



Université de Sétif 2

Faculté des sciences humaines

Département des sciences techniques et des activités physiques et sportives



Évaluation de la fonction cardiorespiratoire par les épreuves d'effort : enjeux, protocoles et perspectives

Présentée par : Dr. KHOUDIR

L'évaluation de la fonction cardiorespiratoire constitue un axe fondamental dans les sciences du sport et la médecine de l'exercice. Elle permet d'analyser les capacités physiologiques des athlètes, d'identifier d'éventuelles limitations cardiovasculaires et respiratoires, et d'adapter les stratégies d'entraînement ou de réhabilitation (Édwards et al., 2020). Cette intervention vise à mettre en lumière l'importance des épreuves d'effort dans l'évaluation cardiorespiratoire, en s'appuyant sur des protocoles validés scientifiquement.

1. Rappel physiologiques de l'adaptation cardiorespiratoire à l'effort

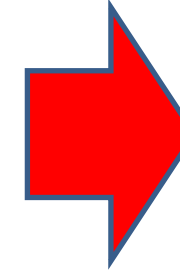
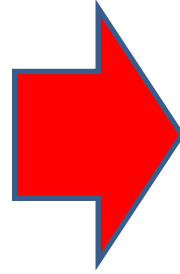
↗ **l'exercice physique**



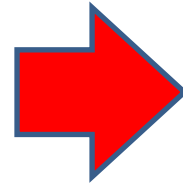
↗ **Activité du système cardiovasculaire et respiratoire**



Répondre aux besoins métaboliques accrus de l'organisme

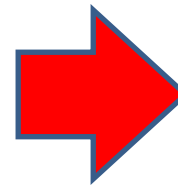


↗ **Débit cardiaque
la ventilation pulmonaire**



permet une meilleure distribution de l'oxygène vers les muscles actifs (*McArdle, Katch, & Katch, 2015*).

Les adaptations chroniques à l'entraînement aérobie



- ✓ Une augmentation du volume systolique;
- ✓ Une réduction de la fréquence cardiaque au repos;
- ✓ Une meilleure efficacité ventilatoire;

(*Wilmore & Costill, 2004*).

2.Paramètres physiologiques et interprétation des résultats

➤ Fréquence cardiaque maximale (FCmax) :

Il s'agit du nombre maximal de battements cardiaques par minute qu'un individu peut atteindre lors d'un effort intense.

Elle est généralement estimée à l'aide de la formule $220 - \text{âge}$ (Fcmax théorique), bien que des méthodes plus précises existent via des tests d'effort.

La FCmax est utilisée pour **déterminer les zones d'entraînement optimales** et ajuster les **charges d'intensité selon les objectifs** (Édwards et al., 2020).



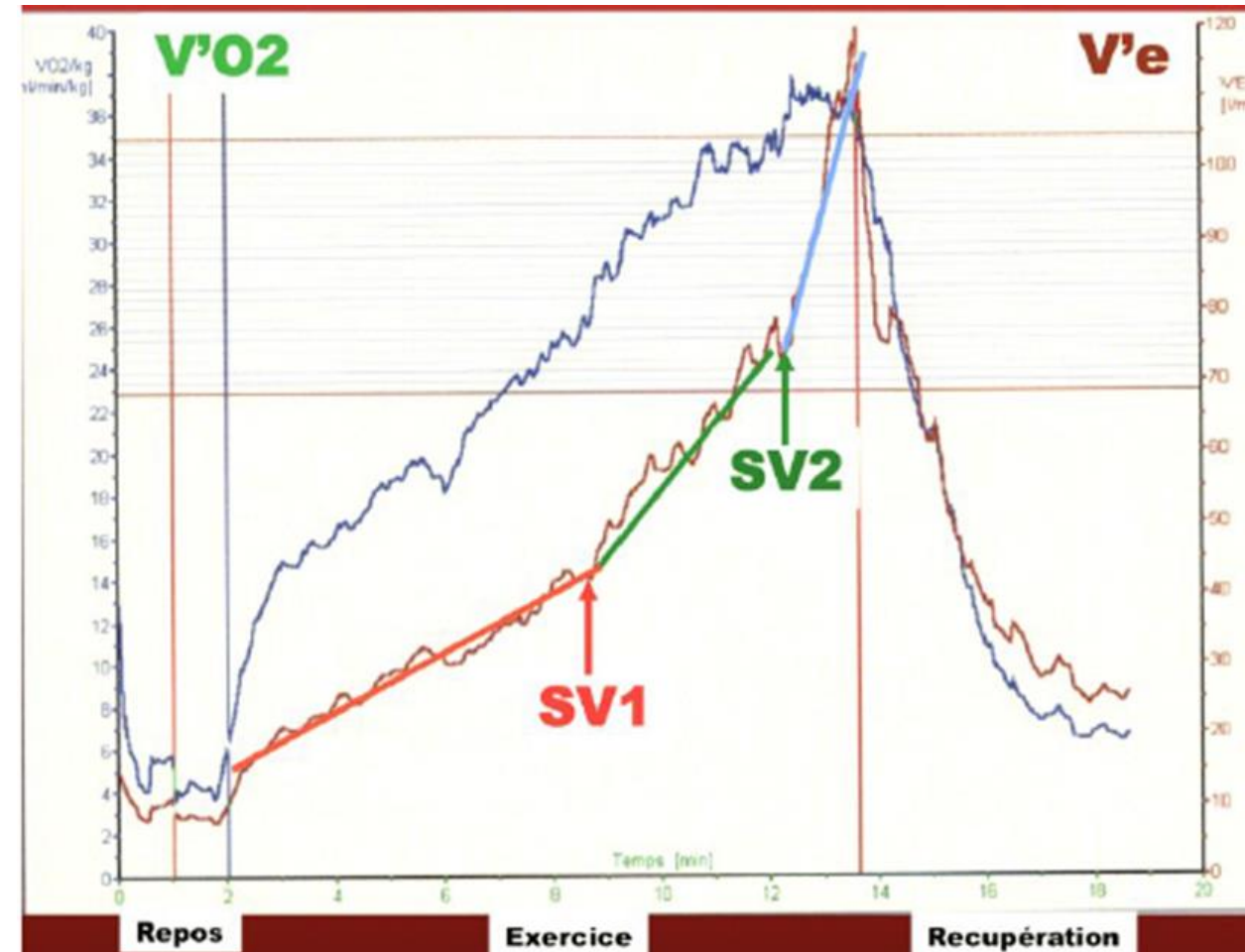
2. Paramètres physiologiques et interprétation des résultats

➤ Seuils ventilatoires (VT1, VT2) :

Les seuils ventilatoires représentent des points de transition dans l'intensité de l'exercice.

Le seuil ventilatoire 1 (VT1) correspond au moment où la ventilation (VE) commence à augmenter de manière disproportionnée par rapport à l'oxygène consommé (VO2), marquant le passage d'un métabolisme principalement aérobie à une contribution accrue du métabolisme anaérobie.

Le seuil ventilatoire 2 (VT2), ou seuil anaérobie, indique l'intensité à partir de laquelle l'accumulation de lactate devient significative, provoquant une augmentation rapide de la ventilation. Ces seuils sont essentiels pour personnaliser l'entraînement et éviter la fatigue prématurée (Perrey & Radel, 2016).



2.Paramètres physiologiques et interprétation des résultats

➤ Quotient respiratoire (QR) :

Le Quotient respiratoire est le rapport entre la production de (VCO_2) et la (VO_2).

Il permet d'identifier le substrat énergétique prédominant utilisé pendant l'exercice. Une valeur proche de 0,7 indique une utilisation préférentielle des lipides, tandis qu'une valeur proche de 1,0 suggère une utilisation accrue des glucides.

Un QR supérieur à 1,1 est souvent un indicateur de l'atteinte de l'effort maximal

QR	Substrat utilisé
≈ 0,7	Lipides (graisses)
≈ 0,85	Mixte (lipides + glucides)
≈ 1,0	Glucides (sucres)
> 1,1	Accumulation lactate, hyperventilation

3. Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

❖ Aspect physiopathologique et diagnostic

L'analyse des échanges gazeux au cours de l'épreuve d'effort fournit des informations précieuses sur l'état du système cardiovasculaire et respiratoire.

Le pic de VO_2 est un paramètre clé, qui reflète la capacité maximale de l'organisme à utiliser l'oxygène (*Arena et al., 2007*).



➤ Diminution du pic de VO_2

Une valeur de $\text{VO}_{2\text{max}}$ **inférieure à 25 ml/kg/min** est généralement considérée comme **faible** et peut indiquer une **limitation cardiorespiratoire significative**.

Cela est particulièrement **préoccupant** chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque, où une $\text{VO}_{2\text{max}}$ basse est associée à **un mauvais pronostic**

3. Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

✓ Classification de Weber et VO_2max

La classification de **Weber** est souvent utilisée pour évaluer la gravité de l'insuffisance cardiaque en fonction de la VO_2max :

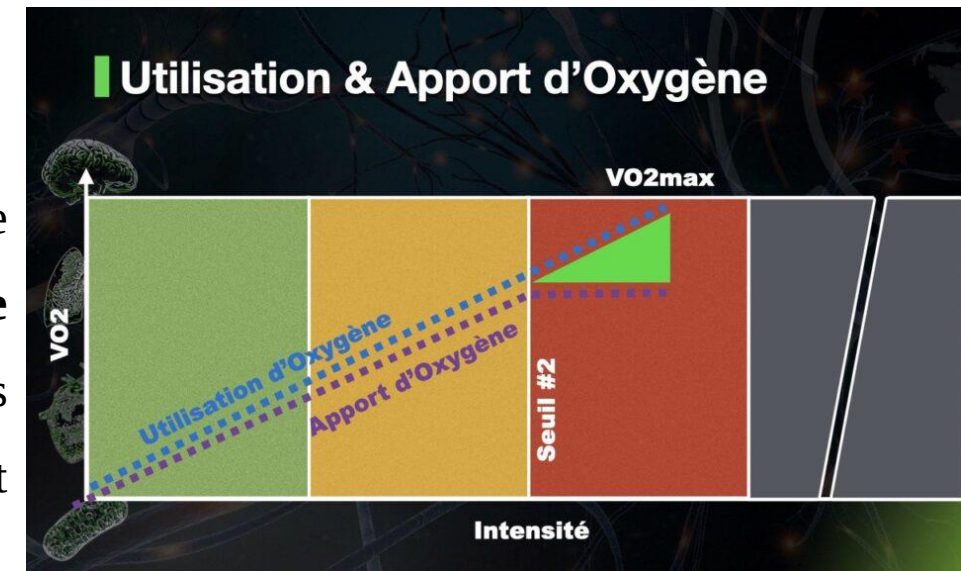
- ➡ **Classe A** : $\text{VO}_2\text{max} > 20 \text{ ml/kg/min}$
- ➡ **Classe B** : VO_2max entre 16 et 20 ml/kg/min
- ➡ **Classe C** : VO_2max entre 10 et 16 ml/kg/min
- ➡ **Classe D** : $\text{VO}_2\text{max} < 10 \text{ ml/kg/min}$

Une VO_2max **inférieure à 12 ml/kg/min** est souvent utilisée comme critère pour **envisager une transplantation cardiaque**.

➤ Cinétique VO_2/W abaissée

Normalement, la consommation d'oxygène (VO_2) augmente linéairement avec la puissance développée (W) (*Mezzani et al., 2009*).

Une pente abaissée indique une réponse anormale à l'effort, suggérant une **altération** du couplage entre le **débit cardiaque** et la **demande métabolique des muscles**, souvent observée dans les pathologies cardiaques (dysfonction ventriculaire gauche, maladie coronarienne) et certaines maladies pulmonaires (*Guazzi et al., 2005*).



3.Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

✓ Autres paramètres du diagnostic

Paramètres diagnostiques	Critères diagnostiques
Puissance maximale	< 60 watts
Pic de VO_2	< 12 ml/min/kg ou < 50 % de la VO_2 max théorique
Pente VE/VCO_2	> 45
Oscillations ventilatoires	Si présentes
Incompétence chronotrope	< 20 battements/min (delta repos-pic effort)
Puissance circulatoire	< 2 000
Temps de $\frac{1}{2}$ récupération VO_2	> 180 secondes
SV1	< 40 % de la VO_2 maximale théorique = Déconditionnement périphérique
Cinétique du pouls d' O_2 (VO_2/Fc)	Plafonnement ou chute du pouls d' O_2 = Diminution du VES au cours de l'effort



3. Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

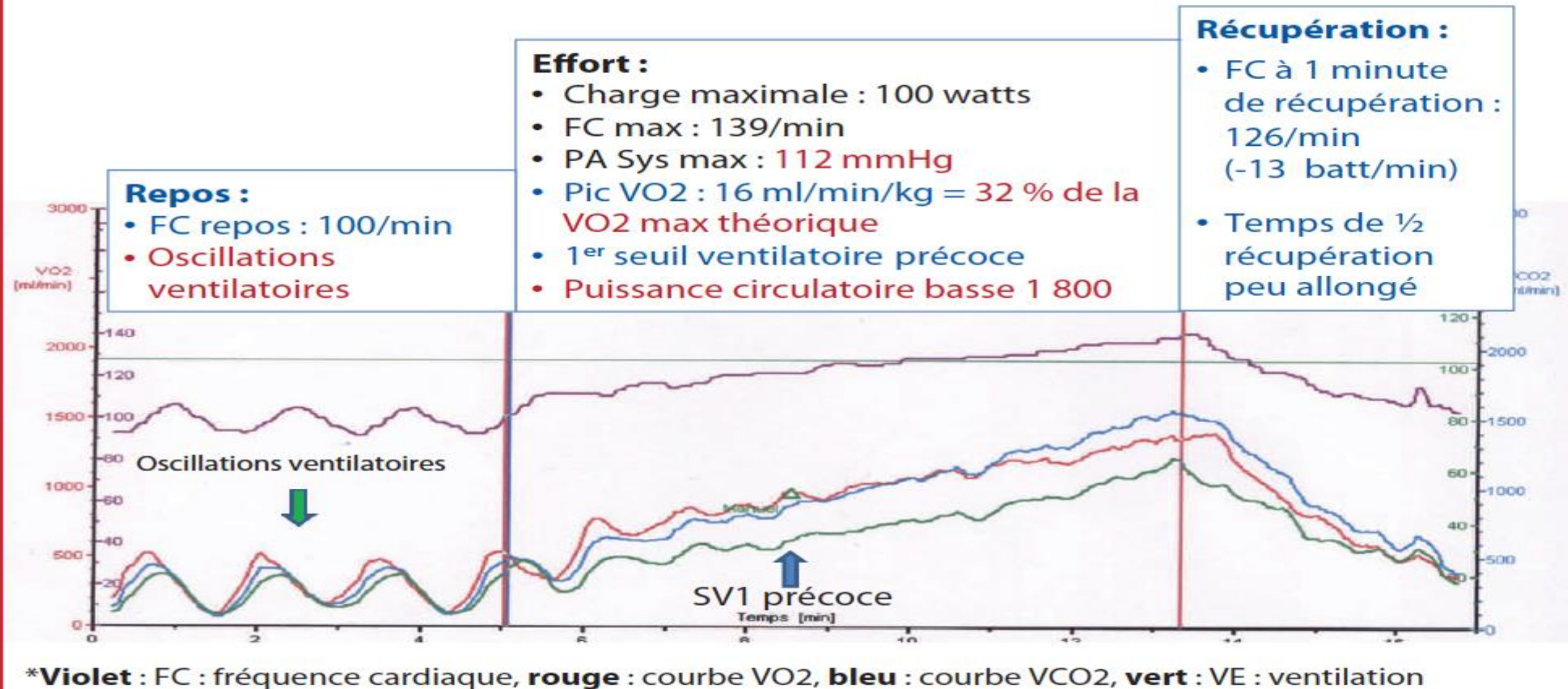


Figure. Patient de 26 ans. CMD coronaires saines (myocardite)

3. Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

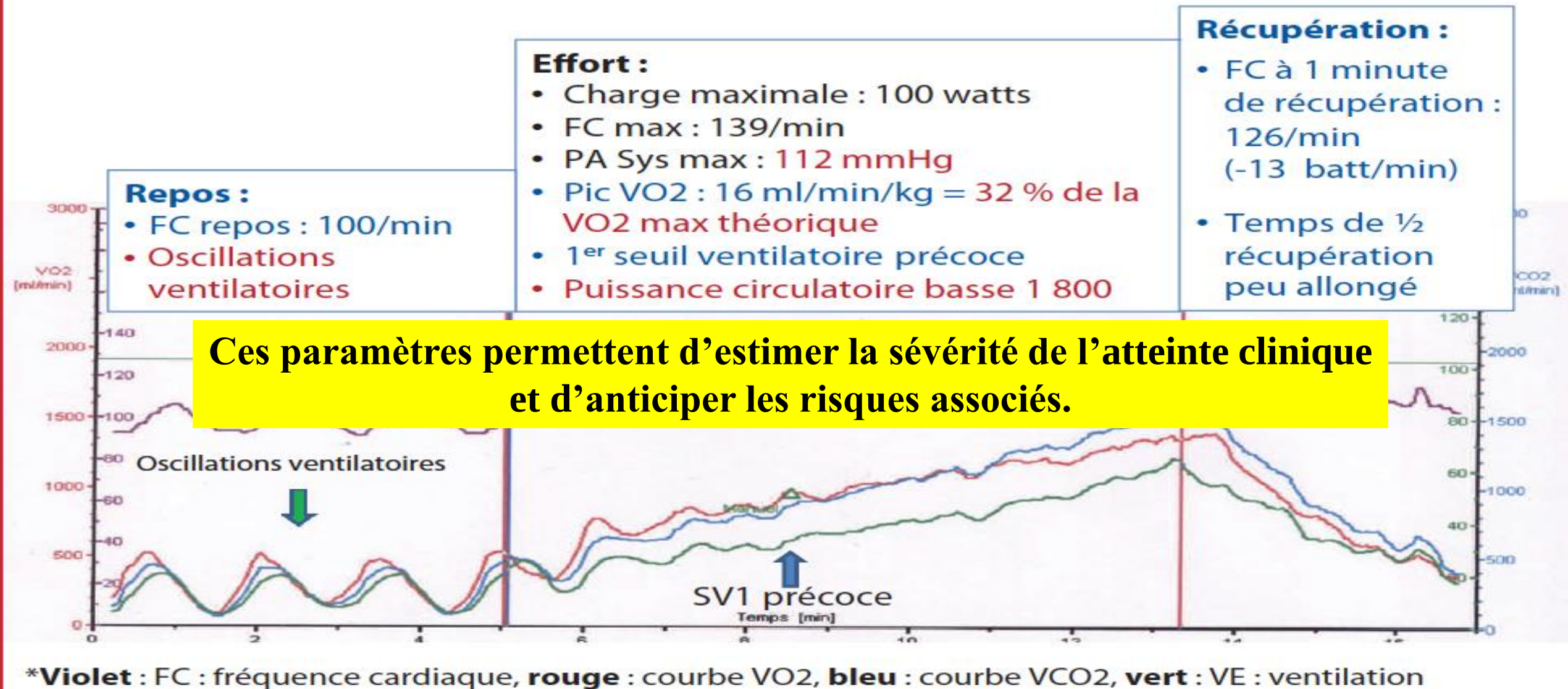


Figure. Patient de 26 ans. CMD coronaires saines (myocardite)

3. Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

❖ Aspect thérapeutique : Suivi de l'efficacité d'un traitement

L'amélioration du pic de VO_2 sous l'effet d'un traitement constitue un indicateur objectif de réponse thérapeutique (*Guazzi et Arena, 2009*).

- Une augmentation **>10% du pic de VO_2** sous traitement est un signe favorable, traduisant une amélioration de la capacité fonctionnelle (*Keteyian et al., 2008*).
- Cette réponse peut être observée après l'optimisation du traitement médicamenteux chez les patients insuffisants cardiaques ou suite à une réadaptation à l'effort (*Piepoli et al., 2011*).
- En réhabilitation cardiaque, une amélioration du VO_2 max est un objectif clé pour **optimiser la qualité de vie et réduire la morbi-mortalité** (*Hollenberg et Tager, 2000*).

3.Implications physiopathologiques, diagnostiques, thérapeutiques et pronostiques

❖ Aspect pronostique : Prédiction de la survie et indications thérapeutiques avancées

➤ Seuil critique d'indication de transplantation cardiaque

- ✓ Un **VO₂ max <14 ml/min/kg** est un critère reconnu pour envisager une transplantation cardiaque chez les patients avec une insuffisance cardiaque sévère (*Mehra et al., 2016*).
- ✓ Chez les patients sous traitements innovants (inhibiteurs de SGLT2, stimulateurs de la guanylate cyclase), ce seuil peut être abaissé à 11-12 ml/min/kg, ce qui repousse l'indication de la transplantation en cas de stabilisation sous traitement (*Witteles et al., 2021*).

➤ Persistance de la diminution du VO₂ ou "rebond" après amélioration initiale

- ✓ Un patient dont le VO₂ max continue de baisser malgré une prise en charge optimale présente un **mauvais pronostic** (*Arena et al., 2007*).
- ✓ De même, un rebond paradoxal (amélioration suivie d'une détérioration rapide) peut indiquer une évolution défavorable vers **une décompensation cardiaque terminale** (*Cahalin et al., 1996*).
- ✓ Ces éléments justifient un suivi rapproché et peuvent **accélérer l'orientation vers une transplantation** ou **une assistance circulatoire mécanique** (*Metra et Teerlink, 2017*).

4. Protocoles d'évaluation cardiorespiratoire

✚ Tests progressifs maximaux

C'est un test d'effort où le sujet est poussé jusqu'à **l'épuisement ou jusqu'à atteindre ses limites physiologiques maximales** (notamment sa $VO_2\text{max}$).

L'objectif est de **mesurer** la capacité cardio-respiratoire et métabolique maximale du sujet.

Exemple : Test de Bruce sur tapis roulant ou **test de $VO_2\text{max}$** en laboratoire.

🔍 **But :** Mesurer les **performances maximales**, détecter des **pathologies** ou **prescrire un entraînement** précis.

✚ Tests sous-maximaux

C'est un test où **l'effort est limité à une intensité inférieure au maximum** (généralement entre 70 à 85 % de la fréquence cardiaque maximale théorique).

Il permet **d'estimer** la capacité aérobie sans aller jusqu'à l'épuisement complet, ce qui est plus **sécurisant pour certaines populations** (patients, débutants).

Exemple : Test de l'**astrand (ergocycle)**, test de **marche de 6 minutes**.

🔍 **But :** Estimer la $VO_2\text{max}$ ou évaluer la **tolérance à l'effort en limitant les risques**.

4. Protocoles d'évaluation cardiorespiratoire

Tests de terrain

Ce sont des tests réalisés dans des **conditions proches de la pratique réelle** (extérieur, gymnase...), sans équipement de laboratoire sophistiqué.

Ils peuvent être **maximaux ou sous-maximaux**, et sont très utiles pour évaluer la performance dans des situations pratiques.

Exemple : Test de **Cooper** (12 min de course), test de **Luc Léger** (navette 20 m), test du demi-Cooper.

🔍 **But :** Évaluer les capacités physiques dans un contexte fonctionnel et accessible.

4. Protocoles d'évaluation cardiorespiratoire

Tests de BRUCE sur vélo ergométrique

❖ Objectif

- Déterminer la consommation maximale d'oxygène (VO_2max).
- Évaluer la tolérance à l'effort cardiorespiratoire.
- Observer la réponse physiologique à l'effort (FC, tension artérielle, ECG si mesuré, SV).
- Utilisé pour l'évaluation fonctionnelle chez les sportifs comme chez les patients.

❖ Matériel mis en place

- Vélo ergométrique
- Analyseur spirométrique (analyse des gaz)
- Electrocardiogramme (ECG)
- Cardiofréquencemètre
- Tensiomètre

❖ Principe

Le test est progressif et par paliers :

- Chaque palier dure **3 minutes**.
- À chaque palier, la **charge de travail (en watts)** est augmentée de façon standardisée.
- La cadence de pédalage est généralement maintenue autour de **60 à 70 tours par minute (RPM)**.



4. Protocoles d'évaluation cardiorespiratoire

❖ L'incrémentation de l'intensité

Protocole sur vélo ergométrique de BRUCE (Capacité aéroobie)

Palier	FC de dernière min	Incrément W
2	60	125
3	80	125
4	80	150



1er Palier (3 min d'effort)	150 KPM (0,5kp=25w) FC du la derrnière minute de la 1er charge detirmine la charge de l'effort suivant			
	FC < 80 bpm	FC 80-89 bpm	FC 90-100b pm	FC > 100 BPM
2em Palier	750 KPM (2.5 kp ou 125 w)	600 KPM (2.0 kp ou 100 w)	450 KPM (1.5 kp ou 75 w)	300 KPM (1.0 kp ou 50 w)
3em Palier	900 KPM (3.0 kp ou 150 w)	750 KPM (2.5 kp ou 125 w)	600 KPM (2.0 kp ou 100 w)	450 KPM (1.5 kp ou 75 w)
4em Palier	1050 KPM (3.5 kp ou 175 w)	900 KPM (3.0 kp ou 150 w)	750 KPM (2.5 kp ou 125 w)	600 KPM (2.0 kp ou 100 w)

1 METs=3,5 ml/min/kg
sur vélo: METs=Watts*0,079

sur tapi: METs=(vitesse*[0,1+(pent*1,8)]+3,5)/3,5



Remarque :

Les charges initiales et incréments peuvent être adaptées selon le niveau et le profil du sujet (âge, sexe, pathologies, sportif ou non)

4. Protocoles d'évaluation cardiorespiratoire

❖ Critères d'arrêt

- Fréquence cardiaque maximale atteinte ($FC_{\text{max théorique}} = 220 - \text{âge}$).
- Signes cliniques inquiétants (douleur thoracique, essoufflement sévère, malaise, vertiges...).
- Refus du patient / épuisement musculaire.
- Anomalies électrocardiographiques ou tensionnelles si test surveillé.

❖ Données recueillies

- Temps total d'effort.
- Charge maximale atteinte (watts).
- Fréquence cardiaque maximale.
- Pression artérielle.
- Calcul indirect ou direct de la $VO_{2\text{max}}$ (si analyse des gaz respiratoires).
- Temps de récupération (important pour l'analyse de la récupération post-effort).
- Seuil ventilatoires: SV1 et SV2



Conclusion

L'évaluation de la fonction cardiorespiratoire par les épreuves d'effort constitue un outil fondamental pour la compréhension des capacités physiologiques, tant chez l'athlète que chez les patients atteints de pathologies cardiovasculaires et respiratoires.

Les tests maximaux, sous-maximaux et de terrain permettent d'adapter l'entraînement, d'optimiser la prise en charge médicale et de prédire le pronostic en fonction des réponses physiologiques observées.