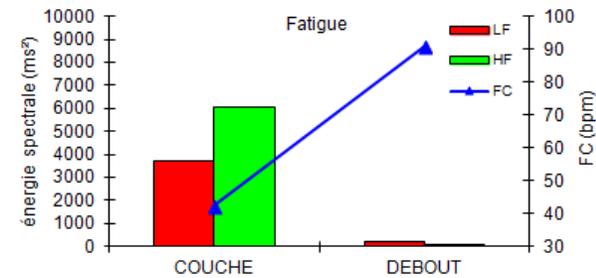
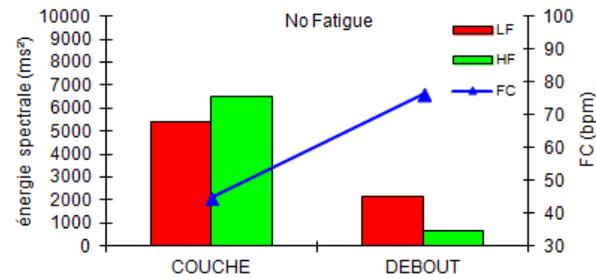


POST: fatigue



# Les différents types de fatigue

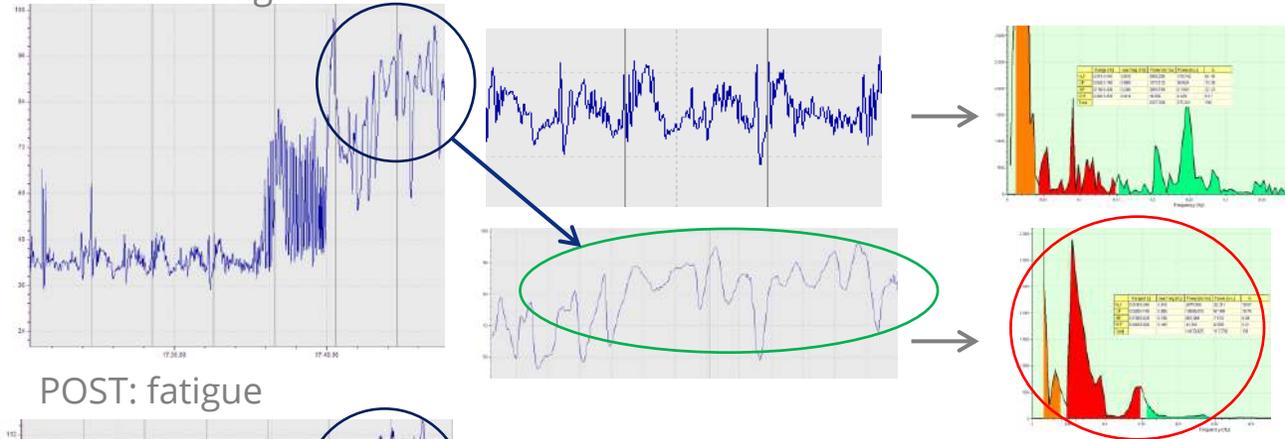
## Fatigue de type hypotonie LF debout F(LF-)st



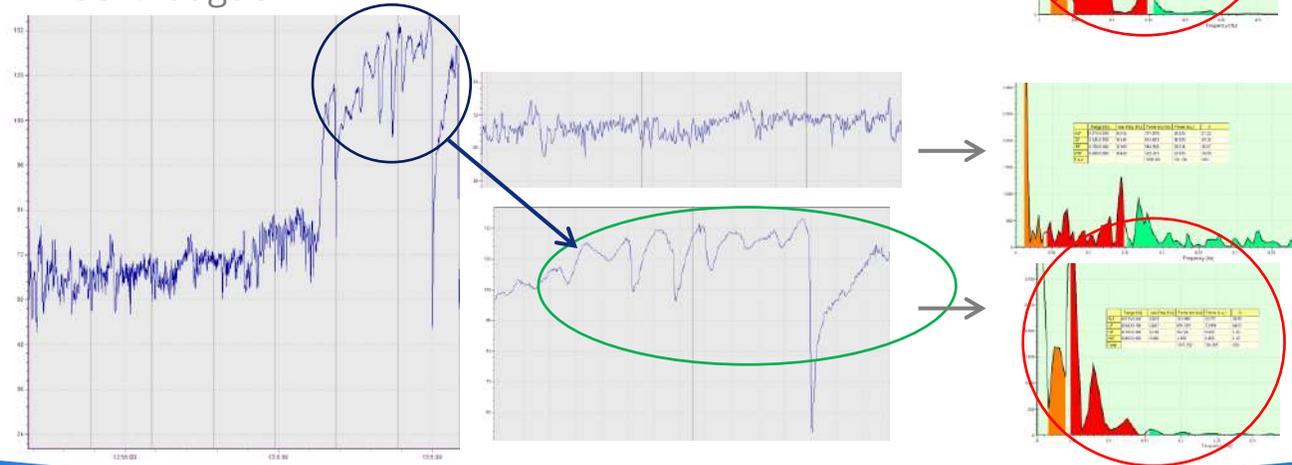
# Les différents types de fatigue

Fatigue de type hypotonie LF debout  
F(LF-)st, malaise vagal

PRE = No fatigue

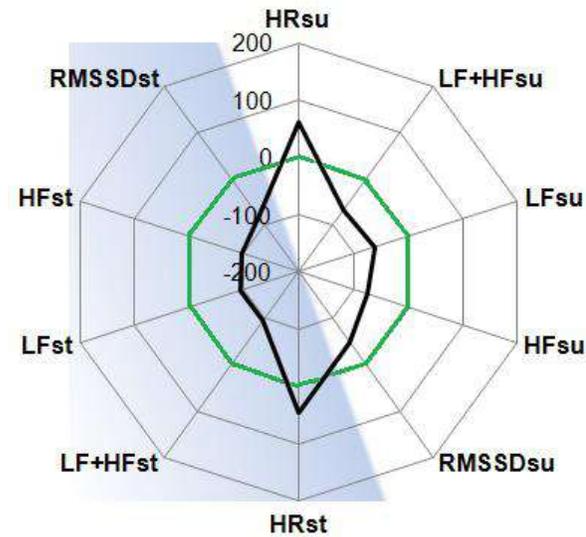
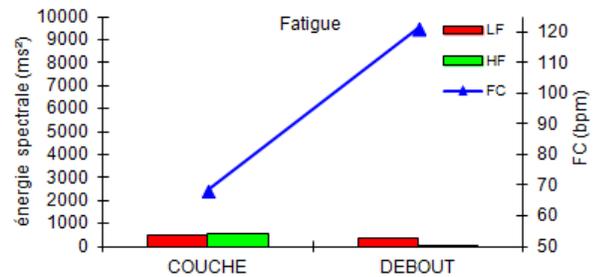
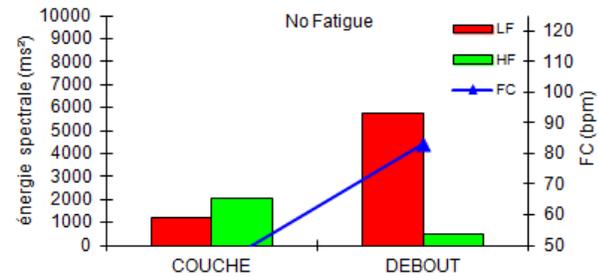


POST: fatigue



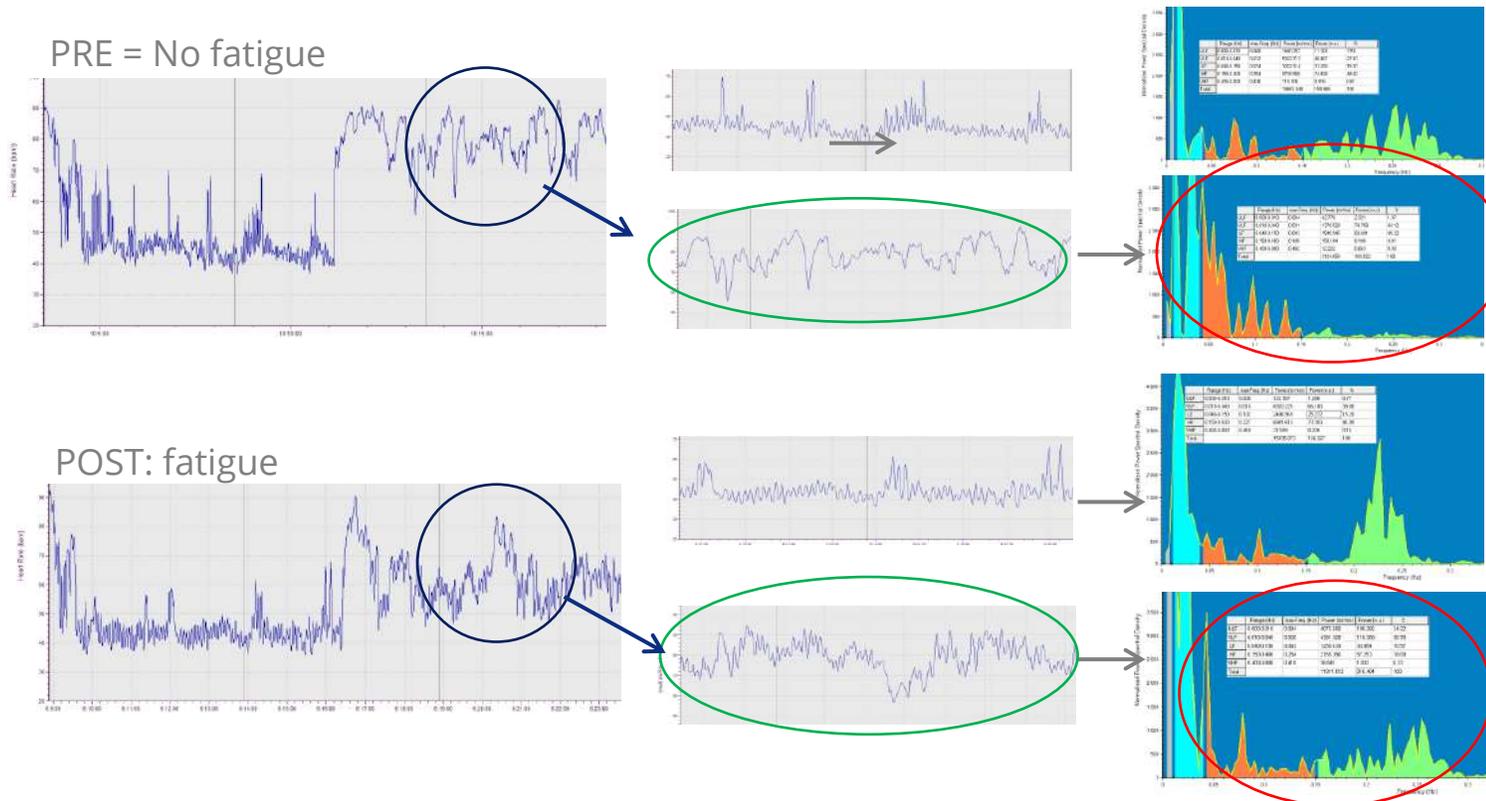
# Les différents types de fatigue

Fatigue de type hypotonie LF debout  
F(LF-)st, malaise vagal



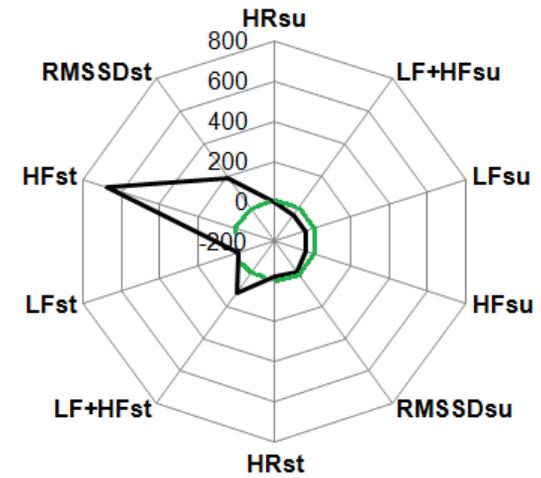
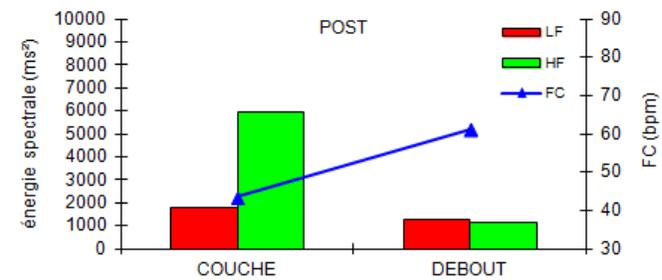
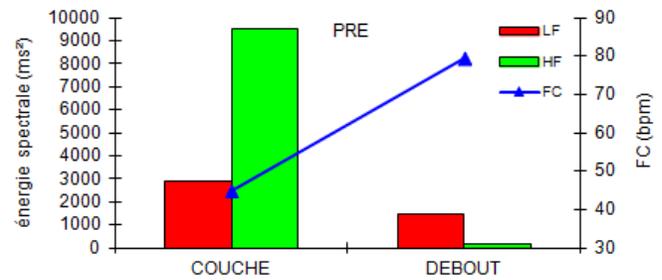
# Les différents types de fatigue

## Fatigue de type hypertonie HF debout (HF+)st

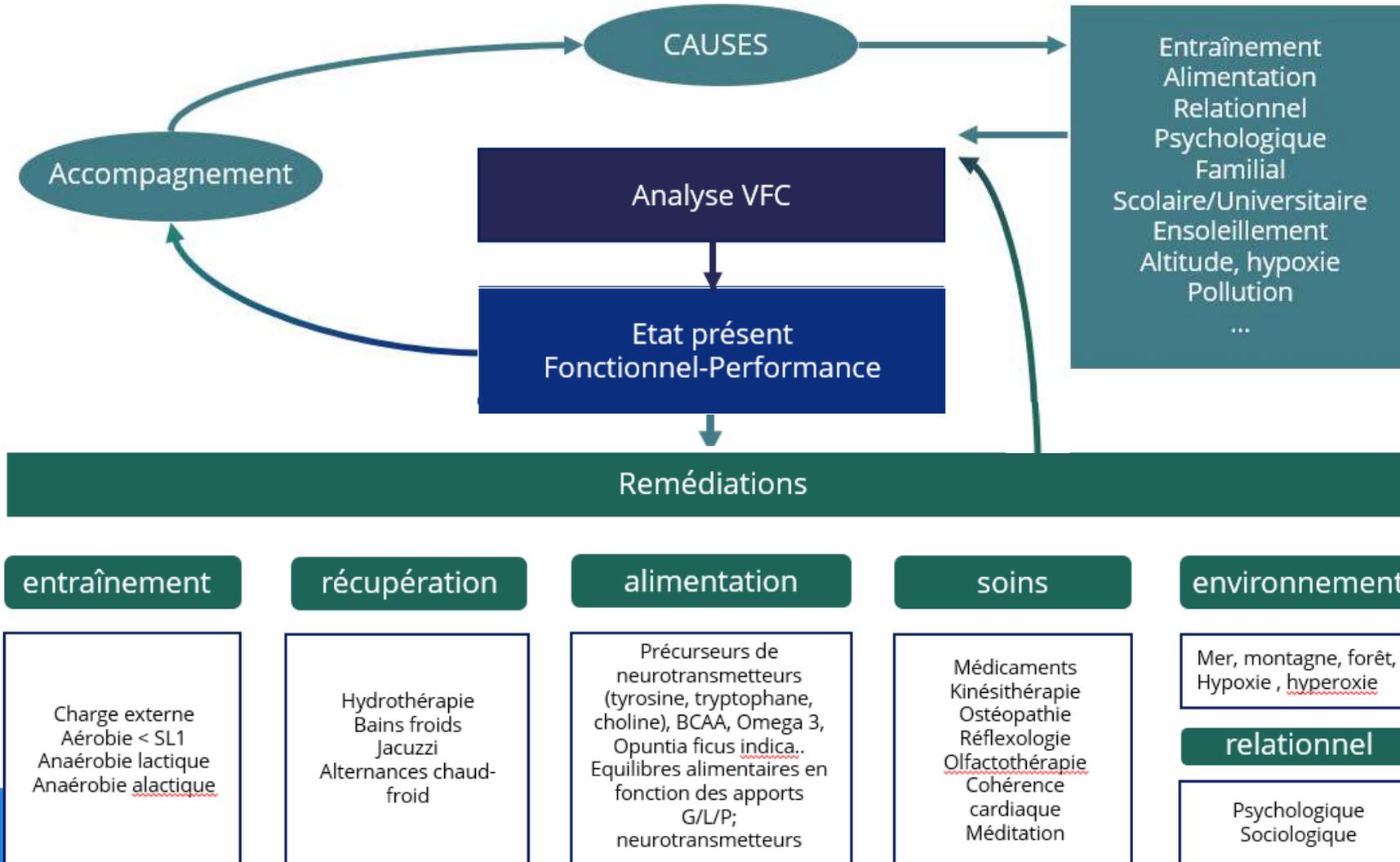


# Les différents types de fatigue

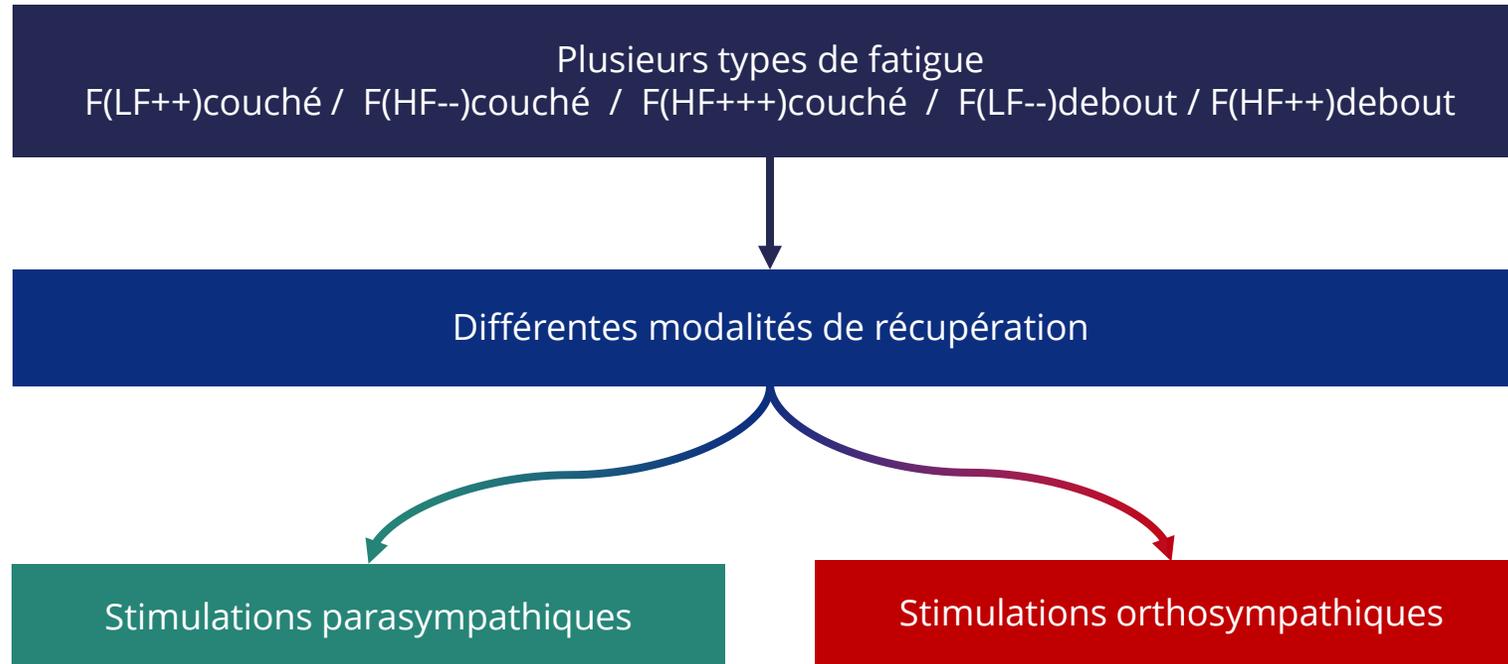
## Fatigue de type hypertonie HF debout F(HF+)st



# VFC = Analyse systémique



# Quelles remédiations en fonction du type de fatigue ?



# VFC : Fatigue et remédiations

## Stimulations de l'activité parasympathique

BUT: stimuler le sous système du système nerveux autonome (SNA) qui est touché dans son activité

entraînement	Soins énergétiques	hydrothérapie	massages	alimentation
Intensité < SL1 (75% FCmax) Marche, footing, vélo, natation, ski de fond..	Réflexologie plantaire et palmaire Reiki Exercice de cohérence cardiaque pendant 5 à 10 minutes Musique fréquence (7 cycles à 9 cycles / minutes) Couleur : douce, orange, marron, vert Visualisation calmante Huiles essentielles	Face dans l'eau froide Après exercice physique corps dans l'eau froide (8-14°C) Cryothérapie air sec (-110°C) Cryothérapie dans l'eau corps entier (8 à 14°C) Jacuzzi à 37°C Alternance jacuzzi (37°C) – bain froid (8 à 14°C) 5 x 2mn-1mn	Massage (Dicke) effleurage face et dos Relaxation avec exercices d'étirements contracté-relâché Osthéopathie : stimulations dorsal haut (C0 à C2) et bas (S2 à S4)	Alimentation basifiante et équilibrée Extrait d'écorce de figue de barbarie (opuntia ficus indica) Oméga 3 Précurseurs de neurotransmetteurs : tryptophane

## Stimulations de l'activité orthosympathique

BUT: stimuler le sous système du système nerveux autonome (SNA) qui est touché dans son activité

entraînement	Soins énergétiques	massages	alimentation
Activités dynamiques non lactique : vitesse, explosivité très courte avec récupération complète: Effort 7 à 7sec (récup : 3 à 5 mn) Sprints, bondissements.. Hypoxie, altitude	Musique Frq rapide Couleur : vive, jaune, rouge, bleu Visualisation excitante Yang Yoga (power Yoga) Acupuncture Réflexologie points de départ hypophyse	Massage des nocicepteurs plantaires Marche pieds nus sur des petits cailloux ronds ou des petites billes Osthéo : manip C8 à L2 pour b ; manip sternum recoil	Précurseurs de neurotransmetteurs : tyrosine, caféine

Schmitt 2017 non publié

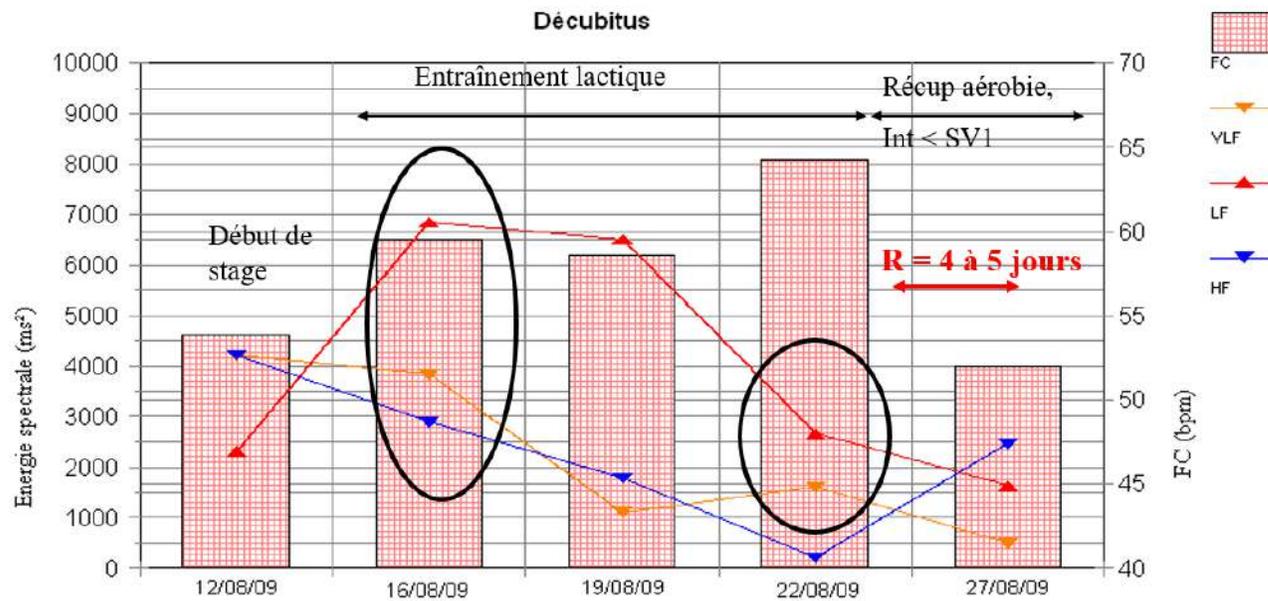
# EXEMPLES

## dans le SPORT de HAUT NIVEAU



# Suivi VFC

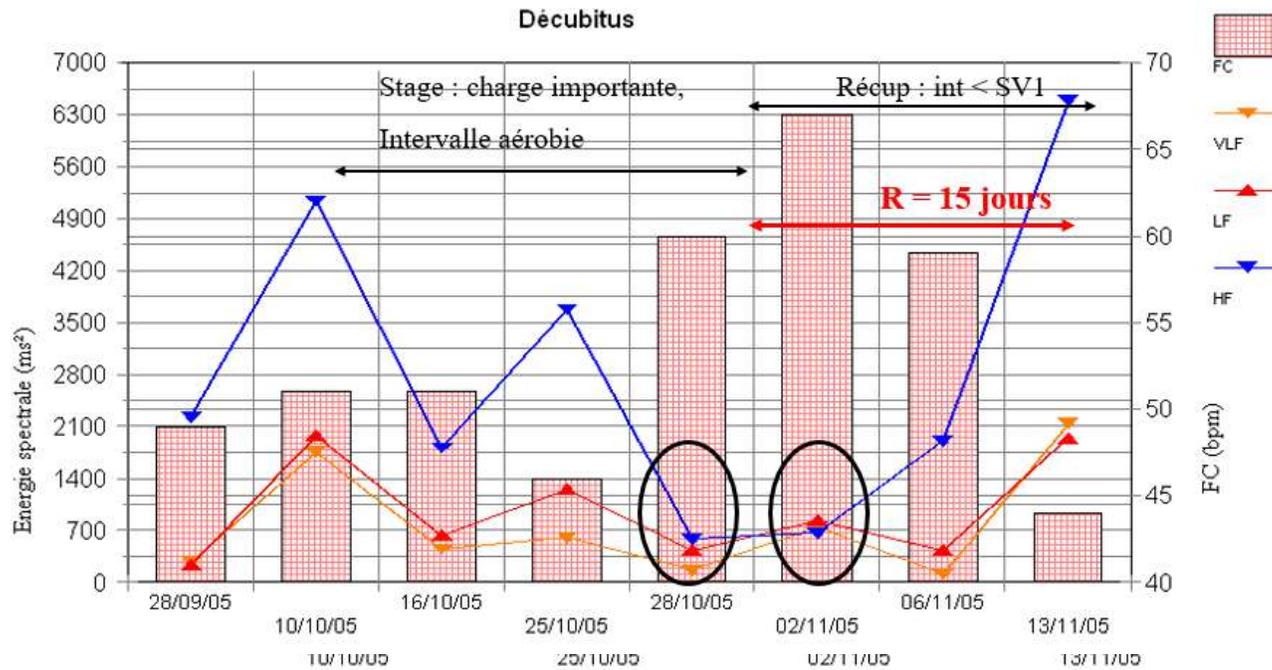
Suivi VFC pour adapter l'entraînement en période terminale



Canoëiste médaillé Or Olympique sur 3 Olympiades  
Entraîneur : Sylvain Curinier

# Suivi VFC

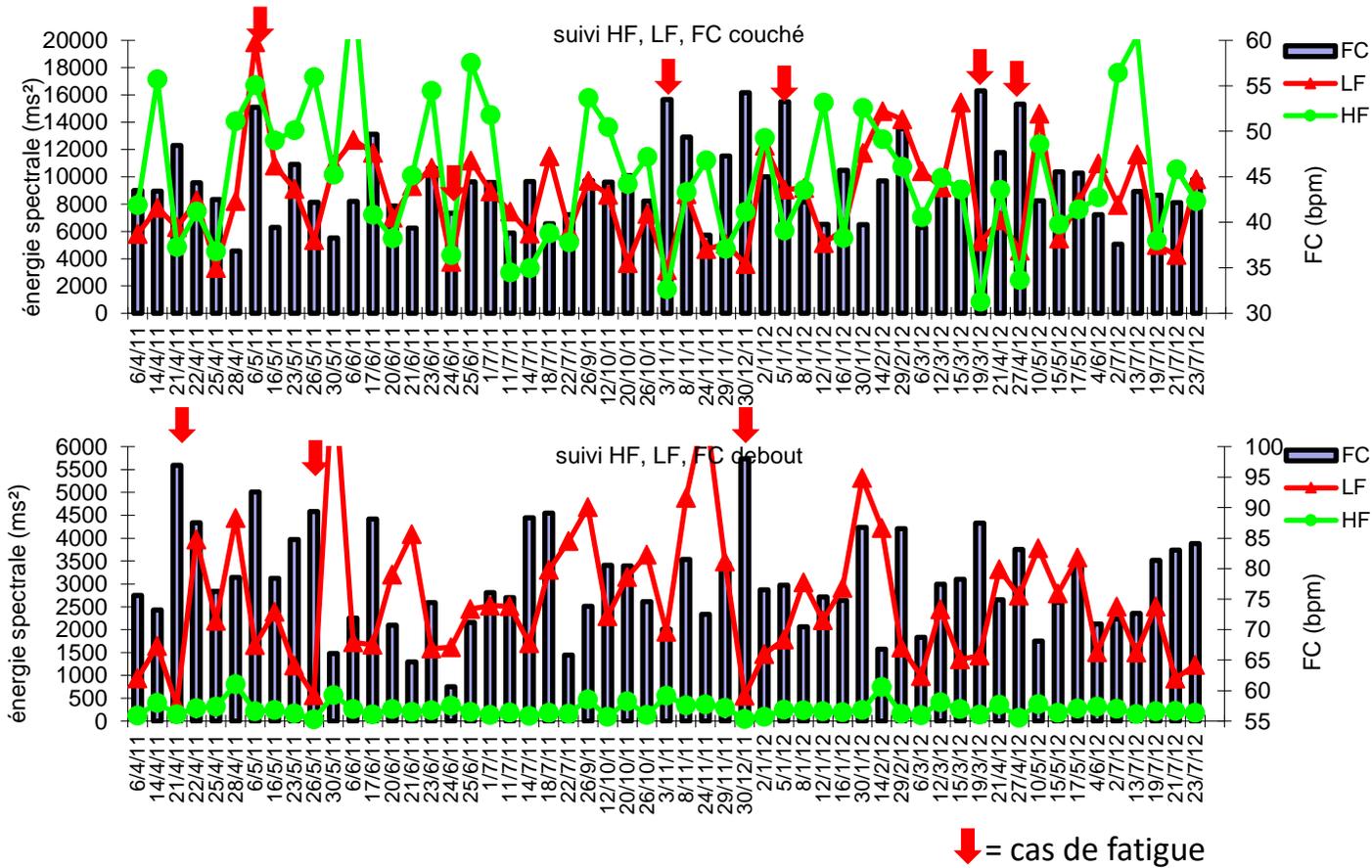
Suivi VFC pour adapter l'entraînement en période terminale pré-compétitive



biathlète médaille Or JO Turin  
Entraîneur : Pascal Etienne

# Suivi VFC

## Suivi VFC chez un nageur de haut niveau



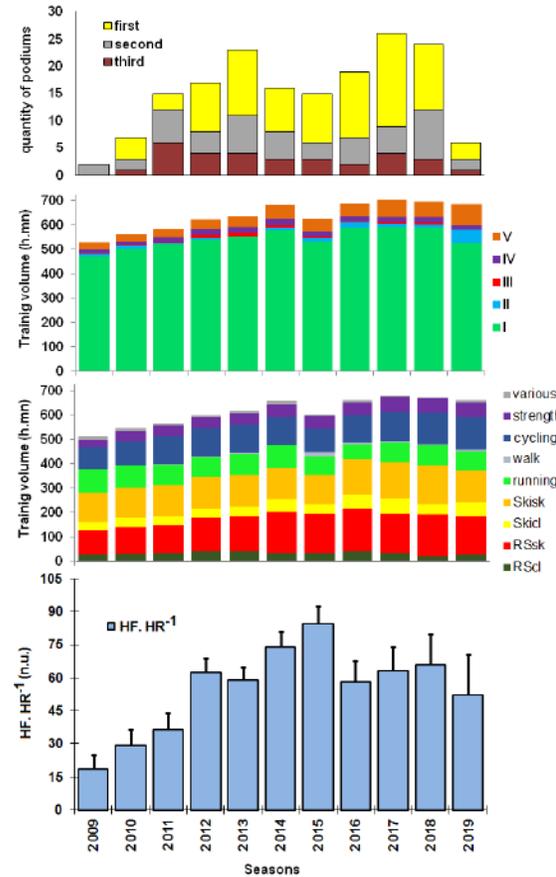
Nageur multiple médaillé JO ; entraîneur  
Denis Auguin

# Suivi VFC

Eleven years' monitoring of the World's most successful male biathlete of the last decade  
Schmitt 2020, IJSP

**Figure 1** - From season 2009 to 2019

- A. Number of top-3 positions in IBU World cup events (1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and third position)
- B. Training volume and intensity distribution. I low intensity training (LIT, below first lactate threshold), II moderate intensity training (MIT, between first and second lactate thresholds), III high intensity training (HIT, above second lactate threshold), IV speed and strength training.
- C. Training volume in the different forms of activity (Roller-Ski, Ski, Running, Cycling, Strength, Various)
- D. High frequency spectral power (HF.ms<sup>2</sup>) divided by heart rate (HR. bpm) ; HF.HR<sup>-1</sup> (normalized unit, n.u.).

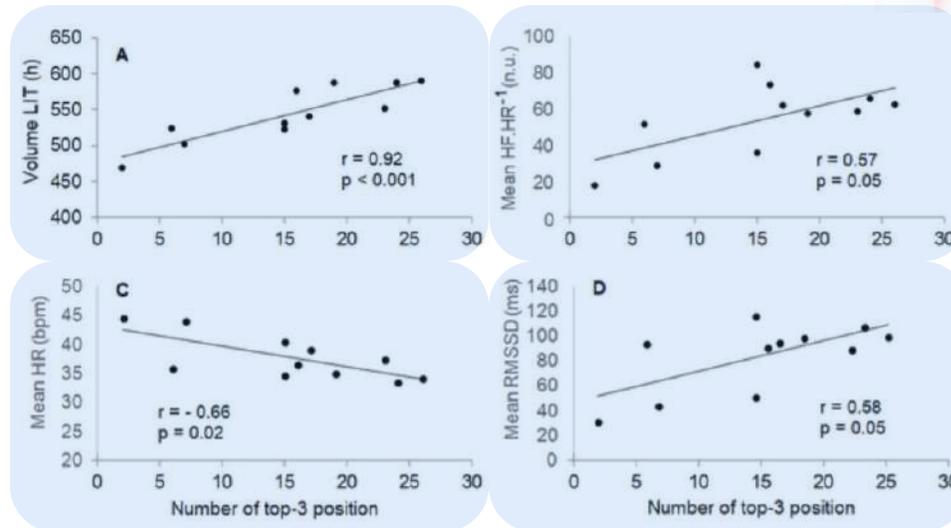


Laurent Schmitt<sup>1,3</sup>, Stéphane Bouthiaux<sup>2</sup>, Grégoire P. Millet<sup>3</sup>

# Suivi VFC

Eleven years' monitoring of the World's most successful male biathlete of the last decade  
Schmitt 2020, IJSP

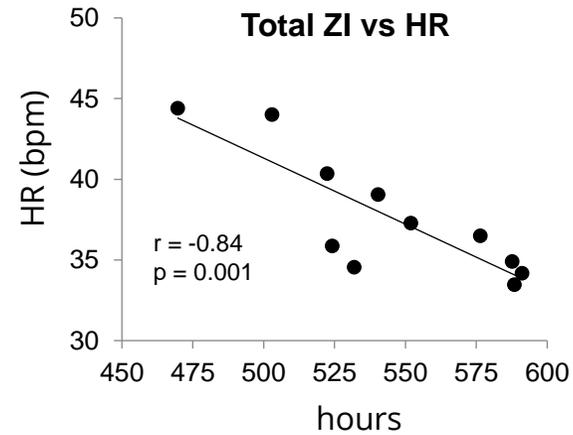
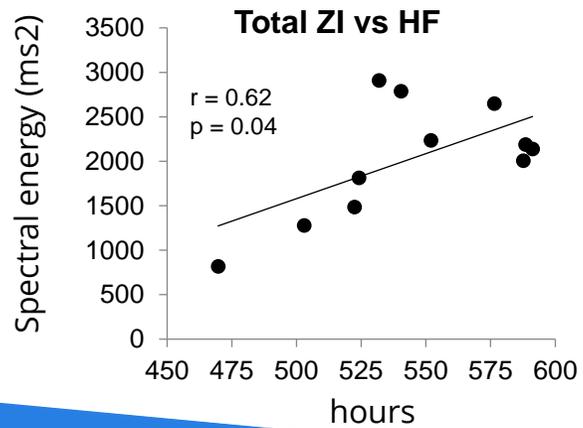
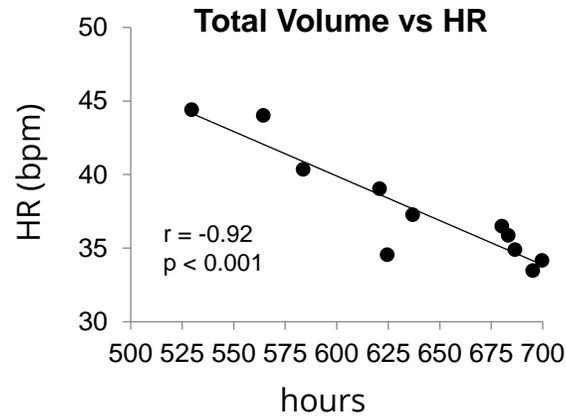
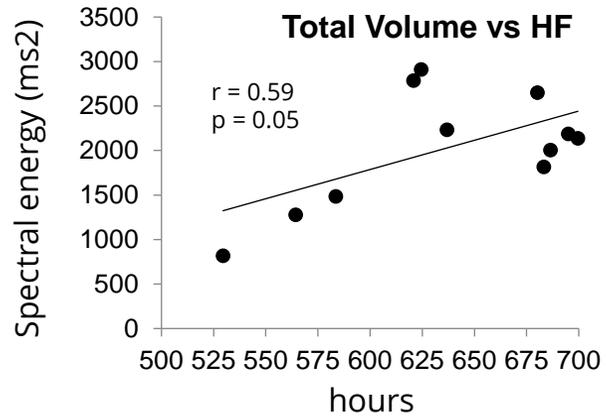
**Figure 2** - Correlations between the number of top-3 position per season over the 11-yr period (2009 to 2019) and  
The volume at low intensity training (LIT) below first lactate threshold,  
Resting supine mean yearly values in high frequency spectral power divided by heart rate (HF.HR-1 (n.u.)),  
Resting supine mean yearly values in heart rate (HR, bpm),  
Resting supine mean yearly values in root-mean square differences of successive R-R intervals (RMSSD, ms).



Laurent Schmitt<sup>1,3</sup>, Stéphane Bouthiaux<sup>2</sup>, Grégoire P. Millet<sup>3</sup>

# Suivi VFC

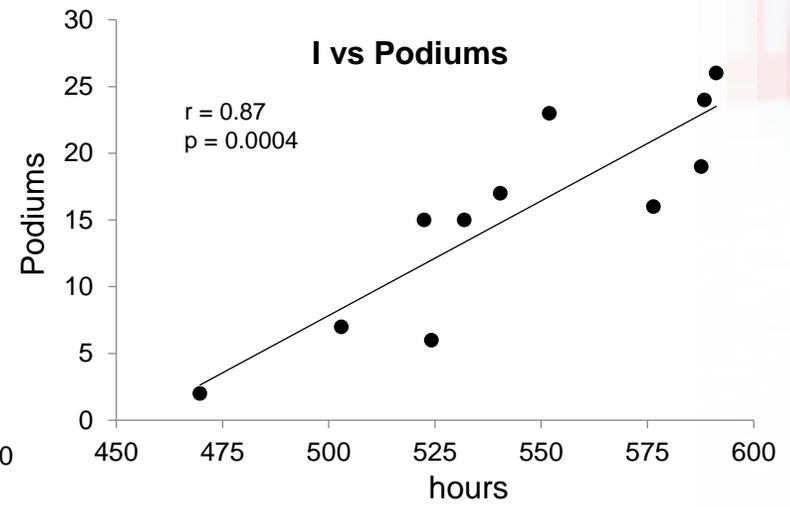
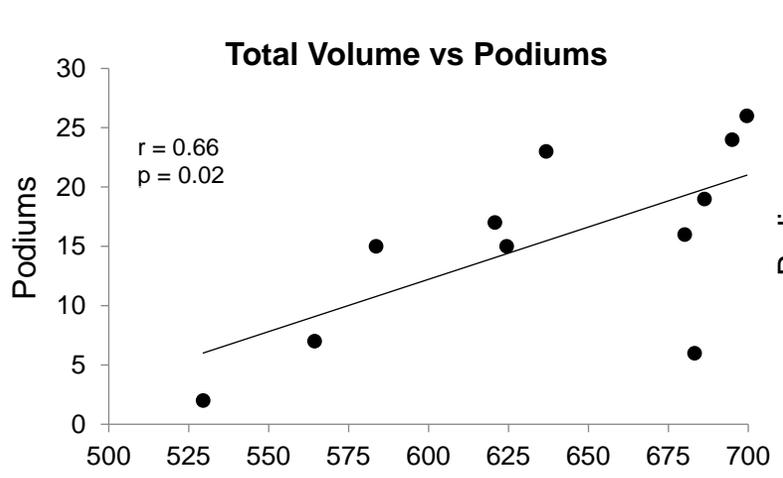
Eleven years' monitoring of the World's most successful male biathlete of the last decade  
Schmitt 2020, IJSP



Laurent Schmitt<sup>1,3</sup>, Stéphane Bouthiaux<sup>2</sup>, Grégoire P. Millet<sup>3</sup>

# Suivi VFC

Eleven years' monitoring of the World's most successful male biathlete of the last decade  
Schmitt 2020, IJSP



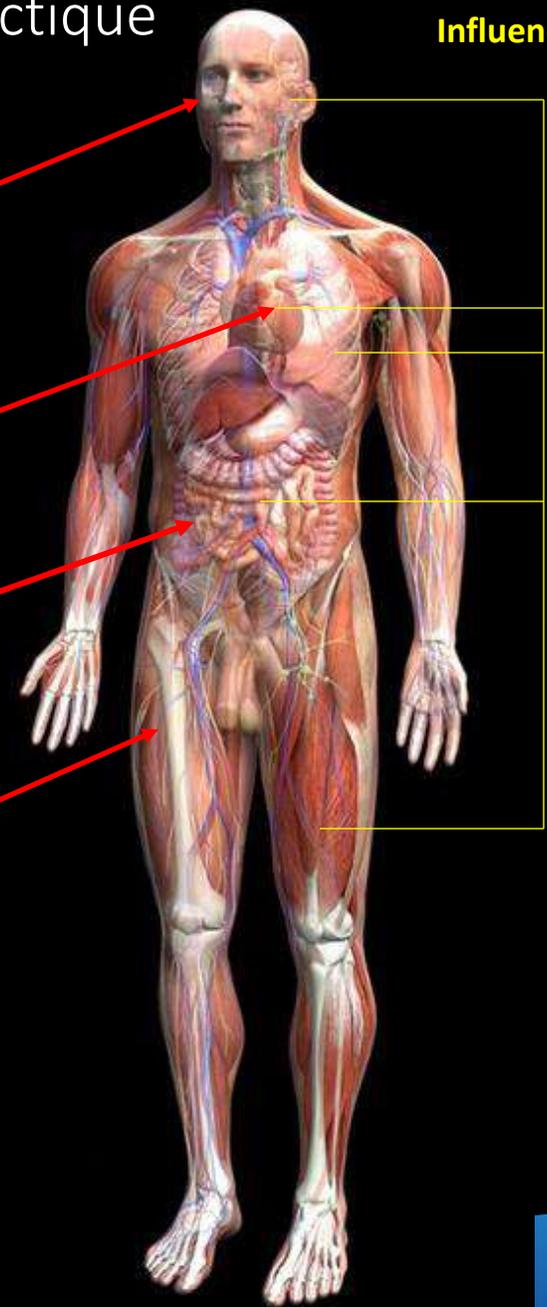
Laurent Schmitt<sup>1,3</sup>, Stéphane Bouthiaux<sup>2</sup>, Grégoire P. Millet<sup>3</sup>

# INTENSITE en dessous du 1<sup>er</sup> seuil lactique <75% FCmax

Energie totale ↑  
Energie parasympathique ↑  
Energie orthosympathique =

Volume d'éjection systolique ↑  
Volume sanguin total ↗

vascularisation ↗  
Nombre de mitochondries ↑  
Enzymes aérobies ↑  
Utilisation des acides gras libres ↑

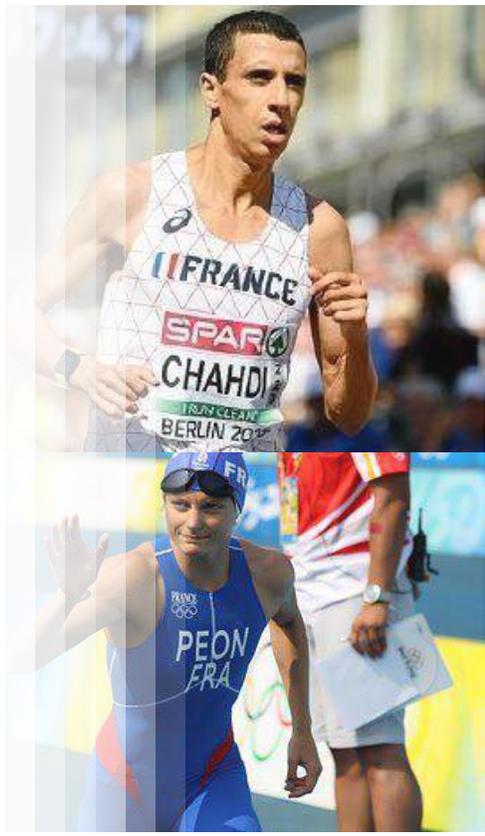
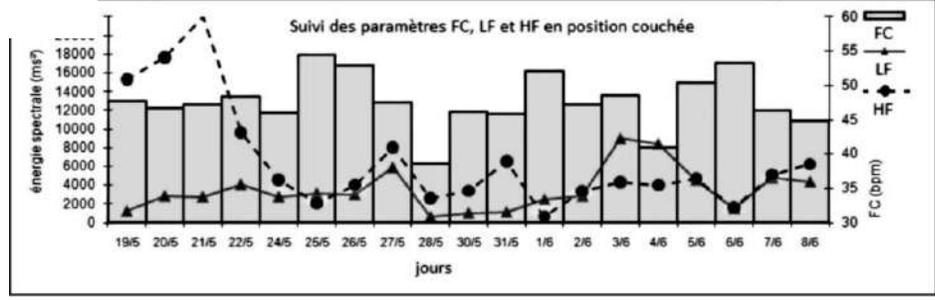
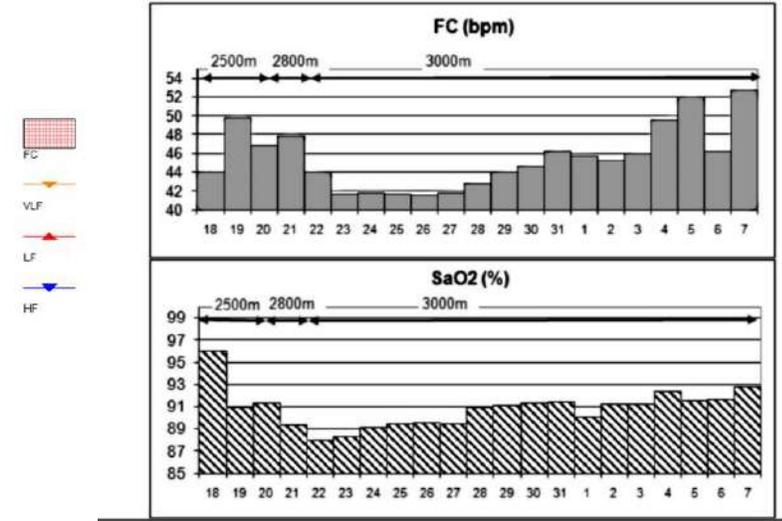
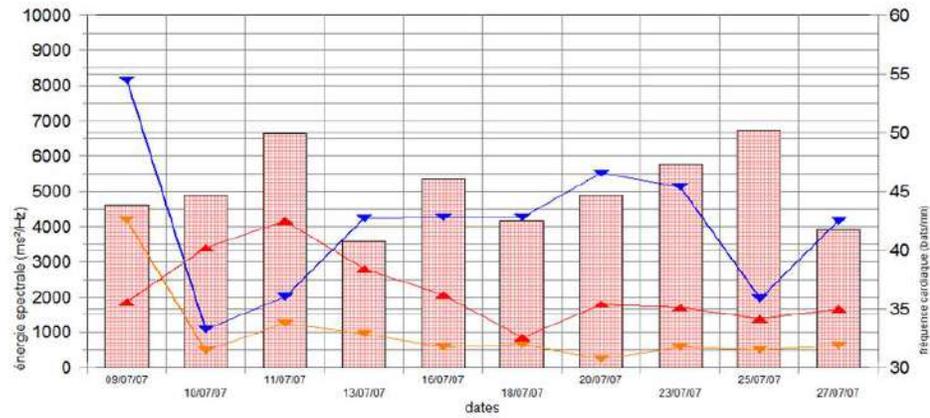


**Influences entre :**

- Système nerveux autonome
- coeur
- poumons
- Sphère digestive
- muscles

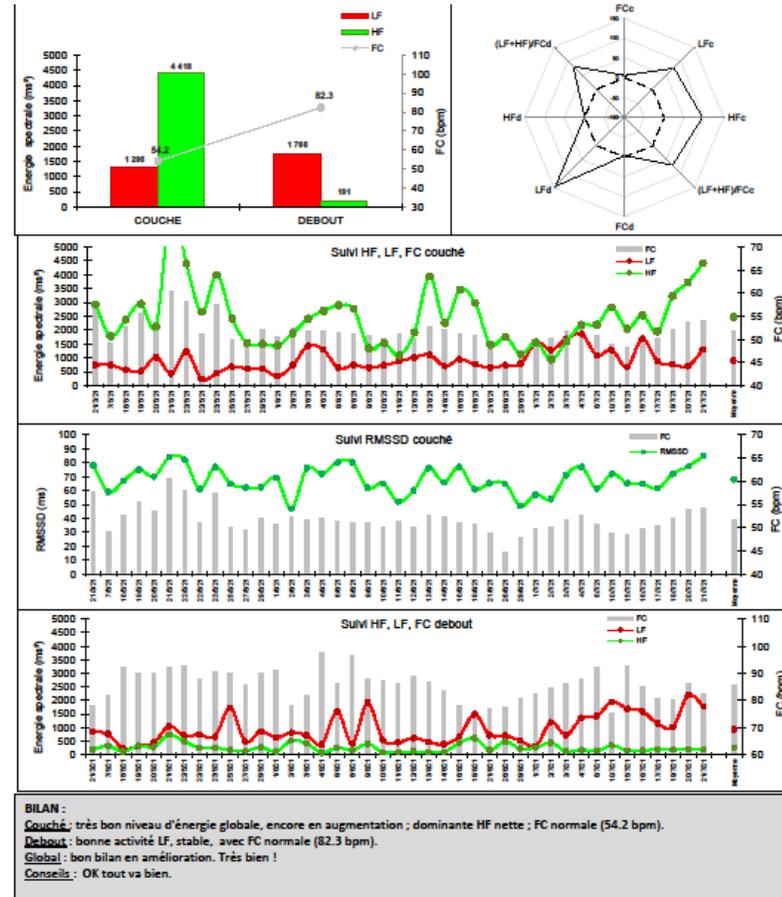
# Suivi VFC

En stage d'altitude



# Suivi VFC

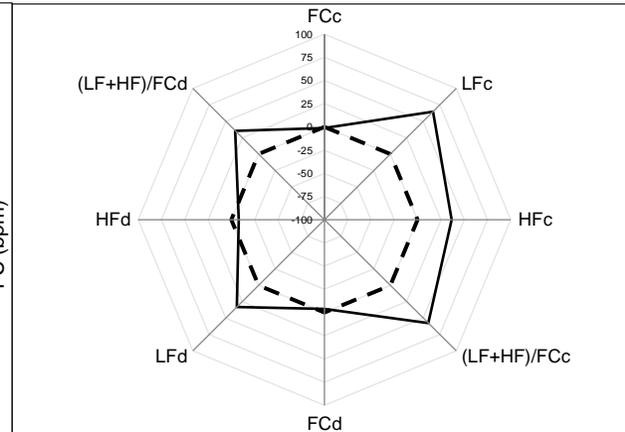
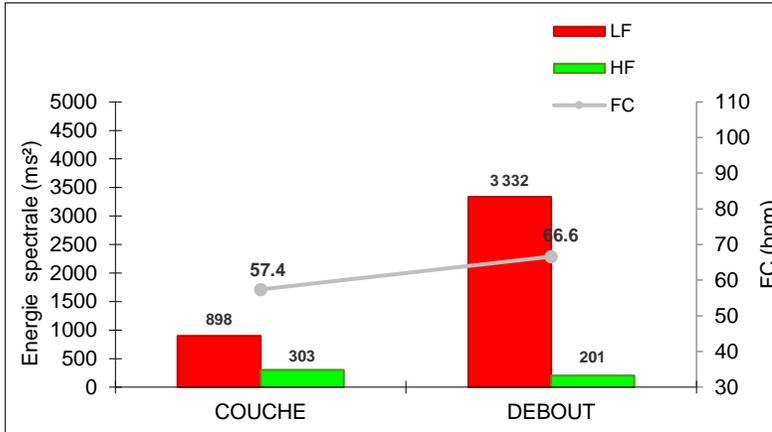
## Préparation JO 2020 TOKYO



Planchiste Championne Olympique JO Rio  
et Vice-championne olympique JO Pékin

# Dans le monde de l'entreprise

## Exemple d'un chef d'entreprise



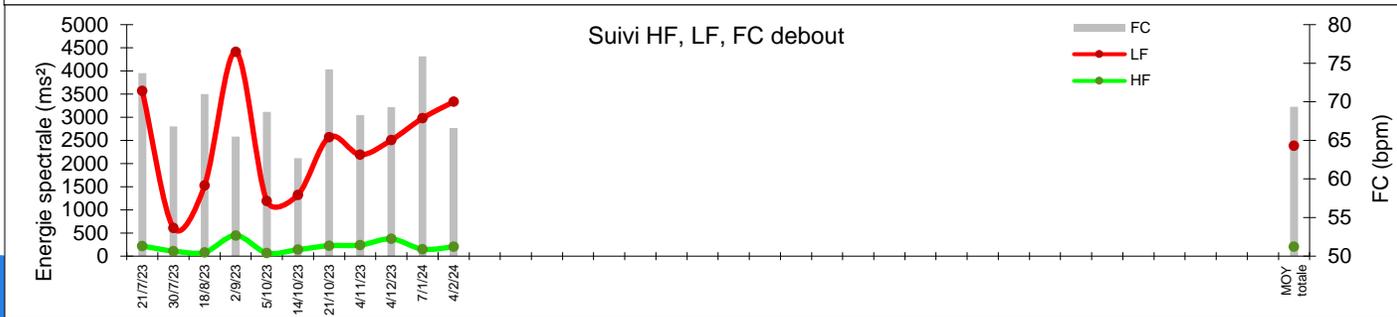
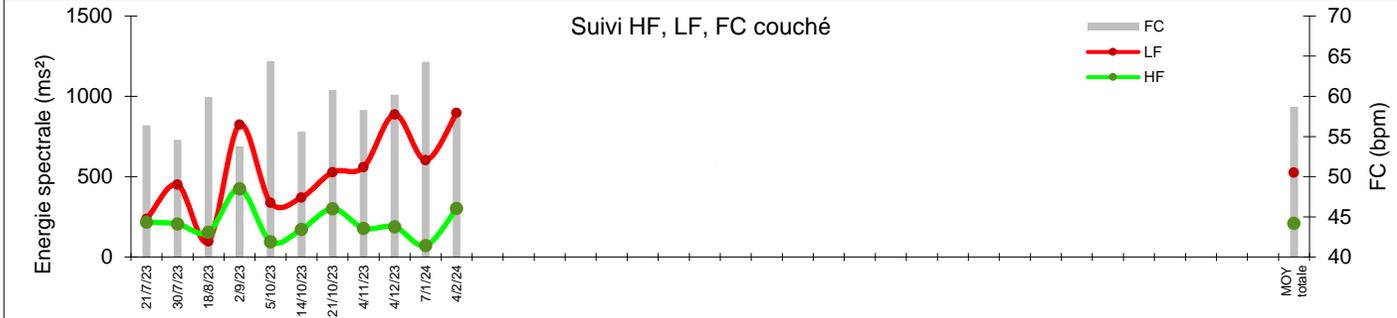
### BILAN : 04/02/24

**Couché** : le niveau d'énergie totale est en augmentation, bien au dessus de ta norme. La FC baisse (57.4 bpm), dans ta norme (58.8 bpm). Diminution du stress et augmentation d'énergie. Bonne évolution.

**Debout** : bon niveau d'énergie orthosympathique (bande LF) en augmentation avec FC (66.6 bpm) en, nette baisse. Pas de problème d'hypotension.

**Global** : bon bilan avec diminution du stress aigu et augmentation d'énergie aussi bien couché que debout.

**Conseils** : continuer avec les conseils sur l'entraînement à intensité basse ( pour 5 séances : 4 à intensité basse) et les remédiations qui activent le parasympathique (ci-dessous).



entraînement	Soins énergétiques	hydrothérapie	massages	alimentation
Intensité < SL1 (<75% FCmax) Marche, footing, vélo, natation, ski de fond...	Réflexologie plantaire et palmaire Reiki Exercice de cohérence cardiaque pendant 5 à 10 minutes Musique fréquence (4 à 6 cycles / minutes) Couleur : douce, orange, marron, vert Visualisation calmante Huiles essentielles pour calmer : mandarine bio, petit grain de bigarade, marjolaine à coquilles	Face dans l'eau froide Après exercice physique : corps entier dans l'eau froide (8-14°C) Cryothérapie air sec (-110°C) Cryothérapie dans l'eau corps entier (8 à 14°C) alterné avec Jacuzzi à 37°C	Massage (Dicke) effleurage face et dos Relaxation avec exercices d'étirements contracté-relâché Ostéopathie : stimulations dorsal haut (C0 à C2) et bas (S2 à S4)	Alimentation basifiante et équilibrée Extrait d'écorce de figue de barbarie (opuntia ficus indica) Oméga 3 Magnésium Précurseurs de neurotransmetteurs : tryptophane

# L'intérêt dans le monde médical pour la santé

*Bull. Acad. Natle Méd.*, 2013, 197, n° 1, 175-186, séance du 22 janvier 2013

## VFC et maladies

TABLEAU 1. — Études utilisant la VFC dans les maladies cardiaques [3]

Auteurs	Année	Maladie	Conclusion
Carnethon et <i>al.</i>	2002	CAD	VFC peut être utilisée pour identifier les déséquilibrés neuro-végétatifs chez les adultes sains
Menezes et <i>al.</i>	2004	AH	VFC diminuée chez les patients hypertendus par rapport à ceux normotendus
Terathongkum et <i>al.</i>	2004	AH	VFC diminuée, facteur prédictif indépendant de l'hypertension artérielle chez les patients
Bittencourt et <i>al.</i>	2005	HC	Augmentation significative de la modulation parasympathique lors de la respiration contrôlée (tilt test)
Pecyna	2006	AMI	VFC diminuée en post infarctus
Carney et <i>al.</i>	2007	CAD	Corrélation entre facteurs inflammatoires et VFC chez des patients coronariens
Karas et <i>al.</i>	2008	AH	Réduction de la composante sympathique (LF) dans l'hypertension de sujets âgés
Larosa et <i>al.</i>	2008	AMI	VFC diminuée au cours de l'infarctus du myocarde

AMI : infarctus du myocarde aigu ; CAD : maladie coronarienne ; AH : hypertension artérielle ; HC : cardiomyopathie hypertrophique ; VFC : variabilité de la fréquence cardiaque.

Marsac J *Bull. Acad. Natle Méd.*, 2013

# HRV et maladies

Marsac J *Bull. Acad. Natle Méd.*, 2013

La VFC est liée au mode de vie, à **l'activité physique**, aux **habitudes alimentaires**, au rythme du **sommeil** et au tabagisme. La diminution de la VFC est associée aux risques d'événements cardiaques chez les adultes ; elle est un facteur prédictif de l'hypertension artérielle. **Une VFC diminuée est liée à un risque accru de décès et elle pourrait avoir une valeur prédictive pour l'espérance de vie et la santé.** Les changements de la VFC dus à des facteurs de style de vie précèdent le développement de troubles cardiovasculaires. **La mesure des composants de la VFC est d'un grand intérêt dans la pratique médicale et pour les experts en santé publique, pour prédire et évaluer les risques d'événements cardiométaboliques liés à un mode de vie souvent inadéquat.**

# HRV et maladies

Marsac J *Bull. Acad. Natle Méd.*, 2013

## ***Affections cardiovasculaires [24]***

*Maladies coronariennes*

*Hypertension artérielle (HTA)*

## ***Affections métaboliques***

*Surpoids et obésité [16]*

*Diabète [13]*

*Insuffisance rénale chronique [9]*

## ***Contextes morbides et facteurs de risques***

*Apnée du sommeil*

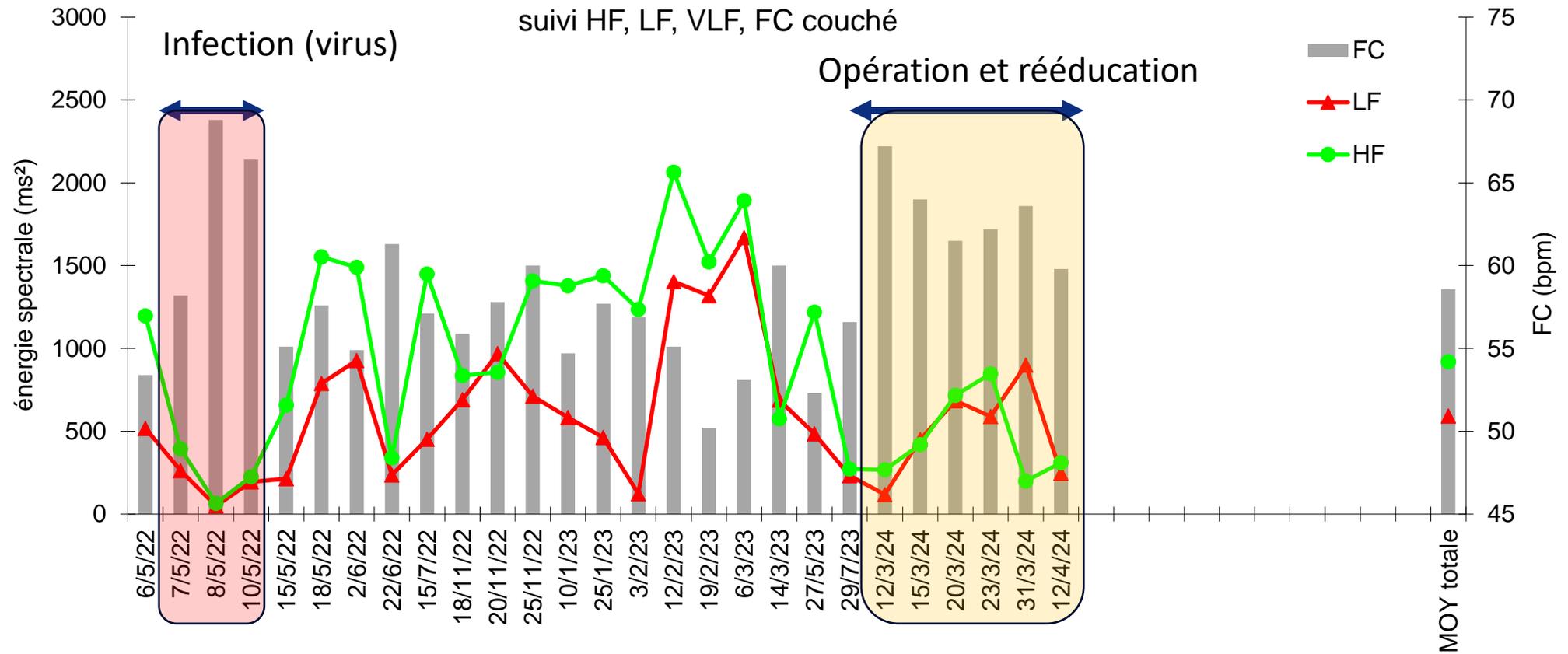
*Stress*

*Fatigue [28]*

*Dépendances [21]*

*...*

# HRV et maladies, accidents



# Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. Sammito et al. 2024.

## Factors influencing HR and HRV

### Influencing factor

### Effect on resting heart rate (HR<sub>rest</sub>)

### Effect on heart rate variability (HRV)

Age	HR <sub>rest</sub> [28] and H <sub>rmax</sub> [8] normally decrease with increase in age
Circadian rhythm/time of the day	The HR follows a circadian rhythm, with a fall of HR at night [47].
Genetic	
Pregnancy	During pregnancy there is usually an increase in HR [50].
Biological sex	
Cancer diseases	
Cardiovascular diseases	The HR is normally higher in women than in men [53]. Cardiac insufficiency leads to a raised HR [63] and unrestricted maximum HR. In patients with previous myocardial infarction, the activation of the sympathetic nervous system often leads to an increase in the HR, which is important for the prognosis [70–75].
Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)	
Chronic renal insufficiency	
Duchenne muscular dystrophy	

HRV increases sharply in the first year of life, then increases until the age of 15 [29], is highest in young adulthood and falls non-linearly with age [28–46].

The HR follows a circadian rhythm, but the HRV is decreased at night due to the predominance of the parasympathetic activity and reduced during the day because of the predominance of the sympathetic activity [48].

HRV appears to vary between members of different ethnic backgrounds [49].

During pregnancy, a reduction in HRV usually occurs as the pregnancy progresses [50] and is lowest in the 2nd trimester [51, 52].

Most of the studies showed a higher parasympathetic activity in women as compared to men [31, 32, 54–59], which however showed a narrower difference after the age of 50 [33–35].

Some of the studies showed a higher baseline sympathetic activity in women [36, 37, 60, 61]. The influence of breast cancer on HRV is unclear [62].

Cardiac insufficiency generally leads to a reduction in the HRV [5, 64–67]. With hypertension, HRV is usually reduced [68, 69].

HRV is usually reduced in coronary heart disease (CHD) with and without angina pectoris and after myocardial infarction [76, 77].

With COPD, HRV is usually reduced [78, 79].

In chronic kidney failure, HRV is usually reduced [78].

HRV is usually significantly reduced in the early stages of Duchenne muscular dystrophy and in manifest disease [80].

# Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. Sammito et al. 2024.

## Factors influencing HR and HRV

Influencing factor	Effect on resting heart rate (HR <sub>rest</sub> )	Effect on heart rate variability (HRV)
Headaches, regular Metabolic disorders	Diabetes mellitus is often associated with increased sympathetic activity and hence a raised HR [83].	Regular headaches are usually associated with reduced HRV [81, 82] The HRV is often reduced in patients with diabetes mellitus [58, 84–87], however, a correlation between the value of the HRV and the duration of the diabetes exists especially in cases of badly controlled diabetes [88]. The reduction is due to peripheral neuropathy due to microcirculation disorders [89]. A metabolic syndrome often leads to a reduction of the HRV [88, 90–96], this is particularly evident in women [97].
Pain Psychiatric disorders	Patients with anxiety disorders and panic attacks usually have an increased HR [99]. Patients with anorexia nervosa usually have a reduced HR [104]. A major depression often leads to an increase in HR [107–109].	In chronic pain, HRV is usually reduced [98]. Patients with anxiety disorders [38, 100–103] and panic attacks [99, 101] usually show a reduction in the HRV. HRV is usually reduced in patients with anorexia nervosa [102]. HRV is usually reduced in patients with bulimia nervosa [105]. Posttraumatic stress disorder often leads to a reduced HRV [106]. A (major) depression often leads to a decrease in HRV [38, 108, 110–114]. In epilepsy, HRV is usually reduced [115]. In borderline personality disorder, HRV is usually reduced [116]. In bipolar disorder [38, 113, 117, 118]./ schizophrenia [119], HRV is usually reduced. In the case of substance addiction [38], HRV is usually reduced. Based on a systematic literature search, HRV does not currently appear to be changed in the presence of rheumatoid arthritis [120]. A reduction in HRV in the presence of sleep disorders is currently not supported by the scientific literature [121]. Something similar can be found in untreated obstructive sleep apnea syndrome. A stroke is usually associated with reduced HRV [122]. With acute alcohol consumption, HRV is usually reduced [123]. Low, constant alcohol consumption with an alcohol content of one standard drink for women or two standard drinks for men usually leads to a shortterm but no long-term change in HRV or an increased HRV, while chronic alcohol abuse leads to a reduction of HRV [123, 124].
Rheumatoid arthritis Sleep disorders		
Stroke Alcohol consumption		
Body fat/body weight	Increased body mass index (BMI) generally leads to a raised HR [125], which can be partly explained by the stimulating effect of leptin on central sympathetic neurons [126, 127].	Increased body mass index (BMI) and increased mass of body fat often cause a fall in the HRV [128].

# Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. Sammito et al. 2024.

## Factors influencing HR and HRV

### Influencing factor

### Effect on resting heart rate (HR<sub>rest</sub>)

### Effect on heart rate variability (HRV)

Fitness activities, performance capacity, sports

Initially, there is a rise in the resting HR due to the increased physical activity; however, regular exercise without symptoms of overtraining leads to a decrease in the HR due to an increase in the parasympathetic activity and an optimisation of the cardiac output [133]. The expression of ion channels for the pacemaker potential is reduced [21]. Therefore, endurance training often results in exercise-induced bradycardia [134–137].

High-intensity interval training (HIIT) generally increases HRV, which has been shown particularly in healthy subjects and patients with metabolic syndrome [129]. High-intensity training and competition series, on the other hand, can lead to reduced HRV [130, 131]. During strength training, there is usually no change in HRV in healthy people, while strength training is usually associated with an increase in HRV in subjects with chronic illnesses [132].

Smoking

Active [145] and passive smoking [146] can lead to an increase in HR.

Initially, there is a fall in the HRV due to increased activity of the sympathetic system as a result of the physical activity [138], but regular physical activity leads to an increase in the parasympathetic activity which in turn causes a rise in HRV [36, 131, 138–140]. Endurance training normally increases the HRV [130, 131, 141–143]. These effects can be also seen in patients with myocardial infarction and patients with cardiac insufficiency [141] or Diabetes mellitus II [144].

Stress/mental tension

Stress (e.g. mental, workplace related) generally leads to an increase in the HR [149–152].

Smoking can lead to a decrease in HRV [147], this effect is dose dependent [146]. Even in non-smokers, passive smoking e.g. at home or at work leads to a reduction in the HRV [146–148].

Breathing

During inspiration there is a short-term increase in HR, during expiration there is a short-term decrease in HR [158, 159]. This is essentially due to pulmonary afferents from stretch receptors and interactions from central respiratory neurons to the circulatory center in the medulla oblongata.

Stress (e.g. mental, workplace related) generally leads to decreased parasympathetic activity and thus to a reduction in the HRV [150, 152–157].

Cold, low temperatures

In men, low ambient temperatures usually lead to a decrease in HR both at rest and during exercise, while in women there is no decrease in HR, but rather a slight increase in HR [164].

The effects of respiration on HRV are reflected in the form of respiratory sinus arrhythmia (RSA) and is seen in the HF band. On the whole, the HRV parameter, RMSSD, does not seem to be affected by respiration [160]. For the rest of the parameters, the present state of knowledge is not conclusive [161–163].

Only few studies about the effects of low temperatures on HRV are currently available: a reduction in the sympathetic activity and thus a raised HRV has been observed [165], while long-term exposure to cold, including in winter months or occupational exposure to cold, no influence on HRV could be shown [166–168].

# Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational health science. Sammito et al. 2024.

## Factors influencing HR and HRV

### Influencing factor

Heat, high temperatures

Hypoxia

Noise

Pharmacological drugs

Shift work including night shift

### Effect on resting heart rate (HR<sub>rest</sub>)

High environmental temperatures lead to an increase in the HR [13, 184, 185] caused on the one hand by direct temperature effects on the sinoatrial node and on the other hand by the increase in sympathetic activity as a result of the activation of warm receptors.

Noise often causes a rise in the HR [189], caused by activation of sympathetic nerves [190].

Pharmacological drugs can have an increasing or decreasing effect on HR [195].

### Effect on heart rate variability (HRV)

High environmental temperatures lead to an increase in the sympathetic activity and a reduced HRV [166, 186].

Hypobaric hypoxia usually leads to short-term sympathetic activation [187] and long-term to a reduction in HRV [188].

Only few studies that give information about the effects of noise on HRV are available; HRV appears to fall in the presence of noise [191–194].

Pharmacological drugs can have an increasing or decreasing effect on HRV [195].

Shift work with a night shift usually results in an activation of the SNS and a reduction in the PNS and thus a reduction in HRV, whereby there is a correlation between the duration of shift work in years and the reduction in HRV [196–202].

# Références bibliographiques

*European Heart Journal* (1996) 17, 354–381

## Guidelines

### Heart rate variability

Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use

Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology (Membership of the Task Force listed in the Appendix)

OPEN ACCESS Freely available online



## Fatigue Shifts and Scatters Heart Rate Variability in Elite Endurance Athletes

Laurent Schmitt<sup>1</sup>\*, Jacques Regnard<sup>2</sup>, Maxime Desmarests<sup>3</sup>, Frédéric Mauny<sup>3,4</sup>, Laurent Mourot<sup>5</sup>, Jean-Pierre Fouillot<sup>6</sup>, Nicolas Coulmy<sup>7</sup>, Grégoire Millet<sup>8</sup>



ORIGINAL RESEARCH  
published: 19 July 2018  
doi: 10.3389/fphys.2018.00032

## Effects of Different Training Intensity Distributions Between Elite Cross-Country Skiers and Nordic-Combined Athletes During Live High-Train Low

Laurent Schmitt<sup>1,2</sup>, Sarah J. Willis<sup>3</sup>, Nicolas Coulmy<sup>3</sup> and Gregoire P. Millet<sup>2\*</sup>

## REVIEW ARTICLE

*Sports Med* 2003, 33 (12): 889–919  
DOI: 10.1007/s00122-003-0300-0

© Adis Data Information BV 2003. All rights reserved.

## Heart Rate Variability in Athletes

André E. Aubert, Bert Seps and Frank Beckers

Laboratory of Experimental Cardiology, School of Medicine, K.U. Leuven, Leuven, Belgium

DOI 10.1055/s-0035-1548885  
*Int J Sports Med* 2015; 36: 999–1007

Training & Testing 999

## Typology of “Fatigue” by Heart Rate Variability Analysis in Elite Nordic-skiers

Authors

L. Schmitt<sup>1</sup>, J. Regnard<sup>2</sup>, A. L. Parmentier<sup>3</sup>, F. Mauny<sup>4</sup>, L. Mourot<sup>5</sup>, N. Coulmy<sup>6</sup>, C. P. Millet<sup>7</sup>

*International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2008, 18, 169–178  
© 2008 Human Kinetics, Inc.

## *Opuntia Ficus Indica* Increases Heart-Rate Variability in High-Level Athletes

Laurent Schmitt, Jean-Pierre Fouillot, Gérard Nicolet, and Alain Midol

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

