

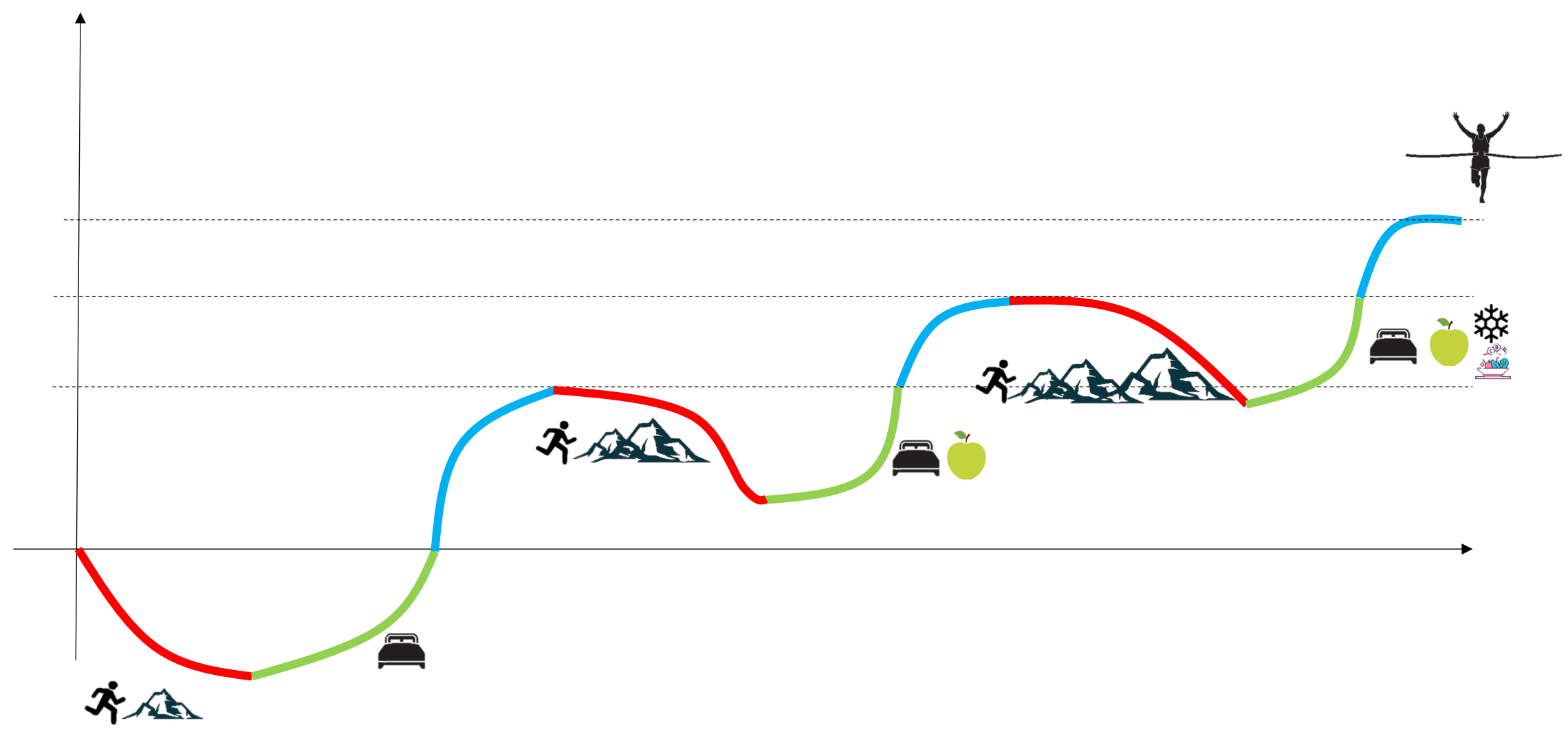


Quelle utilisation de la VFC pour le sportif ?

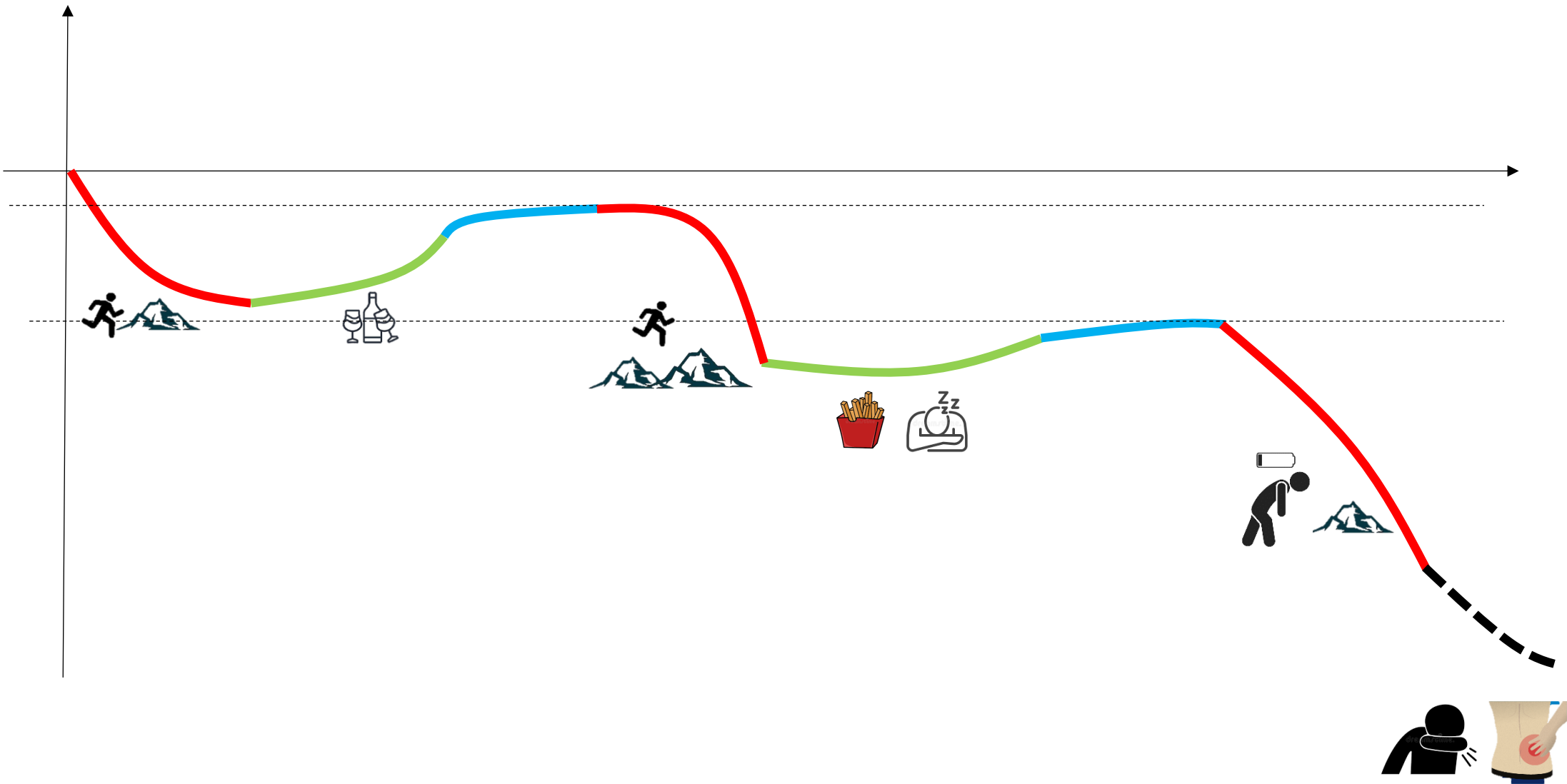
Soirée trimestrielle du CMBCS – 22/06/2026

Dr Anthony COSTA, Unité Sport Santé et Prévention, CHU Grenoble Alpes

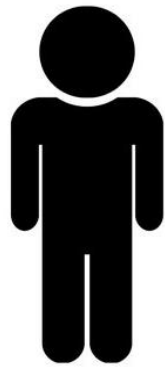
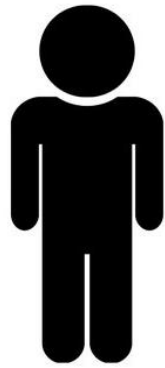
Principe de l'entraînement



Principe de l'entraînement



Variabilité inter et intra-individuelle



SEMAINE 1 – OBJECTIF : DÉVELOPPEMENT CAPACITÉ AÉROBIE					SEMAINE 6 – TRAVAIL AU SEUIL + TEST OBJECTIF MARATHON				
Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques	Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques
Séance 1	Vendredi	Endurance	Endurance	Surveillance de l'hydratation	Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Maintenir bien le rythme
Séance 2	Jeudi	Swif Court	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 2	Jeudi	Endurance	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 3	Samedi	Endurance	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 3	Dimanche	Endurance	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
SEMAINE 2 – OBJECTIF : DÉVELOPPEMENT CAPACITÉ AÉROBIE					SEMAINE 7 – OBJECTIF : DÉVELOPPEMENT MIXTE CAPACITÉ & PUISSANCE AÉROBIE				
Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques	Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques
Séance 1	Vendredi	Endurance	Endurance	Surveillance de l'hydratation	Séance 1	Vendredi	Endurance	Endurance	Surveillance de l'hydratation
Séance 2	Jeudi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 2	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 3	Samedi	Endurance	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 3	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
SEMAINE 3 – OBJECTIF : DÉVELOPPEMENT PUISSANCE AÉROBIE + TEST SUR 100M					Séance 4	Dimanche	Endurance	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques	SEMAINE 8 – OBJECTIF : TRAVAIL AU SEUIL & DE L'ALLURE MARATHON				
Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 2	Jeudi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 2	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 3	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 3	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 4	Dimanche	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 4	Dimanche	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
SEMAINE 4 – OBJECTIF : DÉVELOPPEMENT PUISSANCE AÉROBIE					SEMAINE 9 – OBJECTIF : TRAVAIL DE L'ALLURE MARATHON				
Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques	Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques
Séance 1	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 2	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 2	Jeudi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 3	Dimanche	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 3	Samedi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
SEMAINE 5 – OBJECTIF : TRAVAIL AU SEUIL					SEMAINE 10 – OBJECTIF : AFFÛTAGE OBJECTIF MARATHON				
Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques	Jour	Objectif de séance	Points de la séance	Aléas	Conseils pratiques
Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 1	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 2	Mardi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 2	Jeudi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 3	Vendredi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 3	Samedi	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation
Séance 4	Dimanche	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation	Séance 4	Dimanche	Swif Long	Endurance	Apporter les 100 ml d'hydratation



Pour progresser...

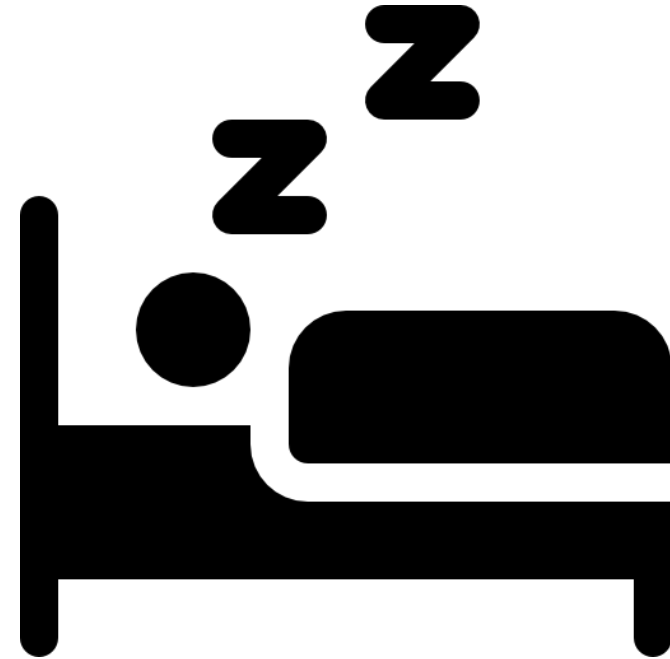
- La bonne séance (durée, intensité, technicité)
- Pour le bon athlète
 - Contenu des séances précédentes
 - Réponse à ces séances ?
- Au bon moment
 - Etat de forme global
 - État de récupération
 - Motivation



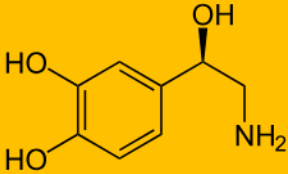
Questionnaires ?

Marqueurs « objectifs »

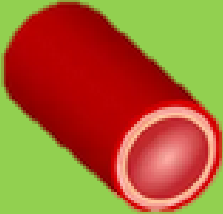
Le système nerveux autonome



Le système nerveux autonome



Σ



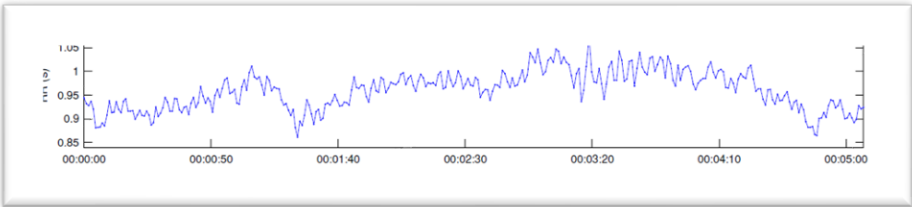
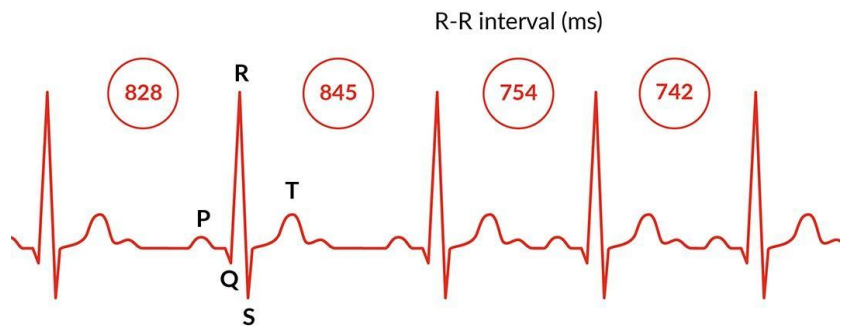
Para Σ



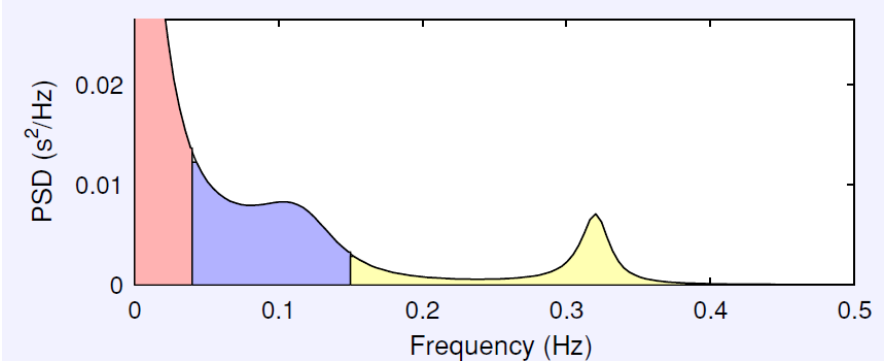
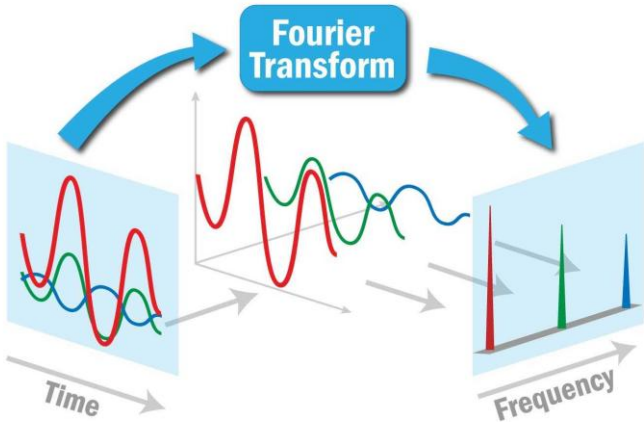
Le système nerveux autonome



Indices VFC temporels et fréquentiels



Sympathique	Parasympathique	Sympathique + Parasympathique
LF/HF	pNN50 (%) RMSSD (ms) HF (ms ²)	SDNN (ms) LF (ms ²)



Special Report

Heart Rate Variability
Standards of Measurement, Physiological Interpretation,
and Clinical Use

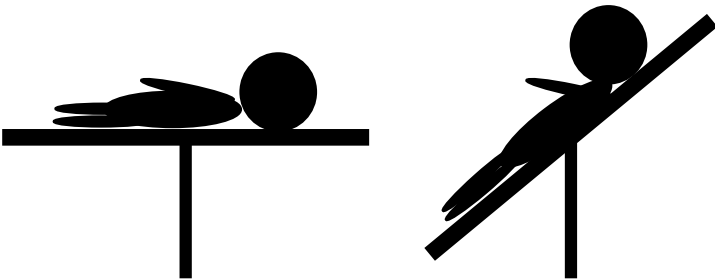
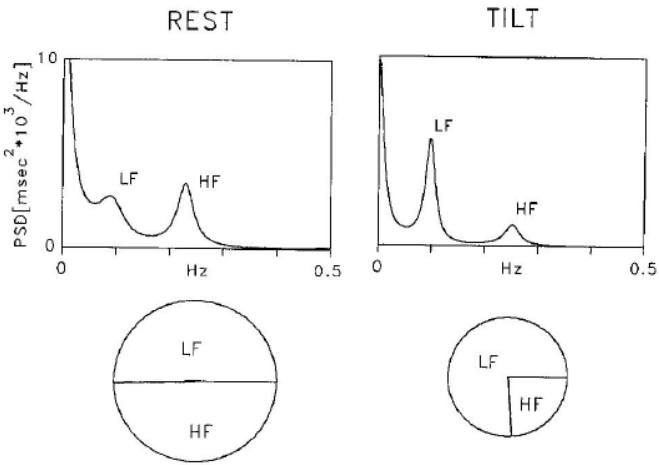
Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society
of Pacing and Electrophysiology*

TABLE 1. Selected Time Domain Measures of HRV

Variable	Units	Description
Statistical Measures		
SDNN	ms	Standard deviation of all NN intervals
SDANN	ms	Standard deviation of the averages of NN intervals in all 5-minute segments of the entire recording
RMSSD	ms	The square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent NN intervals
SDNN index	ms	Mean of the standard deviations of all NN intervals for all 5-minute segments of the entire recording
SDSD	ms	Standard deviation of differences between adjacent NN intervals
NN50 count		Number of pairs of adjacent NN intervals differing by more than 50 ms in the entire recording; three variants are possible counting all such NN intervals pairs or only pairs in which the first or the second interval is longer
pNN50	%	NN50 count divided by the total number of all NN intervals

TABLE 2. Selected Frequency Domain Measures of HRV

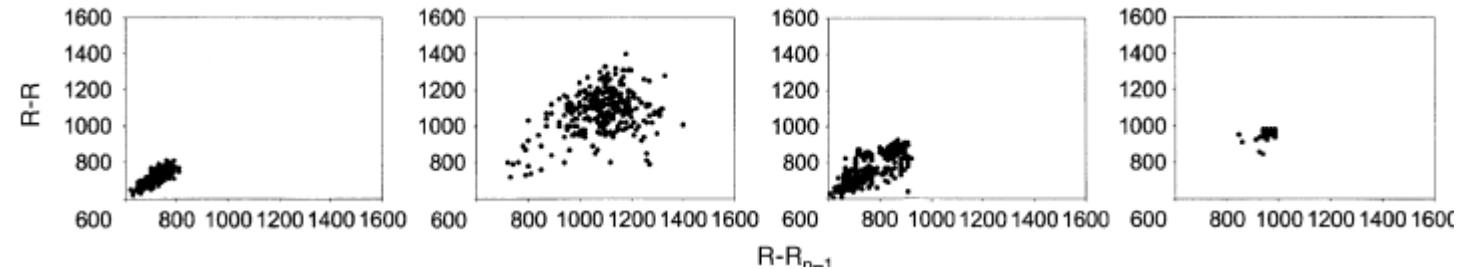
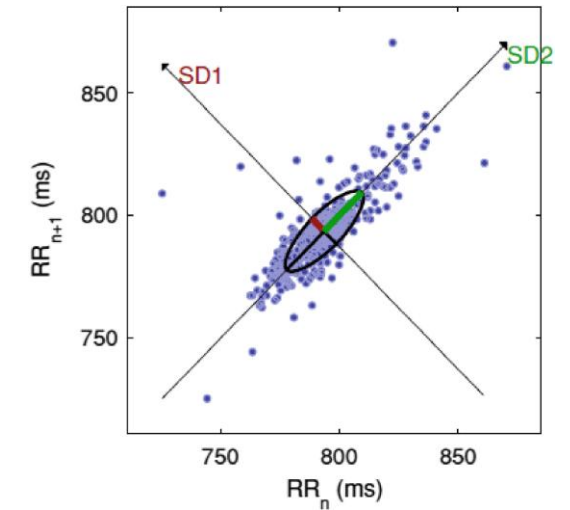
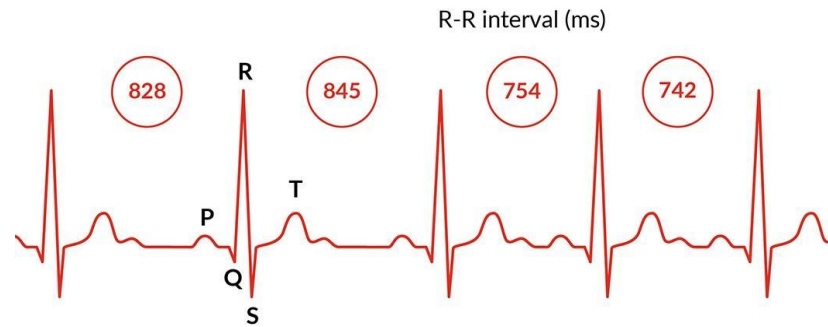
Variable	Units	Description	Frequency Range
Analysis of Short-term Recordings (5 min)			
5-min total power	ms ²	The variance of NN intervals over the temporal segment	≈≤0.4 Hz
VLF	ms ²	Power in VLF range	≤0.04 Hz
LF	ms ²	Power in LF range	0.04-0.15 Hz
LF norm	nu	LF power in normalized units LF/(total power-VLF)×100	
HF	ms ²	Power in HF range	0.15-0.4 Hz
HF norm	nu	HF power in normalized units HF/(total power-VLF)×100	
LF/HF		Ratio LF [ms ²]/HF[ms ²]	



- SD1 et SD2
- SampEn (entropie de Sample) : « prévisibilité » de la répétition de motifs dans la série d'intervalles R-R
 - Entropie haute = complexité élevée = richesse adaptative
 - Entropie basse = signal rigide peu adaptatif
- DFA α_1 et α_2

Diagramme de Poincaé

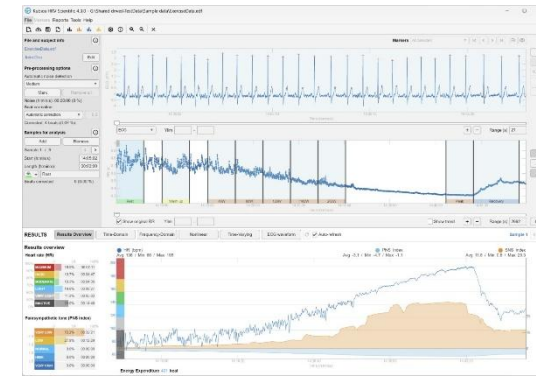
- Mise en relation durée intervalle RR n // durée intervalle RR n+1
- **SD1** = largeur du nuage ; variations de battement à battement, marqueur **para** Σ . Corrélé au RMSSD
- **SD2** = longueur du nuage : variabilité « lente », **globale**



Considérations pratiques

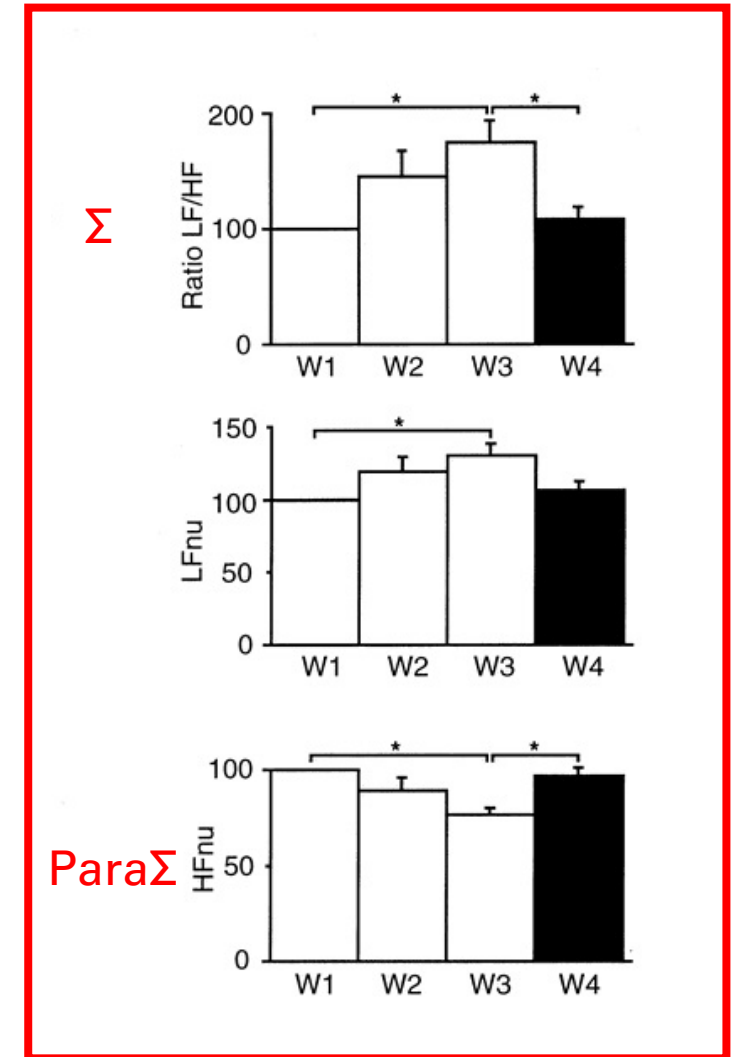
Déterminants de la VFC de repos :

- Position corporelle
- Volume plasmatique
- Activité du SNA
- Génétique
- Entrainements les jours précédents
- Conditions environnementales
- Moment de la journée
- Stress divers et variés
- ...



Effets de l'entraînement sportif

- Augmentation puissance totale¹
- Hypertonie para Σ ^{1,2}
 - Plafonne après 3 mois d'entraînement³
- Tilt : plus forte activation Σ ²
- Variable selon la phase d'entraînement^{4,5}
 - Semaines de charge : $\nearrow \Sigma$, $\searrow$ para Σ
 - Décharge : $\searrow \Sigma$, $\nearrow$ para Σ



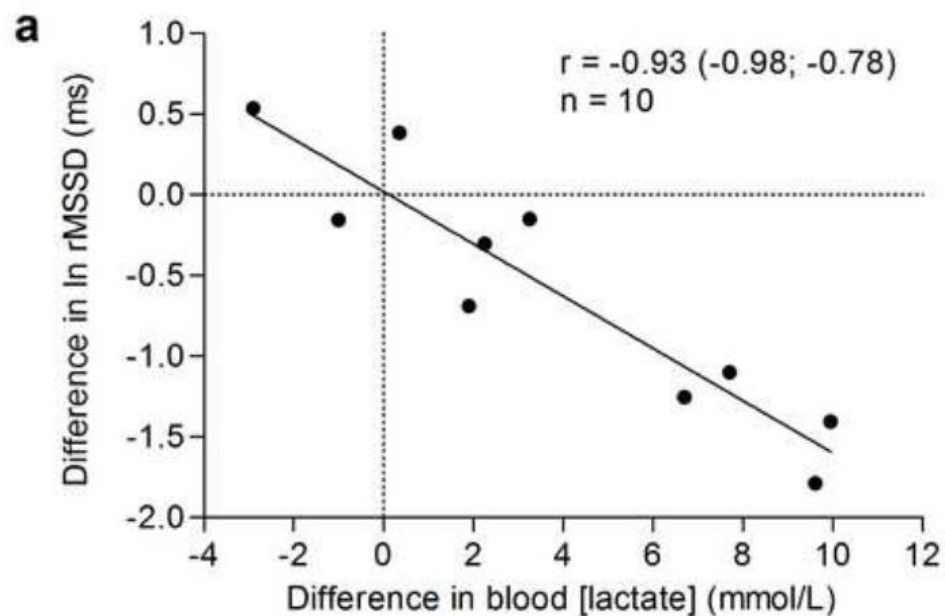
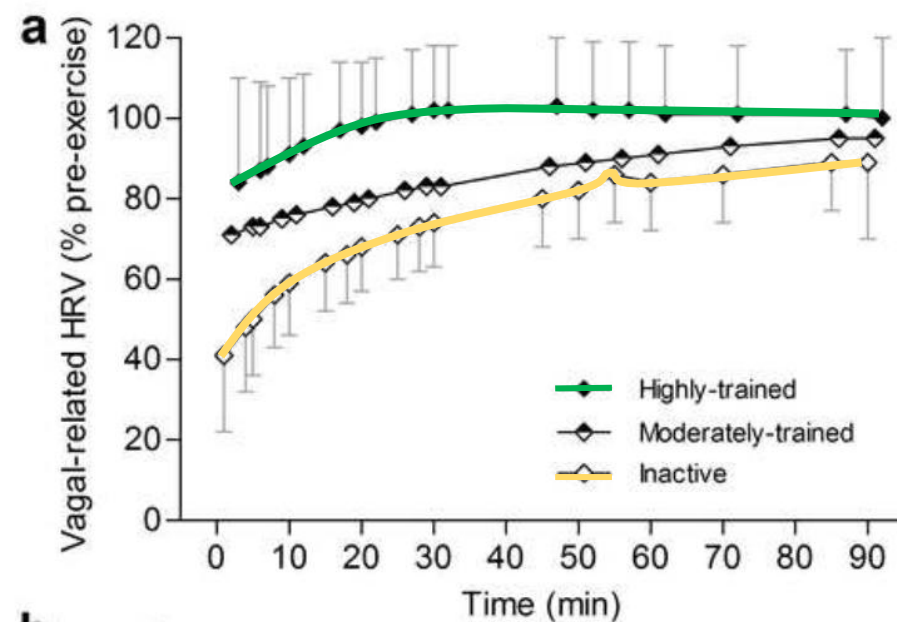
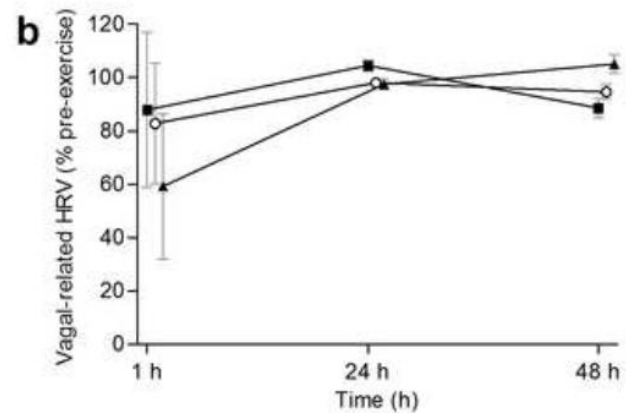
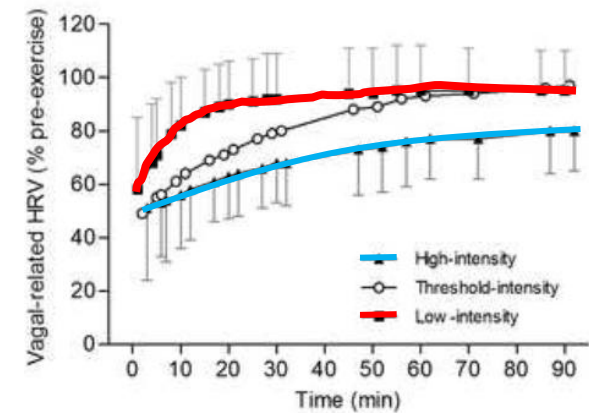
[1] Carter et al., Medicine & Science in Sports & Exercise, 2002

[2] Furlan et al., Cardiovascular Research, 1993

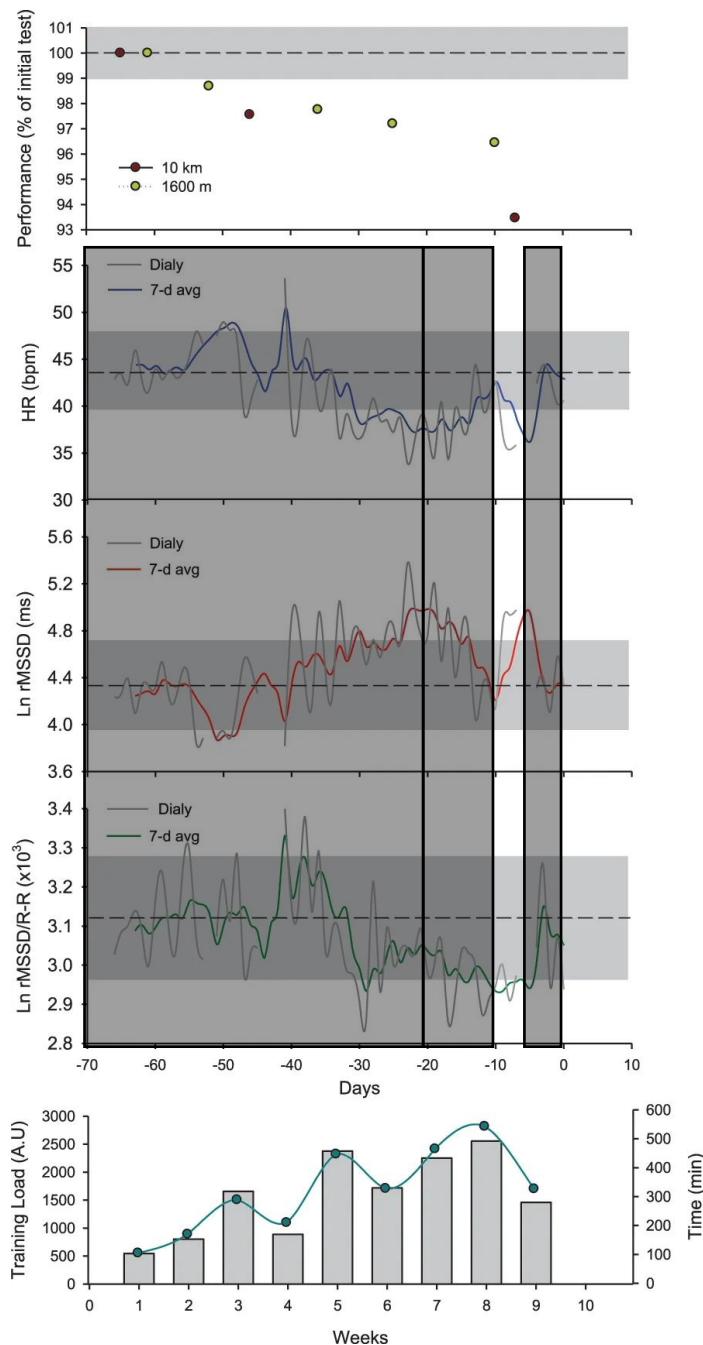
[3] Iwasaki et al., JAP, 2003

[4] Iellamo et al., Circulation, 2002

[5] Pichot et al., Medicine&Science in Sports&Exercise, 2000



Impact de l'intensité de la séance
et du niveau d'entraînement sur
les marqueurs para Σ (RMSSD)



- Préparation d'un marathon sur 9 semaines, coureur de 32 ans, objectif 3h15
 - Augmentation progressive indices vagaux (RMSSD)
 - Semaines 7-8 : $\searrow$ LnRMSSD à FC basse (saturation vagale)
 - Semaine 9 : $\searrow$ LnRMSSD mais augmentation FC ($\nearrow \Sigma$)
- Intérêt du **ratio LnRMSSD/RR**

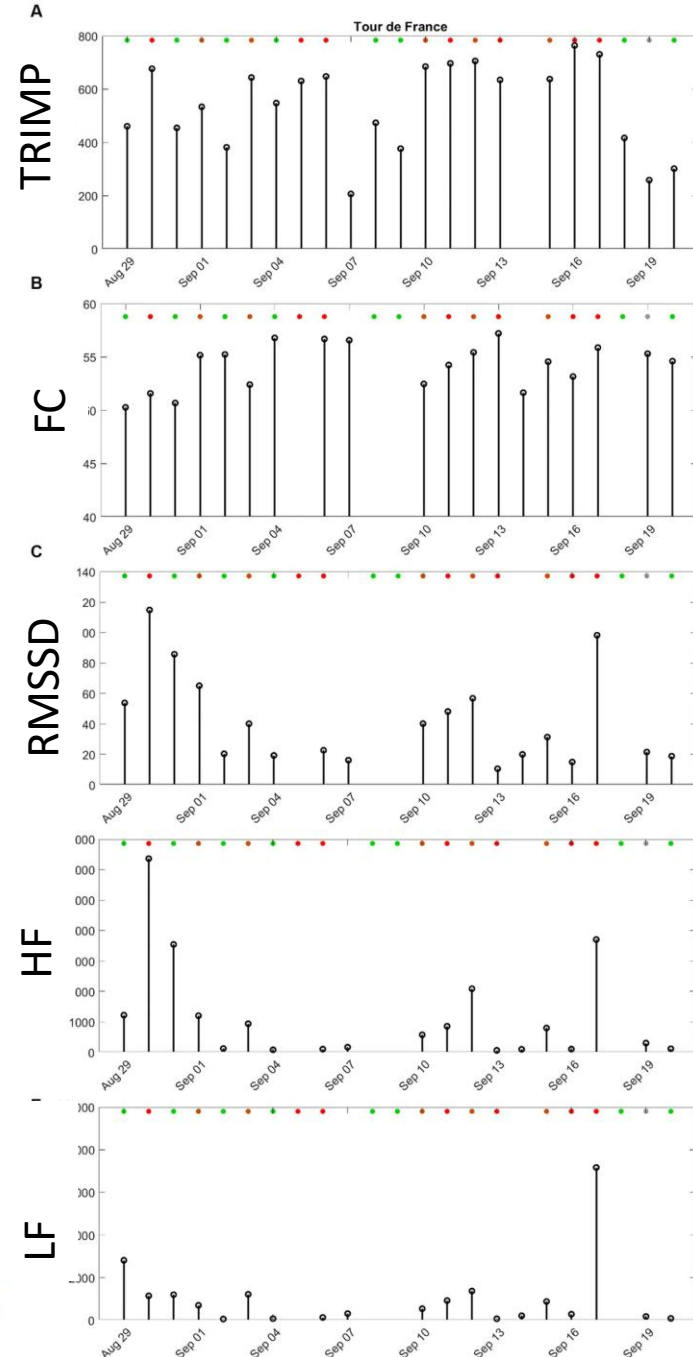
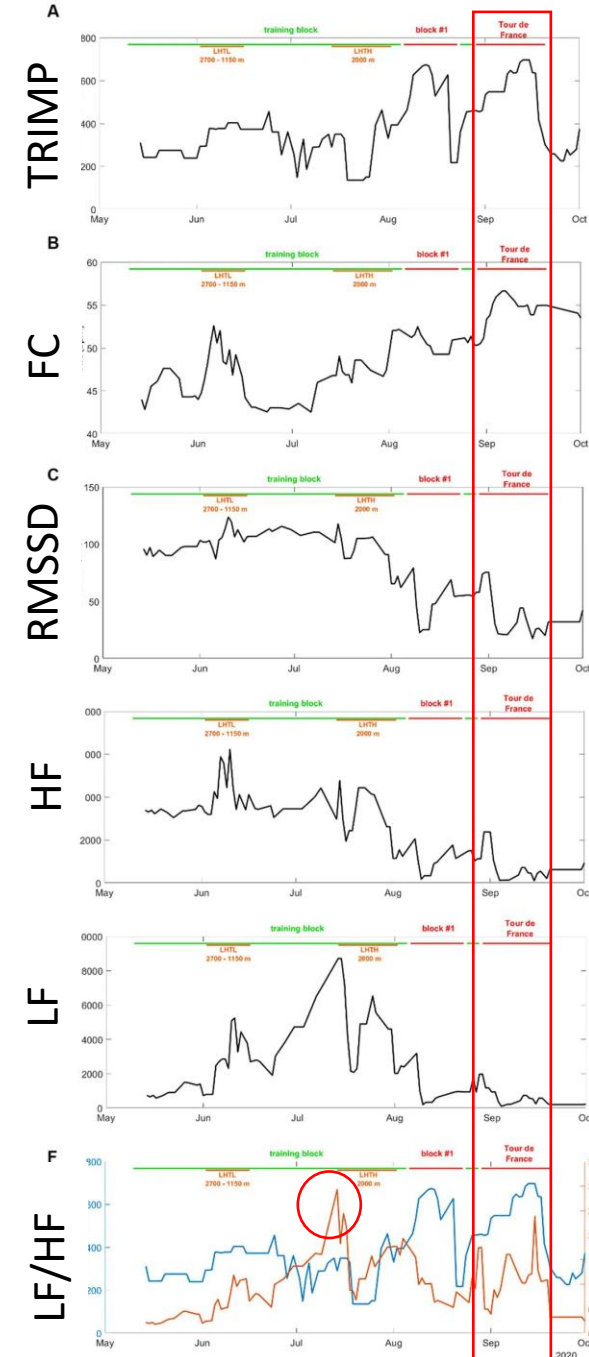
VFC à l'entraînement

- $\searrow$ para Σ avec séances **intenses**, $\nearrow$ Σ avec charges **modérées**
- $\nearrow$ **tonus vagal** au fil de la préparation puis $\searrow$ **pendant la période d'affûtage**
 - Stress pré-compétition
 - Modification modalités entraînement – endurance aérobie pendant la préparation, uniquement haute intensité pendant affûtage ?
- **Toujours interpréter les indices (FC, VFC) selon contexte d'entraînement**

Comment interpréter une diminution des indices vagues ?

- $\searrow$ **para** Σ (phase d'affûtage) renforcé par le stress pré compétition $\rightarrow$ bénéfique
- Phénomène de « **saturation** » : conséquence d'une **augmentation de l'activité vagale**
 - Saturation des récepteurs myocardiques à l'Ach
 - Absence de variation sinusale à la respiration
- Fatigue/surentrainement
- RMSSD debout (lève partiellement la saturation vagale)
- Rapport RMSSD/RR
 - = ou $\nearrow$ si hyperactivité Σ (RR diminue)
 - $\searrow$ si saturation vagale (RR augmente)

Suivi VFC pendant une épreuve sportive à étapes



	Overall 14 May–01 October	Training 14 May–05 August	Competition block #1 06 August–23 August	Tour de France 29 August–20 September
TRIMPS (a.u.)	403 ± 226	353 ± 230	534 ± 267 *	550 ± 157 *
HR (bpm)	Mean 49 SD 5 CV 9%	Mean 47 SD 4 CV 9%	Mean 50 * SD 3 * CV 5% *	Mean 54 * ⁵ SD 2 * CV 4% *
RMSSD (ms)	Mean 78 SD 35 CV: 47%	Mean 96 SD 26 CV 26%	Mean 48 * SD 26 CV 56% *	Mean 46 * SD 30 CV 72% *
HF (ms ²)	Mean 2,769 SD 2125 CV: 78%	Mean 3,590 SD 1858 CV: 58%	Mean 1,320 * SD 1446 CV: 107% *	Mean 1,267 * SD 1683 CV: 141% *
LF (ms ²)	Mean 2,431 SD 2640 CV: 107%	Mean 3,319 SD 2819 CV: 85%	Mean 798 * SD 733 * CV: 90%	Mean 1,097 * SD 1657 * CV: 160% *



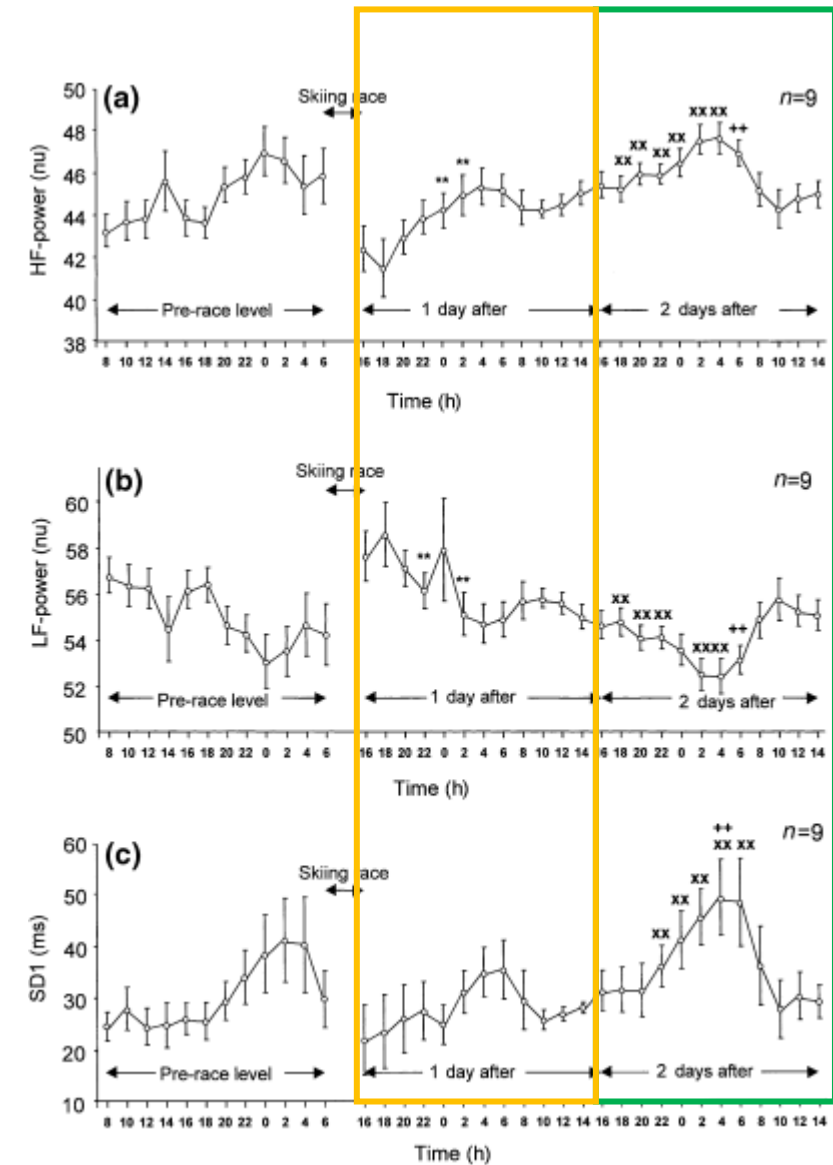
• **Fin entraînement** : ↗ LF, ↘ RMSSD et HF ; ↗ LF/HF = **hypertonie** Σ

• **Tour de France** : ↗ FC, ↘ LF, HF, **RMSSD**

→ État de **functional overreaching**

VFC après une épreuve sportive

- Post –course immédiat :
 - $\searrow$ **variabilité globale**^{1,2,3}, particulièrement les indices **parasympathiques** (RMSSD, HF)^{1,2}
 - $\nearrow$ **$\alpha 1$** , $\searrow$ **SampEn** (augmentation prévisibilité)¹
- Retour des indices HRV au niveau de base **dès J2**³
 - Voire rebond parasympathique à J2^{2,4}
 - Non corrélé à la récupération musculaire⁴
- Temps de récupération inversement corrélé à VO_2max ²



[1] Martinez-Navarro et Al., Journal of Sports Science and Medicine, 2019
 [2] Hautala et al., Clinical Physiology, 2001
 [3] Fazackerley et al., European Journal of Applied Physiology, 2019
 [4] Buchheit et al., Frontiers in Physiology, 2015

Détection du surentrainement

Principes généraux

- SNA « réactif » = adaptatif et rapidement réversible
 - Importantes variations d'un jour à l'autre selon le type d'entraînement
- Surentrainement = perte de cette variabilité
 - Hyperactivité Σ
 - Hyperactivité para Σ
 - Hypoactivité Σ
- **FOR = functional overreaching** : fatigue **recherchée**, récupère en quelques **heures ou jours**
- **NFOR = non functional overreaching** : **non contrôlée**, nécessite plusieurs **semaines à mois** pour récupérer



Surementnement

- Plafonnement voire diminution des performances ➔ chute/non-progression $VO^2 \text{ max}^1$
- ↗ tonus Σ^1 , ↘ para Σ^2
- Moindre réactivité Σ au tilt²

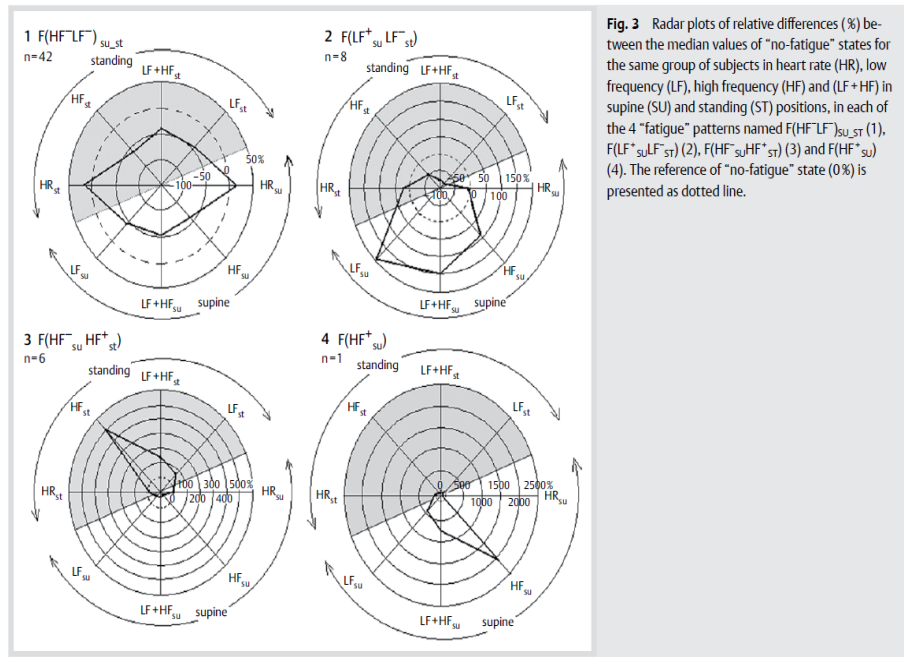
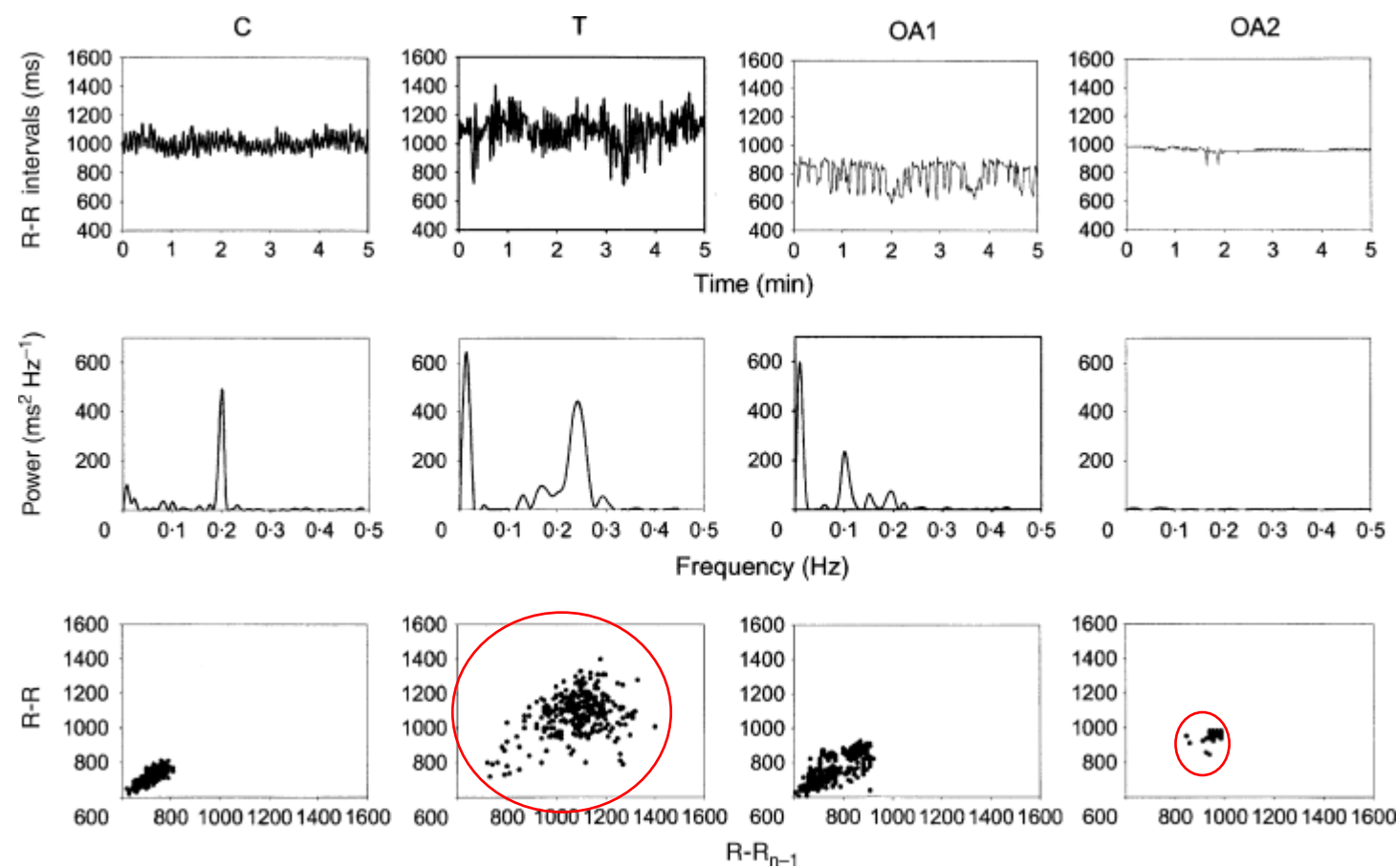


Fig. 3 Radar plots of relative differences (%) between the median values of "no-fatigue" states for the same group of subjects in heart rate (HR), low frequency (LF), high frequency (HF) and (LF + HF) in supine (SU) and standing (ST) positions, in each of the 4 "fatigue" patterns named F(HF⁻LF⁻)_{SU,ST} (1), F(LF⁺SU,LF⁻ST) (2), F(HF⁻SU,HF⁺ST) (3) and F(HF⁺SU) (4). The reference of "no-fatigue" state (0%) is presented as dotted line.



Type	Observations
1. Fatigue (HF- couché, LF- debout)	Baisse de LF et HF et augmentation de la FC dans les deux positions. Il s'agit du cas le plus souvent rencontré
2. Fatigue (LF+ couché, LF- debout)	Augmentation de LF couché, baisse de LF debout et augmentation de la FC debout
3. Fatigue (HF- couché, HF+ debout)	Baisse de HF couché et augmentation de HF debout
4. Fatigue (HF+ couché)	Augmentation de HF et baisse de la FC debout. Ce cas de figure est rare

[1] Uusitalo et al, Clinical Physiology, 1998
[2] Mourou et al., Clinical Physiology and Functional Imaging, 2004
[3] Schmitt et al., Internal Journal of Sports Medicine, 2015

Adaptation de l'entraînement

Entraînement guidé par HRV

- ↗ $\text{VO}_2\text{max}^{1, 2}$
 - Surtout chez les femmes et les amateurs²
- Amélioration des paramètres en sous-maximal³
- ↘ séances de haute intensité³

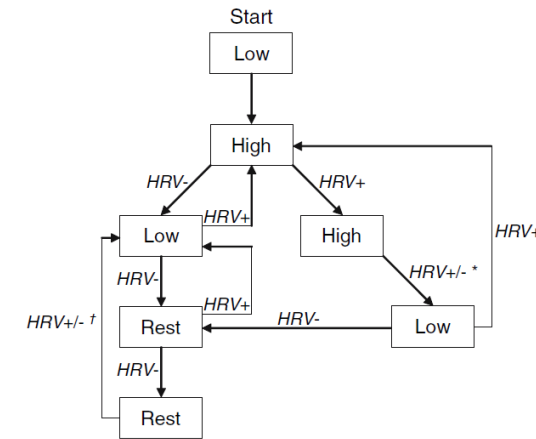
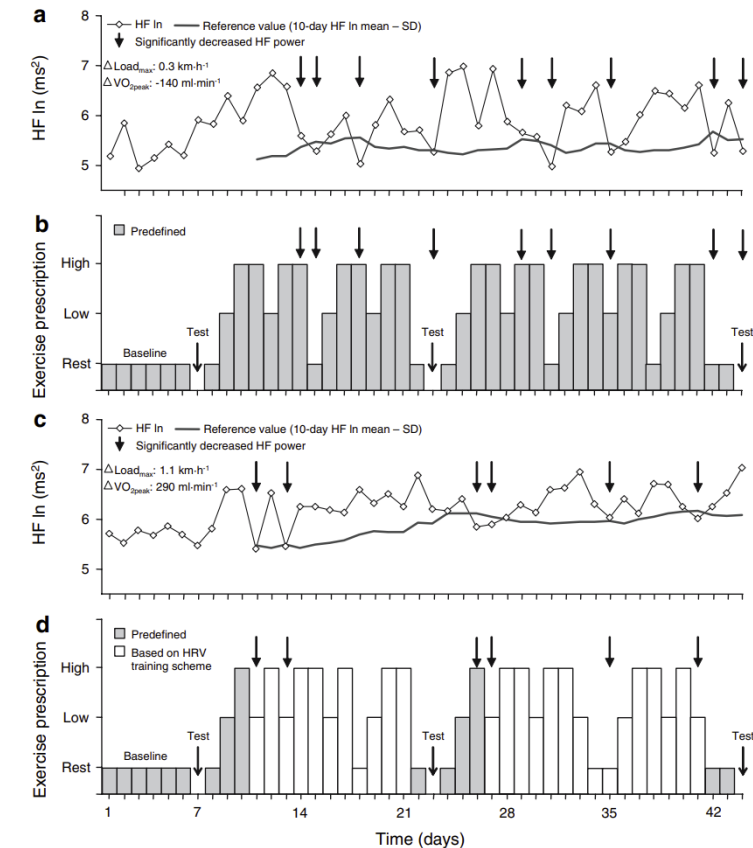
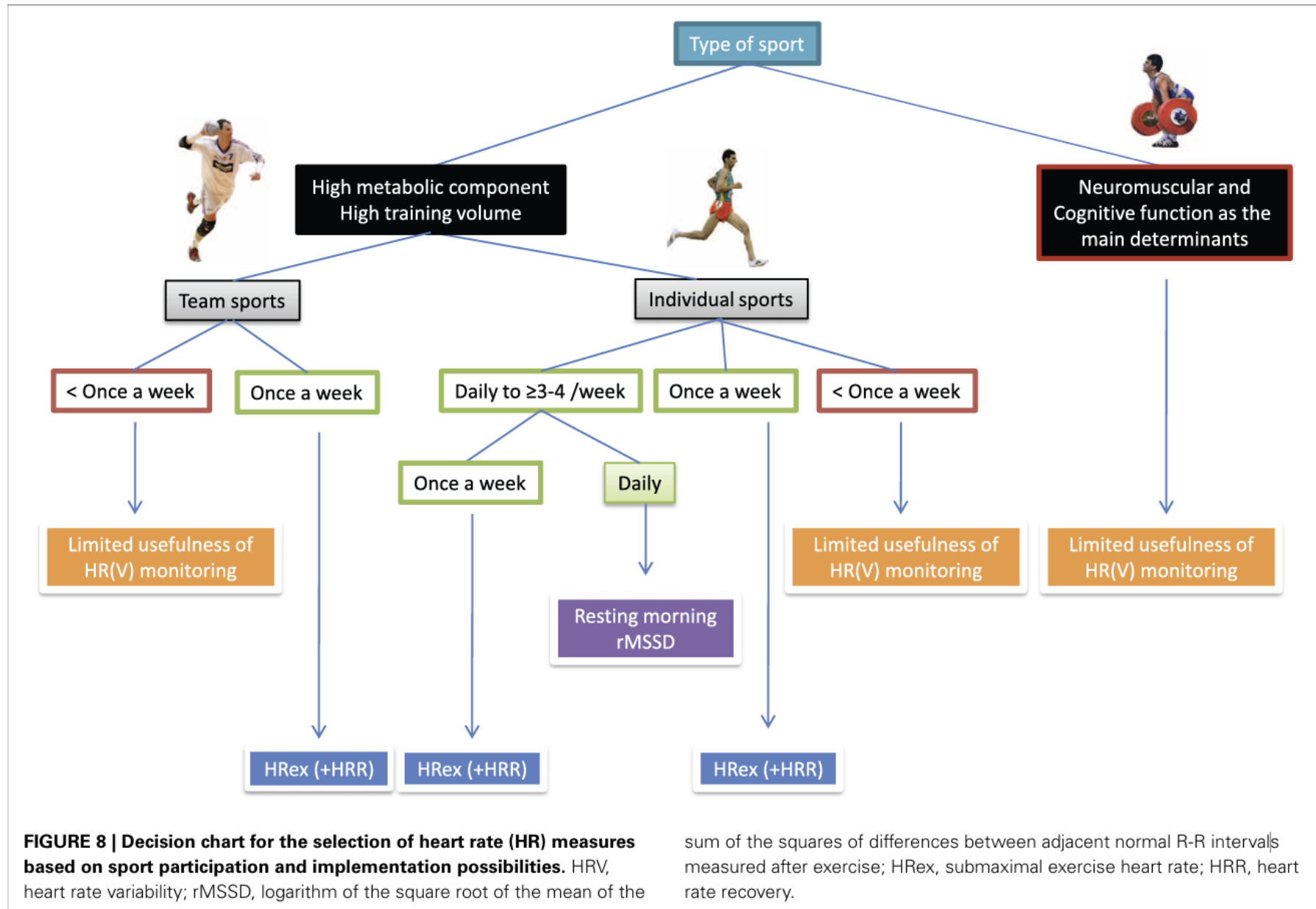


Fig. 1 Heart rate variability (HRV)-guided training scheme. The basic idea was to lower the training intensity whenever decreased high-frequency (HF) oscillation of R-R intervals was observed. Maximum two consequent high-intensity exercises (*) and resting days (†) were allowed. Resting day was prescribed after nine consequent training days despite the daily HF power. Low = exercise at 65% of maximal heart rate; High = exercise at 85% of maximal heart rate; Rest = resting day; HRV+ = increased or not changed HRV; HRV- = decreased HRV



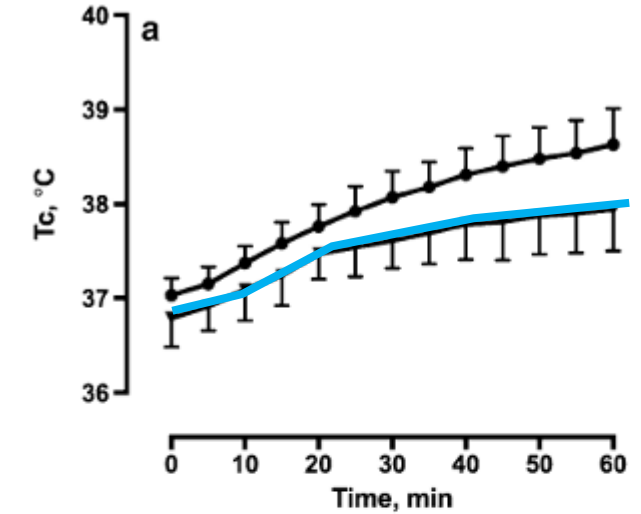
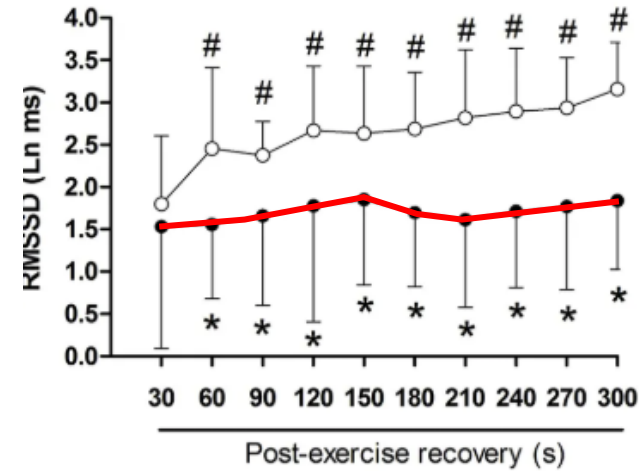


Adaptation aux stress environnementaux

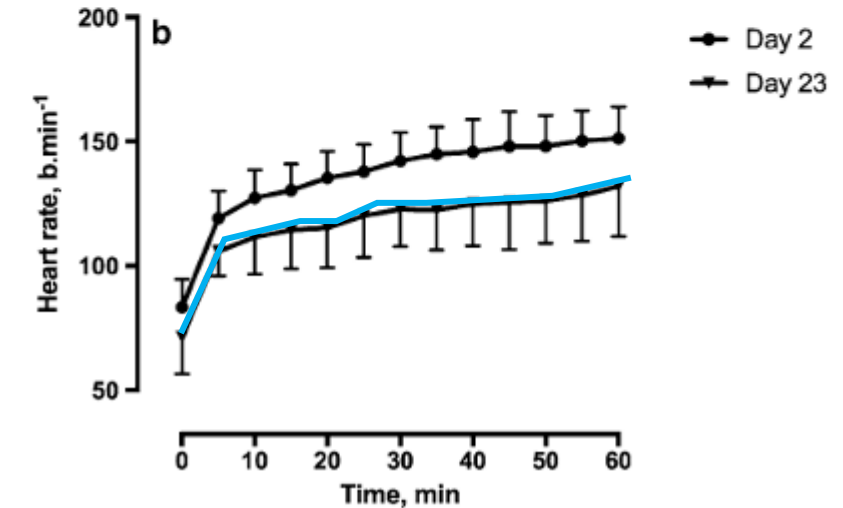
Chaleur



Altération prolongée et plus prononcée des indices vagues, $\searrow$ complexité signal^{1,2}



Marqueur pertinent d'acclimatation à la chaleur³



[1] Macartney et al., Medicine & Science in Sports & Exercise, 2020

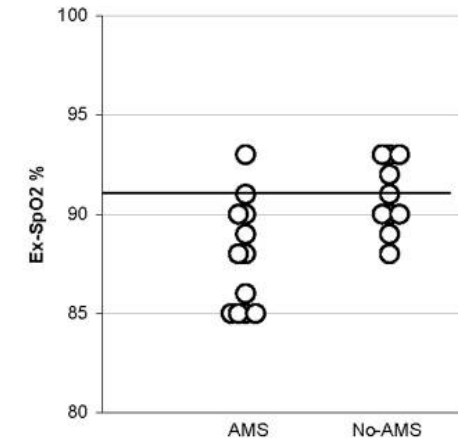
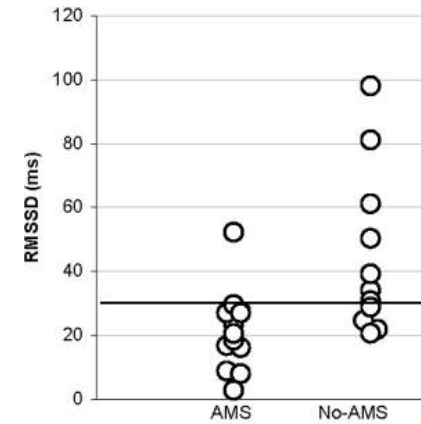
[2] Peçanha et al., Sec. Autonomic Neuroscience, 2017

[3] Stacey et al., Eur J Appl Physiol, 2018



HRV Indicators	Main Analysis	Altitude Subgroup (≥3500 m vs <3500 m)	Fitness Subgroup (Trained vs Healthy adults)
SDNN	↓***	↓*	↔
RMSSD	↓***	↔	↔
PNN50	↓***	↔	↔
HF	↓***	↔	↔
LF	↓***	↔	↓*
LF/HF	↑***	↑*	↑*

↓ = Decrease
 ↑ = Increase
 ↔ = Non-significant difference
 * = p < 0.05
 *** = p < 0.001

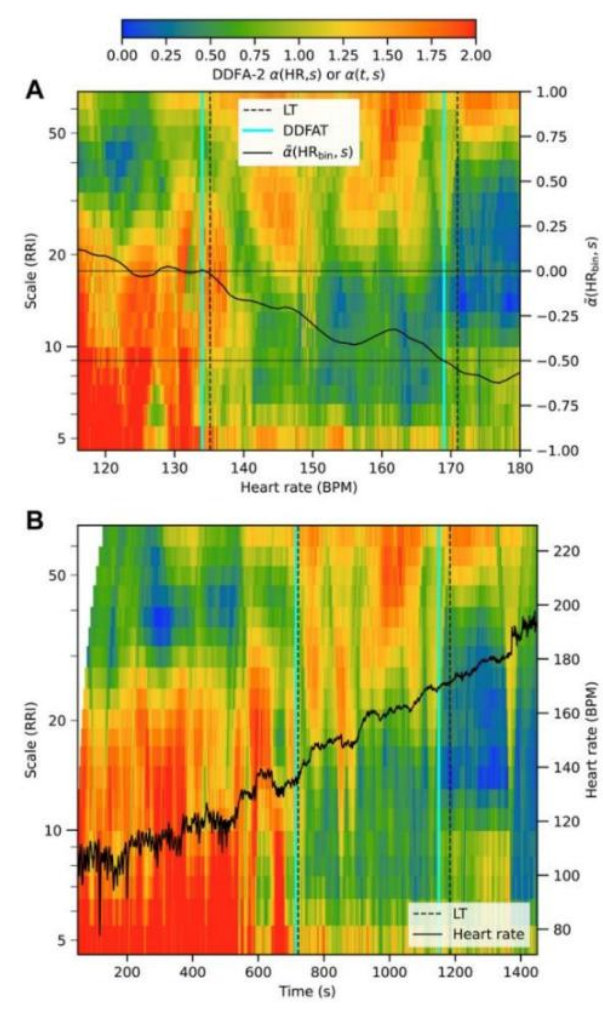


↘ variabilité globale + levée du frein
 para $\Sigma \rightarrow$ **prédominance Σ^1**

Intérêt dans la prédiction du
 MAM ?²

VFC à l'exercice

Détermination des seuils



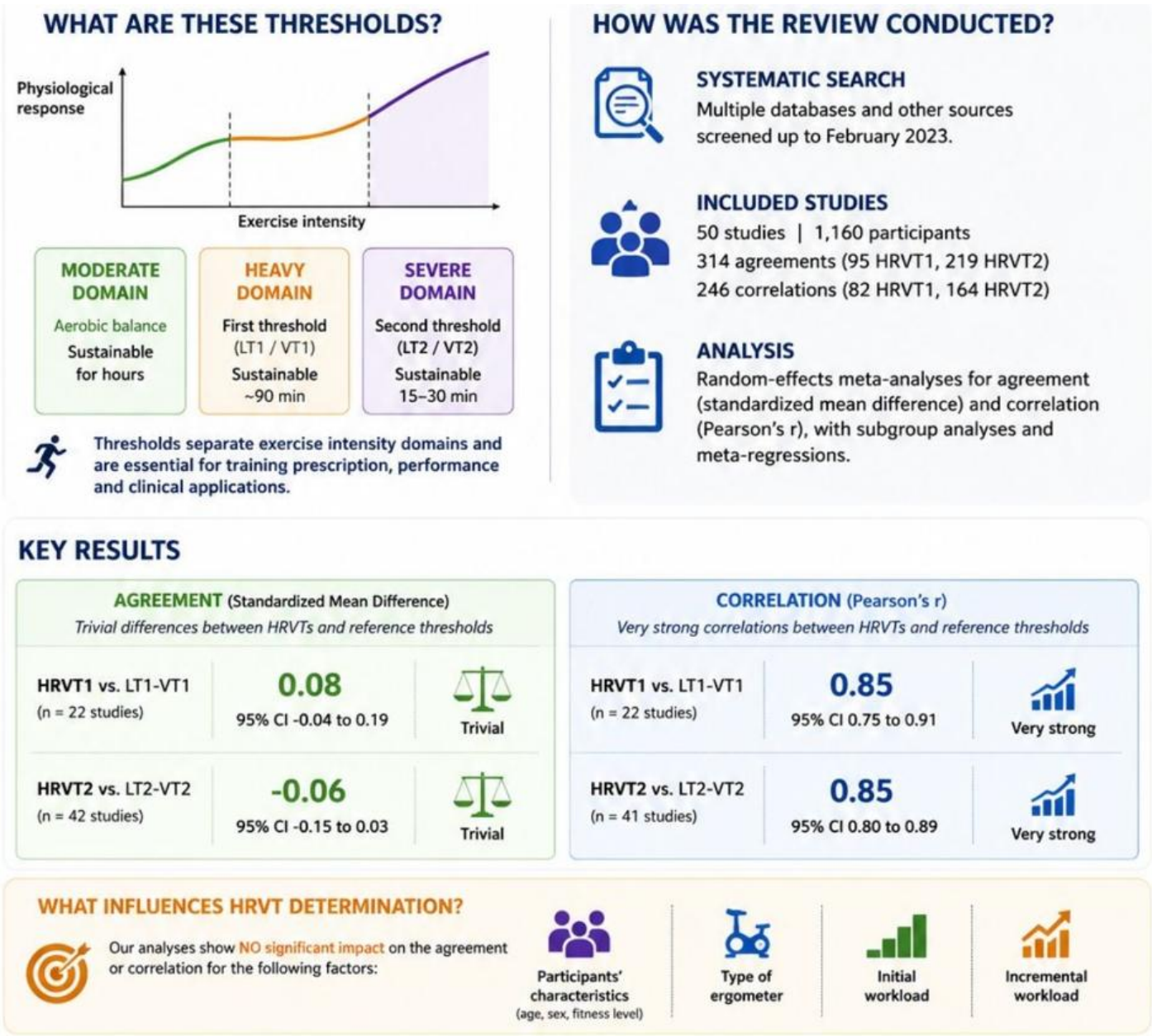
Évaluez l'intensité précise de votre exercice



Lors d'un entraînement d'endurance, il est essentiel de trouver l'intensité d'entraînement adaptée pour obtenir les meilleurs résultats. De nombreux athlètes se demandent s'ils s'entraînent trop ou pas assez. Les zones de fréquence cardiaque ont été utilisées pour estimer l'intensité, mais elles ne tiennent pas compte des changements d'un jour à l'autre, entre les différents types d'activité ou pendant les longues séances d'entraînement.

Désormais, **Suunto ZoneSense** offre une avancée dans le suivi de l'intensité en temps réel. Elle utilise la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) pour fournir des indicateurs précis, pour aider les athlètes à optimiser leurs performances comme jamais auparavant.

Détermination des seuils



VFC et infection



blandinelhironde • Suivre

Millau Aveyron

On a qu'un seul corps, prenons en soin.

Je ne suis pas revenue qu'avec la 🏆 de Carhaix 🏆.

🌿 Toux sèche, courbature, céphalées, fièvre avec alternance de frissons/sueurs cette nuit... et ce matin, une VFC très basse et un FCB à 76 pour une norme à 40 🤯.

Exposer mon corps à un stress supplémentaire est risqué.

La saison est longue et la santé prime.

C'est aussi ça le sport de haut niveau, savoir faire des choix (parfois difficile) pour durer dans le temps et en bonne santé.

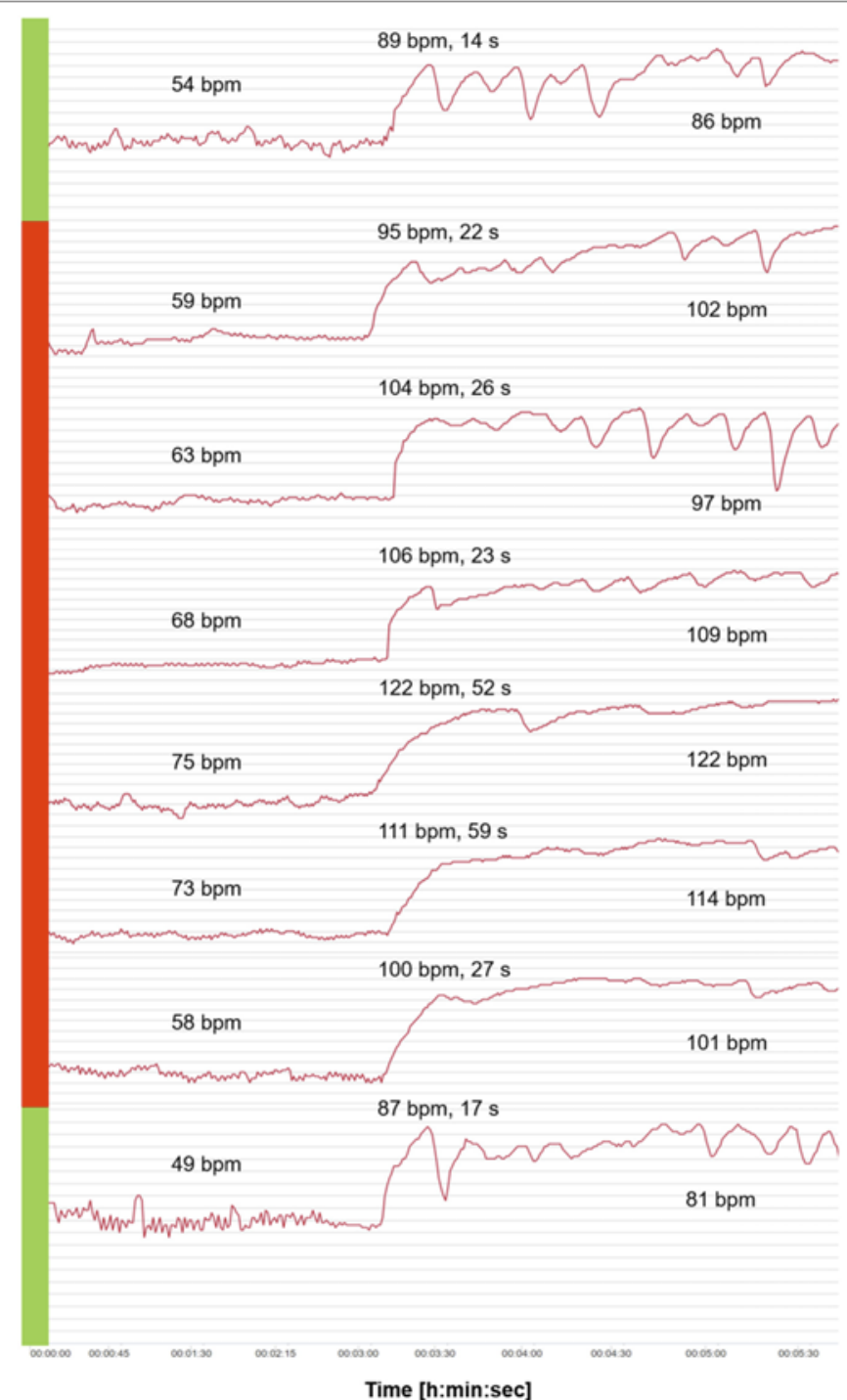
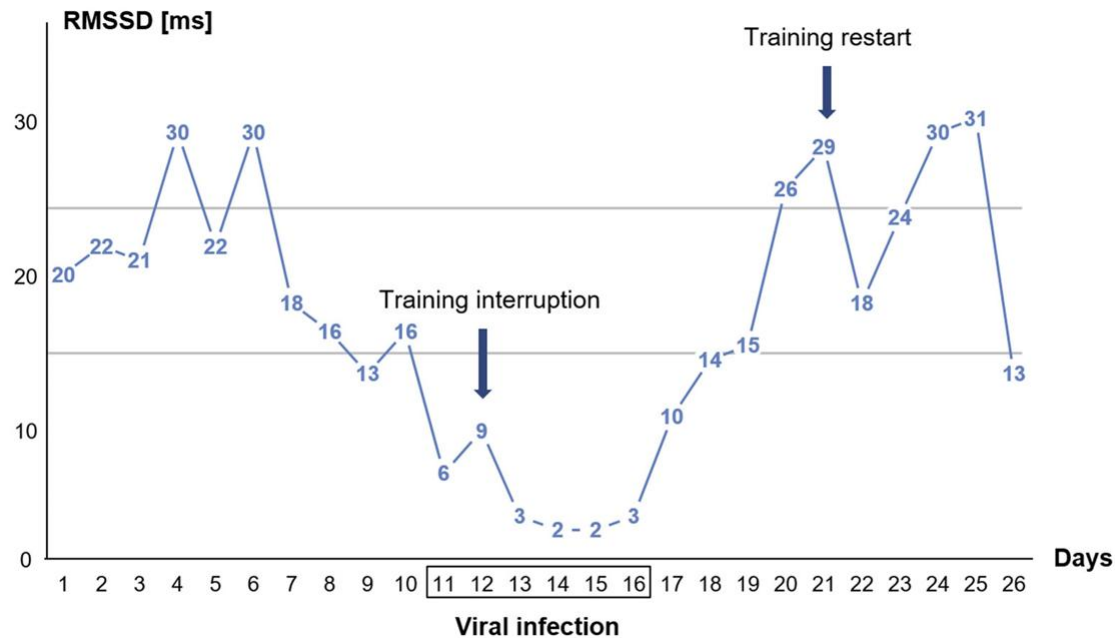
Je souhaite à tous une très belle course, et une belle bataille 💪 💪.

🤍 2,1 K 💬 71 📌

17 mars 2023

Connectez-vous pour aimer ou commenter.

- Marathonien très bon niveau (2h18, 30 ans)
- Suivi VFC quotidien
- Épisode fébrile 4 semaines après marathon
- ↘ ↘ **RMSSD** quelques jours **avant** 1^{er} symptômes (J12) puis fièvre (J13-J16)



- 7 joueuses de football élite
- Suivi VFC par photo-pléthysmographie
- ➤ ➤ **RMSSD** 2 jours avant survenue des 1^{ers} symptômes, 4 jours avant test COVID positif

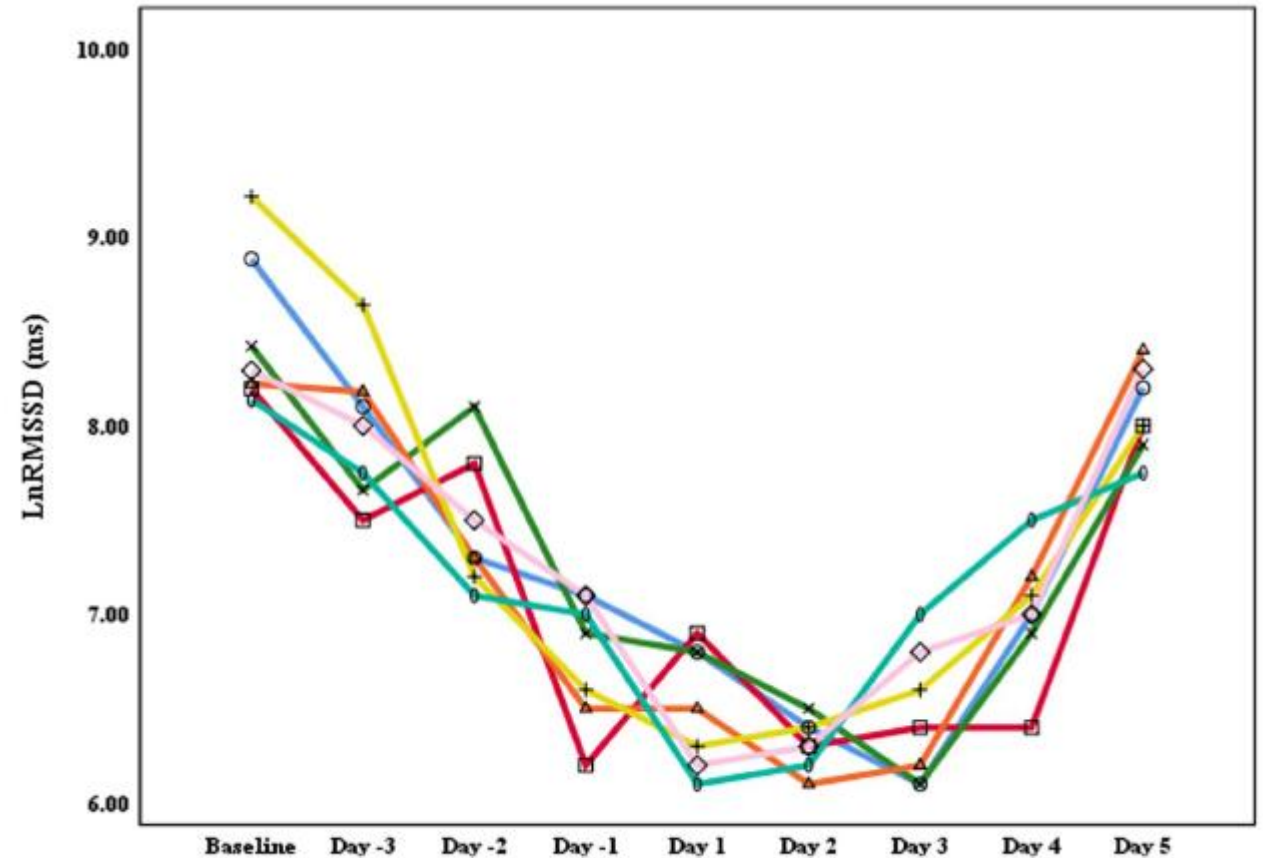


Fig. 2. LnRMSSD values for the seven players.



LES 10 RÈGLES D'OR

du Club des Cardiologues du Sport

COEUR ET SPORT :
Absolument mais pas n'importe comment



1 Je signale à mon médecin toute **douleur** dans la poitrine ou tout **essoufflement** anormal survenant à l'effort



6 J'évite les efforts intenses en cas de **températures** $< -5^{\circ}\text{C}$ ou $> +30^{\circ}\text{C}$ et lors des pics de **pollution**



2 Je signale à mon médecin toute **palpitation** survenant pendant ou juste après l'effort



7 Je ne consomme ni **tabac** ni nicotine, encore moins 2h avant ou après une activité sportive



3 Je signale à mon médecin tout **malaise** survenant pendant ou juste après l'effort



8 Je ne consomme jamais de **drogue**, de **substance dopante** et j'évite l'**automédication**



4 Je pratique un **échauffement** et une **récupération** lors de mes activités sportives



9 Je ne fais pas de sport intense en cas de **fièvre**, ni dans les 8 jours qui suivent un épisode grippal



5 Je **m'hydrate** régulièrement pendant l'effort, à l'entraînement comme en compétition



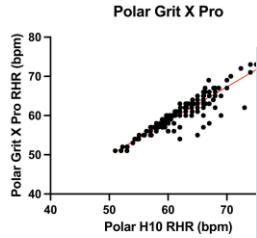
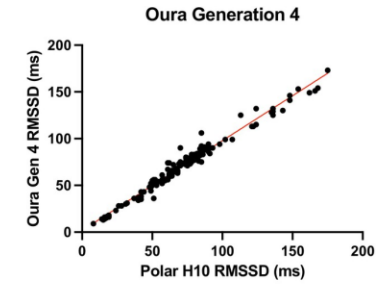
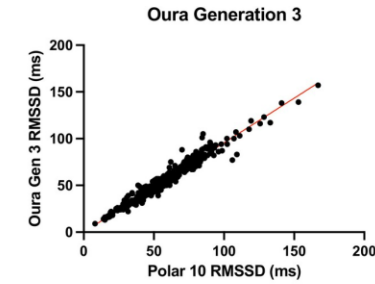
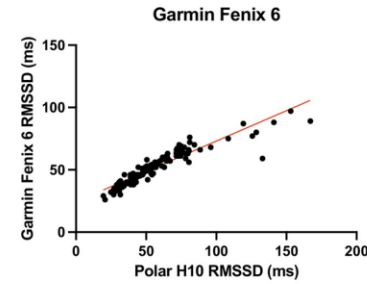
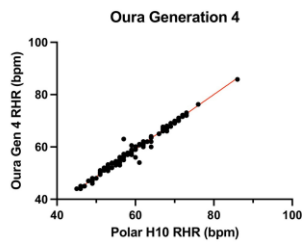
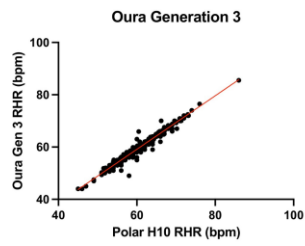
10 Je pratique un **bilan médical** avant de reprendre une activité sportive intense après 35 ans pour les hommes et après la ménopause pour les femmes

Quels que soient mon âge, mes niveaux d'entraînement et de performance ou les résultats d'un précédent bilan cardiologique.

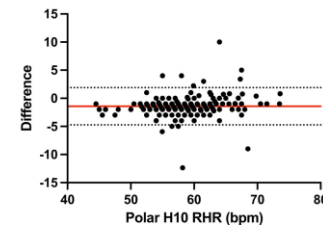
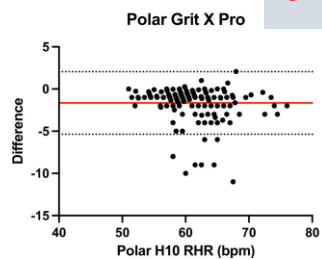
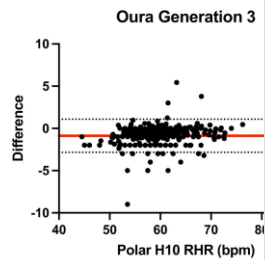
www.clubcardiosport.com

Illustrations : PIRELLA GÖTTSCHE LOWE / Contrasto / Getty Images / Arnaud Buisson

Fiabilité des mesures

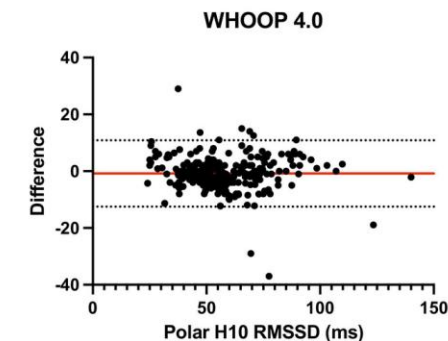
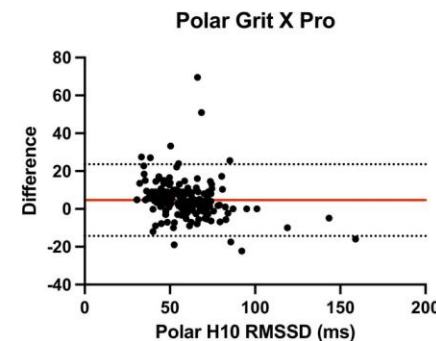
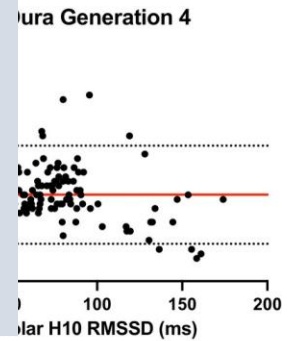


WHOOP 4.0



Polar Grit X Pro

WHOOP 4.0



One potential contributor to variability in HRV accuracy is the **inherent complexity in proprietary algorithms used by wearable companies** to derive HRV from PPG signals. While the manufacturers of the devices evaluated in the present study provide some details as to the segmentation of data collection or how some data is weighted, **they do not describe how signal artifact is filtered, how signal quality is interpreted, or how interpolation of missing data is conducted**. Time and frequency-domain HRV indices are particularly vulnerable to artifact and missing data, and differences in processing methods across devices likely contribute to **inconsistent HRV metrics** (Jarrin et al., [2012](#)). These differences in algorithmic methodologies may contribute to **variability between devices and complicate comparisons to gold-standard ECG-derived values**.

The background of the slide is a solid dark blue. On the right side, there is a large, lighter blue circle. On the left side, there is a vertical bar of a slightly different shade of blue. The word "Limites" is written in white, sans-serif font on the left side of the slide.

Limites

- Méthode de mesure
- Temps nécessaire d'acquisition et d'analyse
- Nombreux marqueurs parfois redondants, parfois discordants
- Variation minimale pertinente ?
- Une nouvelle donnée...
 - Si concordance avec les sensations : intérêt ?
 - Si discordance : prise en compte ? Effet mental délétère ?

Merci pour votre attention