

Mon cœur est-il fait pour le trail ?

Anthony COSTA
Interne en cardiologie







Performance



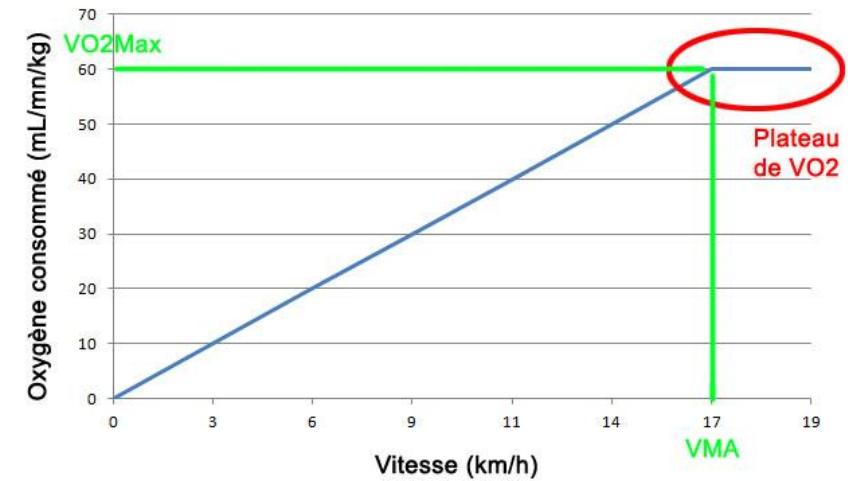
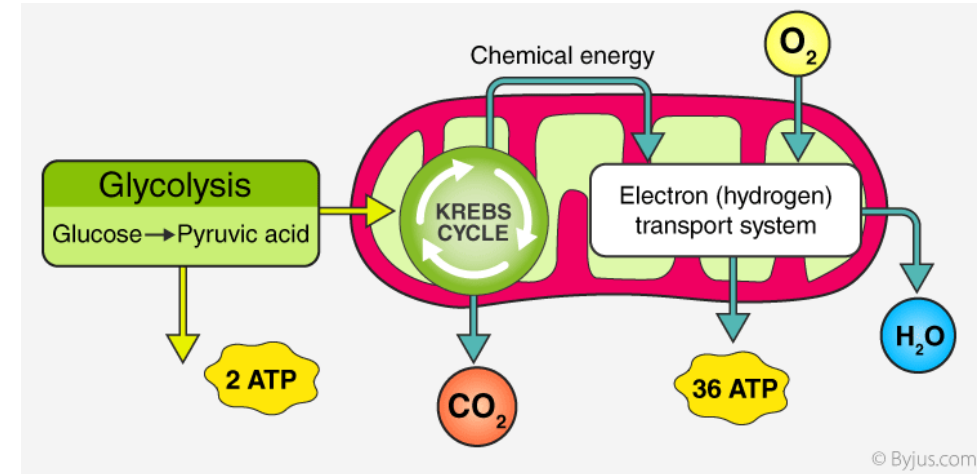
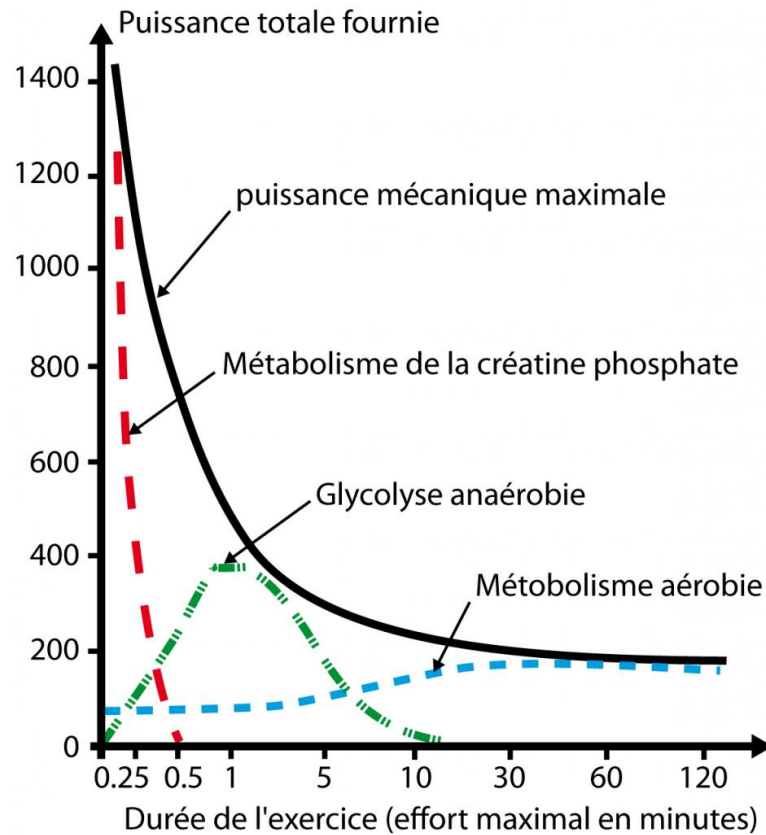
Risques à court
et long terme

- Cœur sain
- Cœur pathologique



Performance

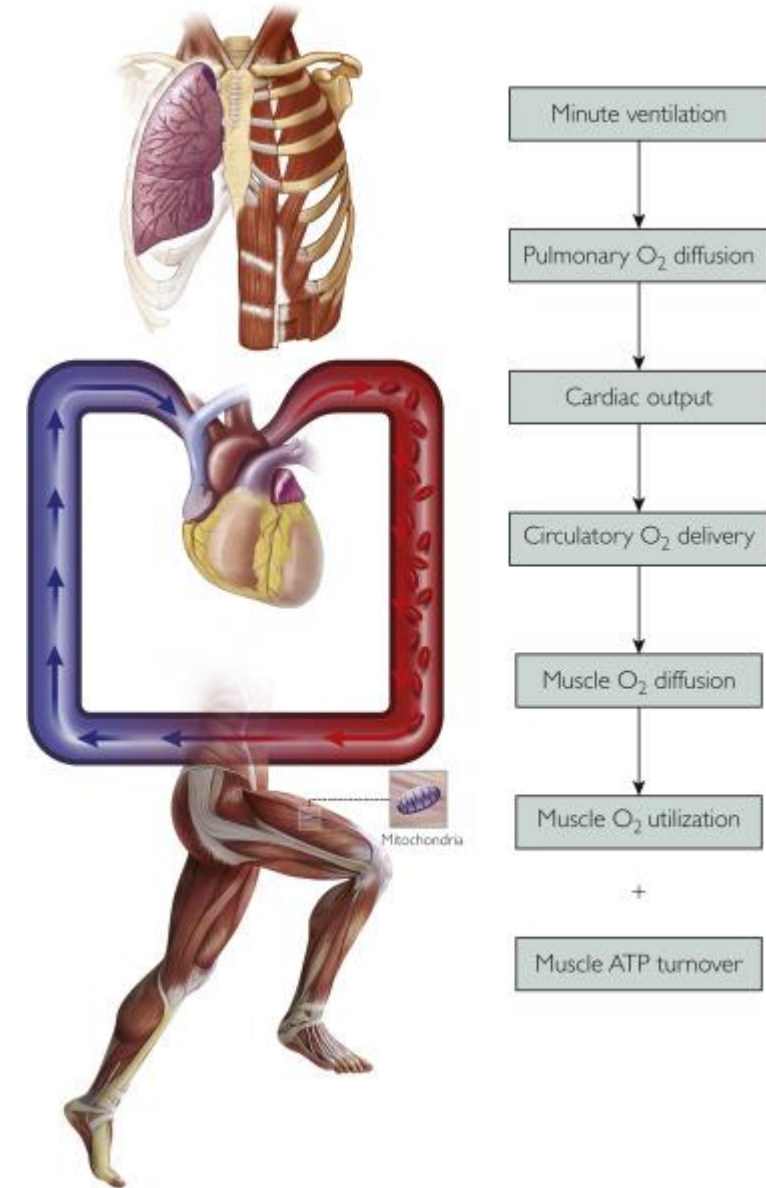
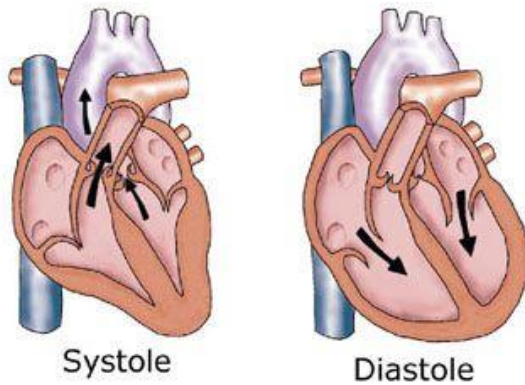
Le trail : un effort aérobie



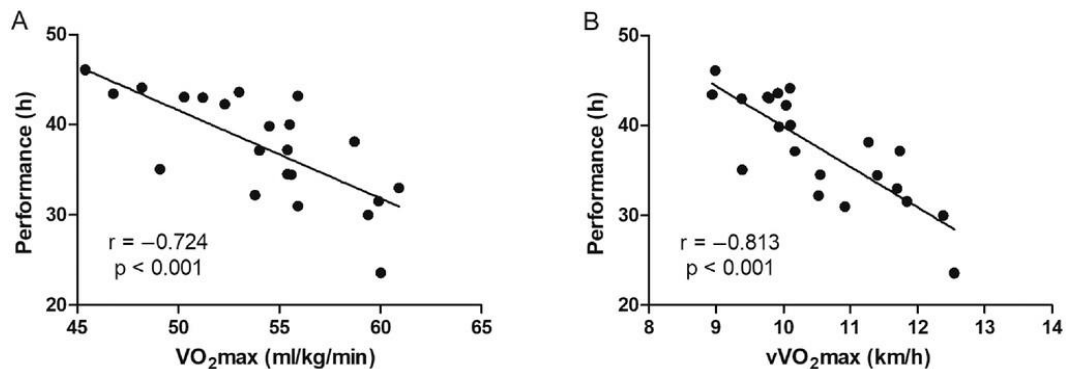
Consommation d'O₂ (VO₂) = Débit cardiaque (Q_c) x Différence artério-veineuse en O₂ (CaO₂ – CvO₂)

La place centrale du cœur

Débit cardiaque = fréquence cardiaque x volume d'éjection systolique)

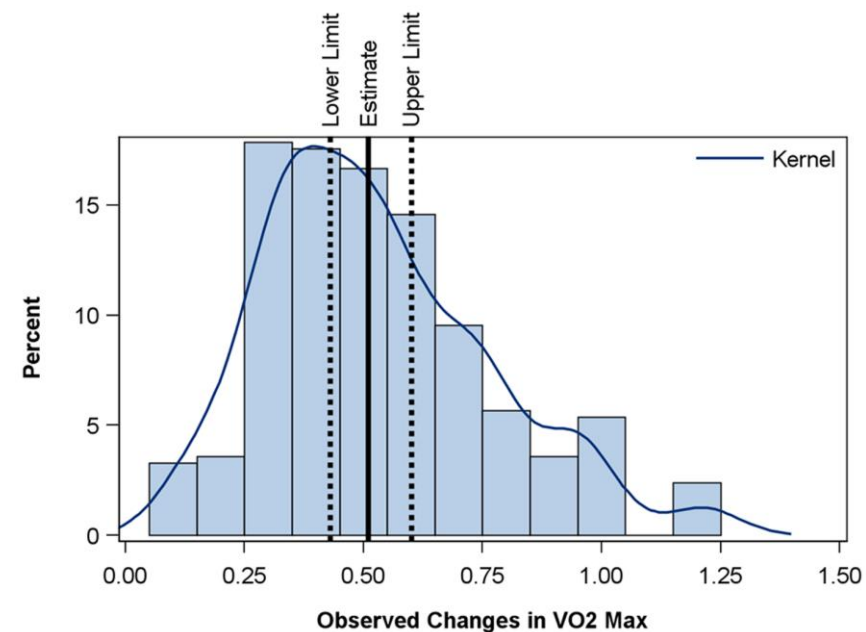
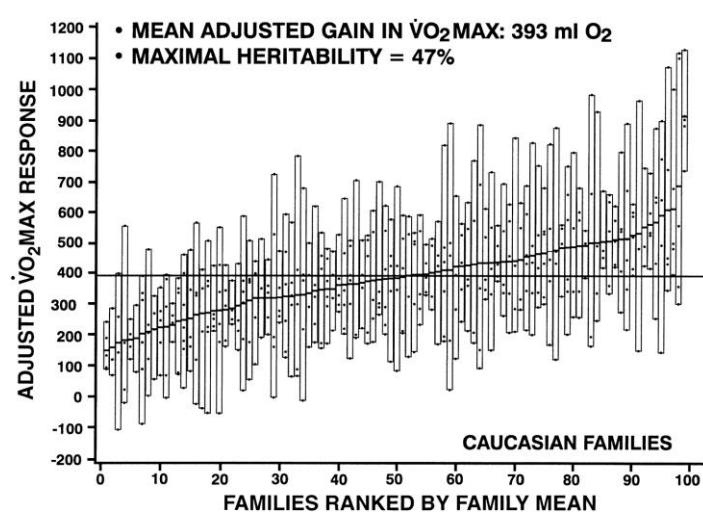
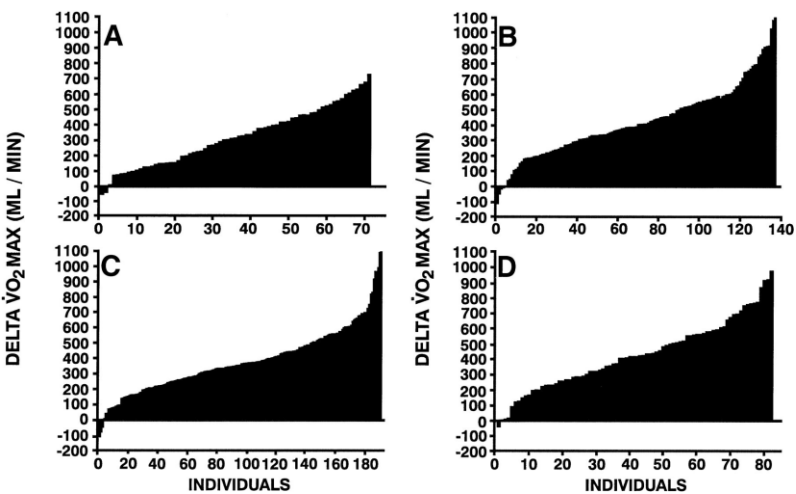


VO2 max : inné vs acquis



Sabater-Pastor F, Tomazin K, Millet GP, Verney J, Féasson L, Millet GY. VO2max and Velocity at VO2max Play a Role in Ultradistance Trail-Running Performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2023 Feb 8;18(3):300-305. doi: 10.1123/ijsspp.2022-0275. PMID: 36754060.

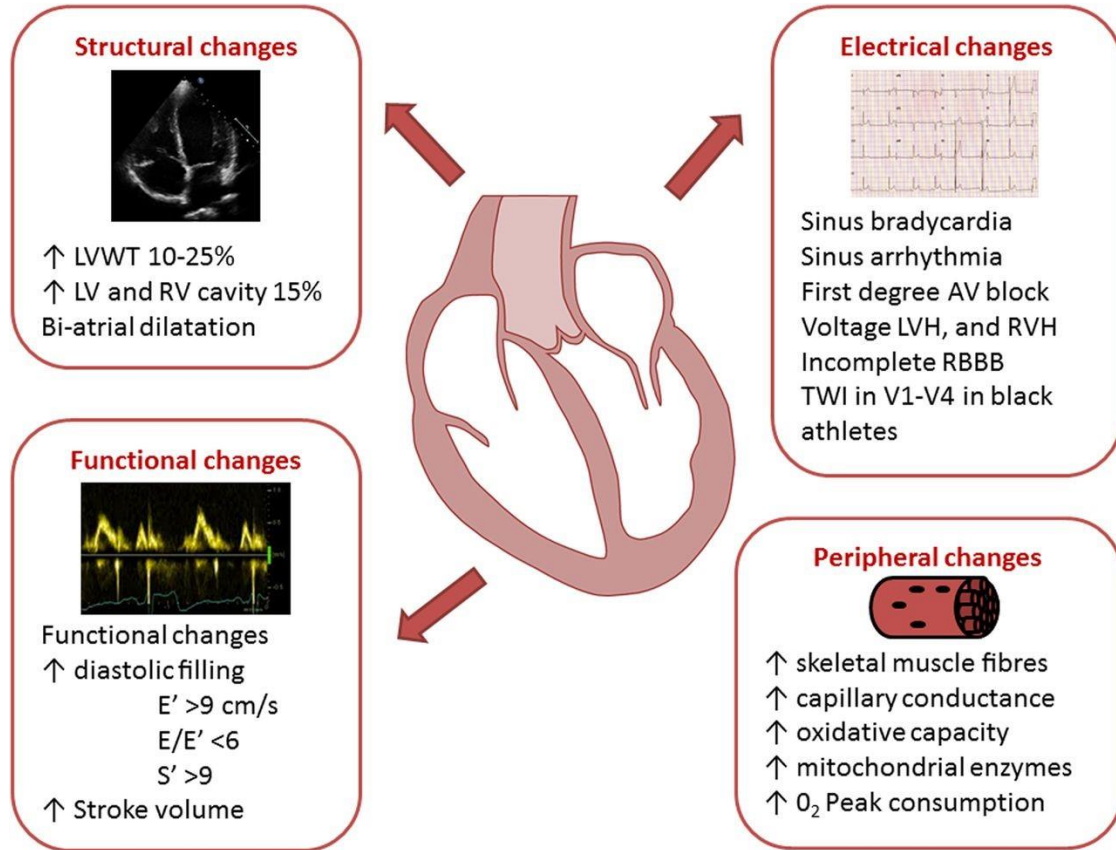
VO2Max	Athlete	Sport
97.5	Oskar Svendsen	Cycling
96.0	Espen Harald Bjerke	XC Skiing
96.0	Bjørn Dæhlie	XC Skiing
93.0	Kurt Asle Arvesen	Cycling
92.5	Greg LeMond	Cycling
92.0	Kilian Jornet	Running
92.0	Matt Carpenter	Running
92.0	Tore Ruud Hofstad	XC Skiing
91.0	Gunde Svan	XC Skiing
91.0	Harri Kirvesniemi	XC Skiing
88.0	Miguel Indurain	Cycling
88.0	Anders Aukland	XC Skiing
87.4	Marius Bakken	Running
87.0	Jon Anders Gaustad	XC Skiing



VO2max Trainability and High Intensity Interval Training in Humans: A Meta-Analysis
Andrew P. Bacon, PLOS One, 2013

Familial aggregation of $\dot{\text{V}}\text{O}_2\text{ max}$ response to exercise training: results from the HERITAGE Family Study, Claude Bouchard, J Applied physiology 1999

Cœur d'athlète



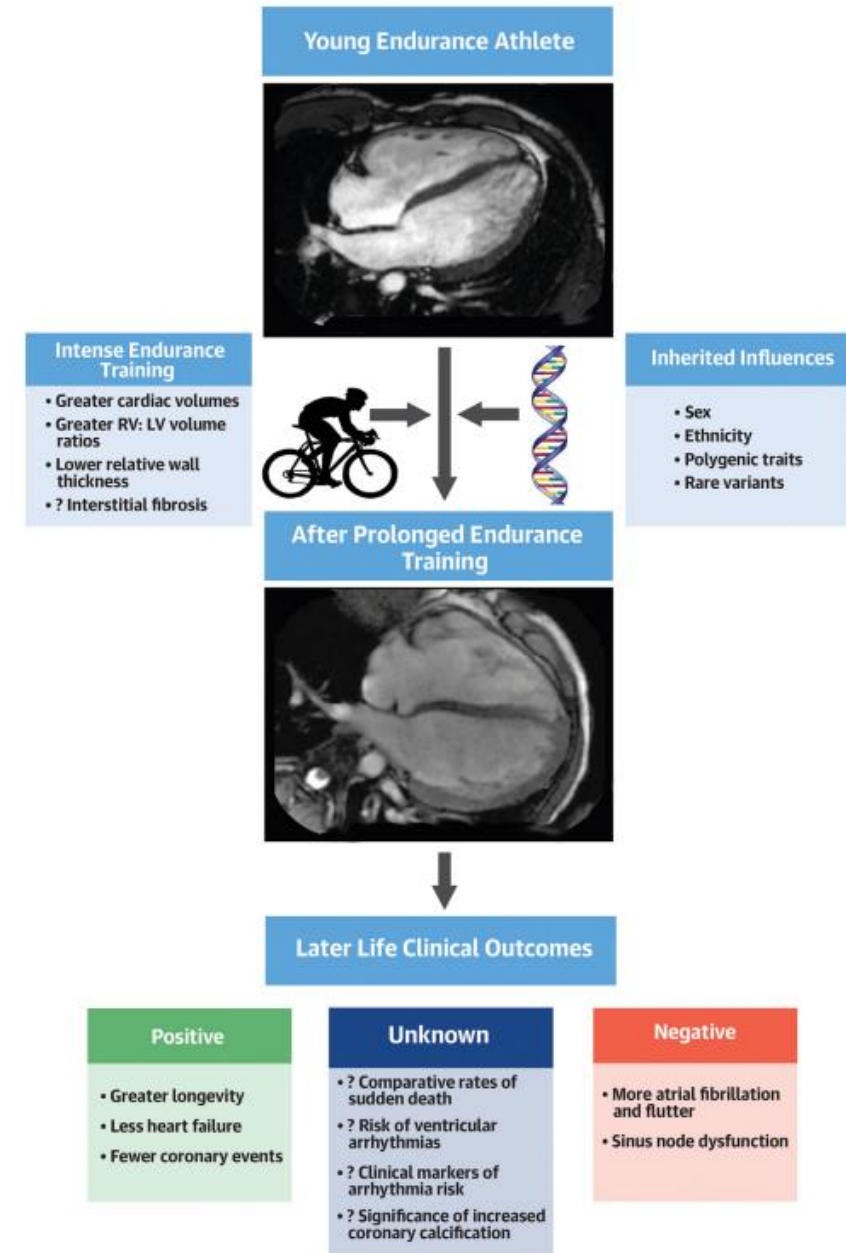
Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly, Sanjay Sharma, Ahmed Merghani, Lluís Mont, European Heart Journal, Volume 36, Issue 23, 14 June 2015

Remodelage cardiaque : adaptation aux conditions de charge/volume lors de l'exercice

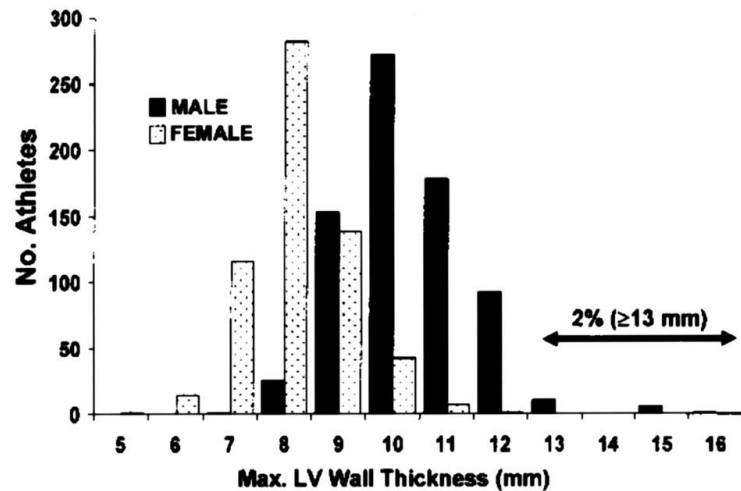
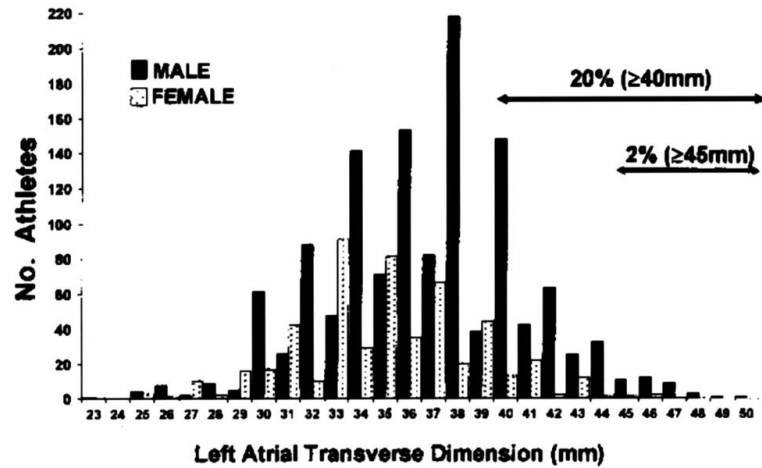
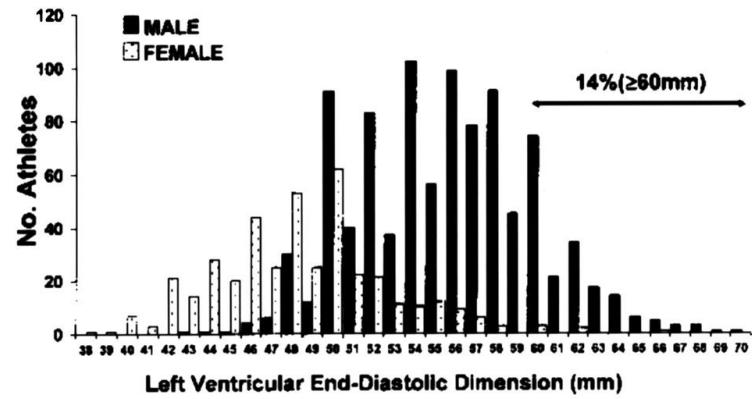
Endurance : augmentation volumes

Force : augmentation taille parois

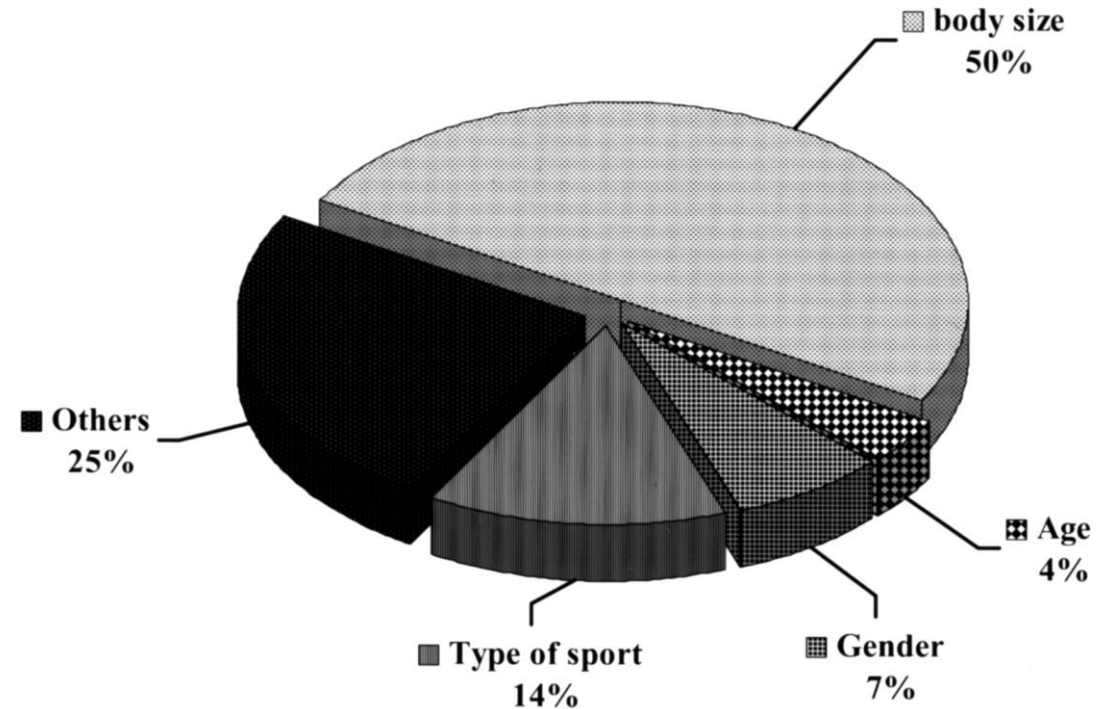
CENTRAL ILLUSTRATION Potential Influences on Exercise-Induced Cardiac Remodeling and the Clinical Consequences



La Gerche A, et al. J Am Coll Cardiol. 2022;80(14):1346-1362.



- Signes de remodelage cardiaque chez 50% des athlètes
- Rare dilatation VG > 60 mm (15%)
- Augmentation modérée épaisseur myocarde
- 25% de génétique (SRAA...)
- Réversible à la baisse de charge d'entraînement
- Pas de corrélation évidente remodelage/performance



Le cœur : 1 paramètre de l'équation

$$Q_c = FC \times VES$$



$$(Hb \times 1,34 \times SaO_2) + (0,003 \times PaO_2)$$



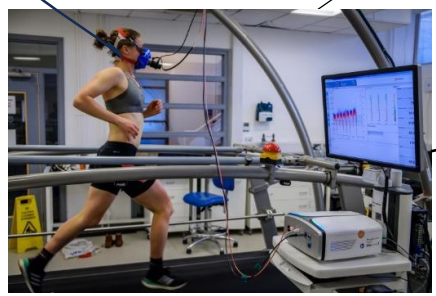
Extraction tissulaire O₂ (mitochondrie)



$$VO_{2max} : Q_c \times (C_aO_2 - C_vO_2)$$

F_{VO₂ max}

Economie de course



Alimentation/hydratation

Météo



Troubles digestifs

Altitude

Matériel

Terrain

Motivation

Blessures

Dossard	Coureur		Cat.	Club	UTMB Index
3	 Jim WALMSLEY	 US	20-34M	Hoka X Wahoo	934
4	 Petter ENGD AHL	 SE	20-34M	Adidas TERREX	930
6	 Thomas EVANS	 GB	20-34M	Adidas Terrex	916
7	 Thibaut GARRIVIER	 FR	20-34M	HOKA	913
9	 Mathieu BLANCHARD	 FR	35-39M	Salomon	912
8	 Hannes NAMBERGER	 DE	20-34M	Dynafit	911
30	 Miguel HERAS	 ES	45-49M	SALOMON	906
12	 Yanqiao YUN	 CN	35-39M		905
10	 Daniel JONES	 NZ	20-34M	ASICS TRAIL TEAM	905
11	 Jiaju ZHAO	 CN	20-34M	HOKA	904
87	 Anders KJAEREVIK	 NO	35-39M	Salomon / Bergen Løpeklubb	898
14	 Jean - Philippe TSCHUMI	 CH	40-44M	Hoka	896
15	 Jose Angel FERNANDEZ JIMENEZ	 ES	20-34M	KAILAS GEAT TEAM	895
16	 Pau CAPELL	 ES	20-34M	THE NORTH FACE	894
17	 Ionel Cristian MANOLE	 RO	35-39M		888
18	 Germain GRANGIER	 FR	20-34M	The North Face	888
19	 Jonas RUSSI	 CH	35-39M	HOKA/JULBO/LEKI	884
22	 Ben DHIMAN	 US	20-34M	Hoka	883
21	 Adrian MACDONALD	 US	35-39M	On Trail	882
23	 Ji DUO	 CN	20-34M	HOKA	882
27	 Jeff MOGAVERO	 US	20-34M	On Running	881
24	 David HEDGES	 US	20-34M	Norda & Satisfy	880
25	 Hugo DECK	 FR	20-34M	adidas TERREX	879
26	 Zach MILLER	 US	35-39M	The North Face	878



DNF

DNF

DNF

DNF

DNF

DNF

DNF

DNF

DNF



DNF

DNF

DNF

DNF

DNF



Conclusion (1)

- Cœur : déterminant essentiel dans l'apport en O₂ vers les muscles
- 1 maillon dans la chaîne de l'O₂ parmi d'autres
- Performance pure (VO₂ max): 50% d'héritabilité (≈ 100 gènes), progression grâce à l'entraînement
 - 1 des paramètres dans la réussite d'une course

→ On peut être performant sans avoir la VO₂max de Kilian Jornet ! Et inversement...

Une pratique à risque pour le cœur ?

Corse Matin

Balagne : un coureur de 35 ans décède suite à un malaise sur un trail

Un homme de 35 ans est mort cette nuit à l'hôpital de Bastia suite à un grave malaise cardiaque intervenu hier dimanche alors qu'il...

13 mars 2023



France Bleu

Drôme : un coureur meurt d'un arrêt cardiaque lors du trail du Facteur à Hauterives

Un homme de 59 ans est décédé d'un arrêt cardiaque alors qu'il participait au Trail du facteur ce samedi 17 décembre 2022 à Hauterives dans...

17 déc. 2022



L'Est Républicain

Verdun. Un homme a fait un arrêt cardiaque lors du Trail des Tranchées

Les secours sont intervenus ce dimanche 26 mars sur le Trail des tranchées pour venir en aide à un homme qui a fait un arrêt cardiaque.

28 mars 2023



L'Eveil

Foudroyé par un arrêt cardiaque, un habitant de Dunières décède sur un trail dans la Drôme

Un homme de 59 ans, domicilié à Dunières, est décédé, samedi, alors qu'il participait au Trail du Facteur Cheval dans le département de la...

19 déc. 2022



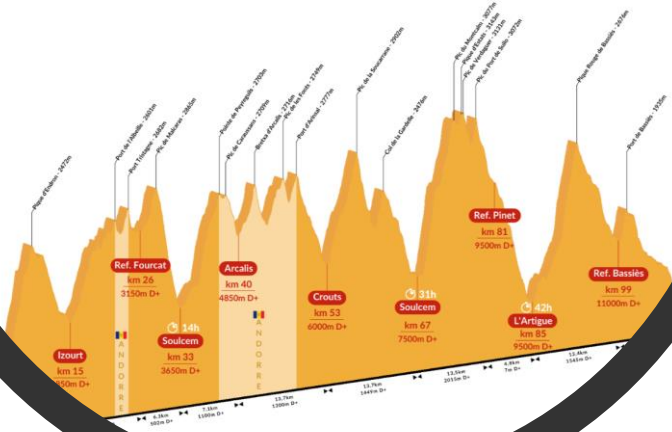
24matins.fr

Morbihan : un coureur meurt à l'arrivée d'un trail

La victime venait de franchir la ligne d'arrivée lorsqu'elle a été victime d'un malaise qui lui a été fatal.

22 mai 2023





Le trail : de multiples stress pour le système cardiovasculaire... non reproduits en laboratoire

Les accidents cardiaques liés au sport : quelques chiffres

- 800-1000 morts subites non traumatiques liées à l'activité sportive/an (80% de cause cardiovasculaire)
- 1500 infarctus liés au sport/an (sur les 120 000 infarctus/an)
- « paradoxe de l'exercice » : diminution du risque de mort subite à moyen et long terme mais augmentation transitoire du risque (surtout si effort brutal et inhabituel)

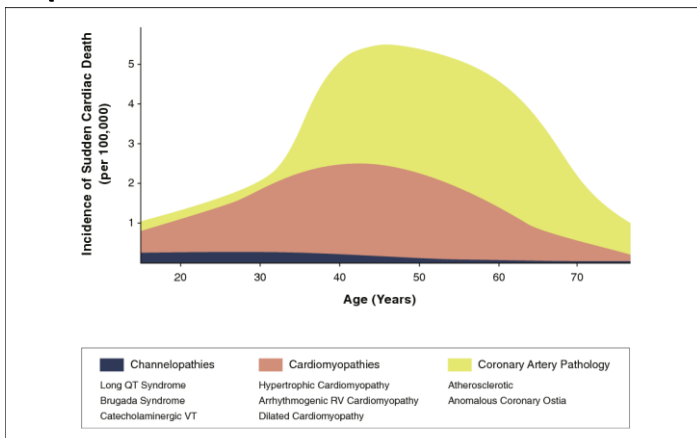


Figure 1. Age-Dependent Changes in Incidence and Etiology of Sudden Cardiac Death
 This figure represents an interpretation of the combined experience from studies that have assessed the causes of sudden cardiac death in athletes (3,5,8,9,11-13). While the majority of deaths may be attributed to inherited cardiomyopathies and channelopathies in those younger

Cardiac imaging and stress testing asymptomatic athletes to identify those at risk of sudden cardiac death.
 A. La Gerche, JACC 2013

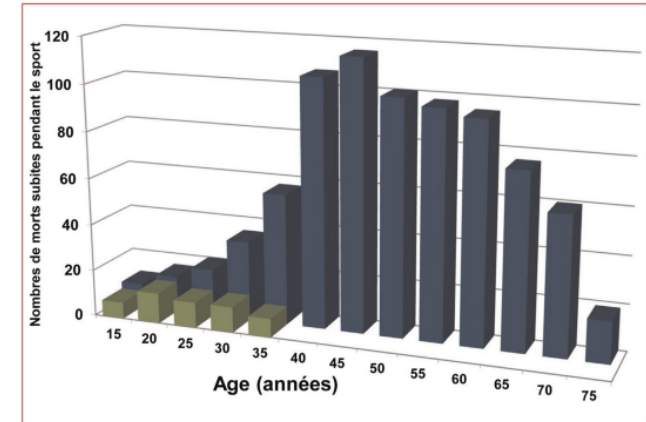


Figure 1. La mort subite du jeune athlète de compétition (vert) ne concerne pas plus de 5 % du total des morts subites du sportif.

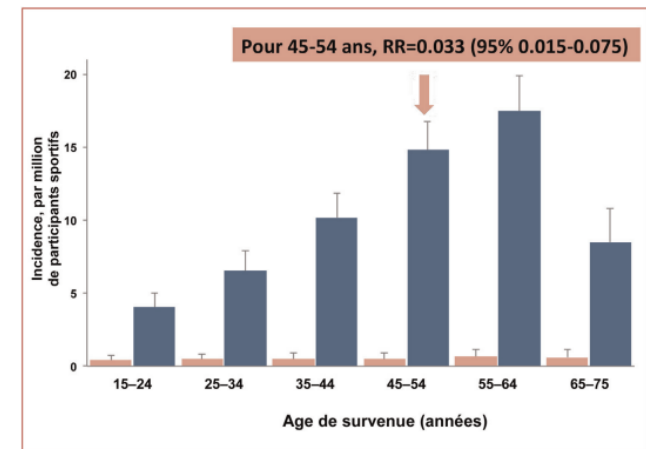
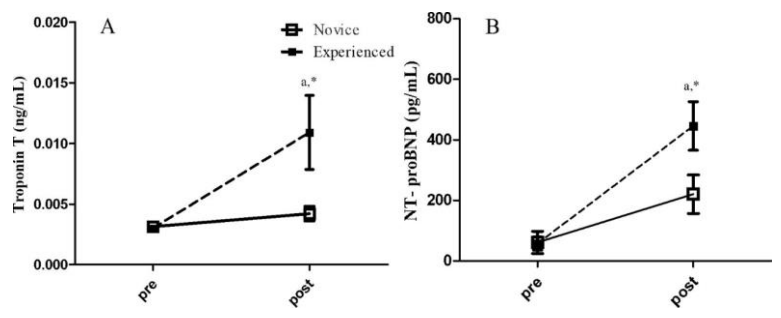
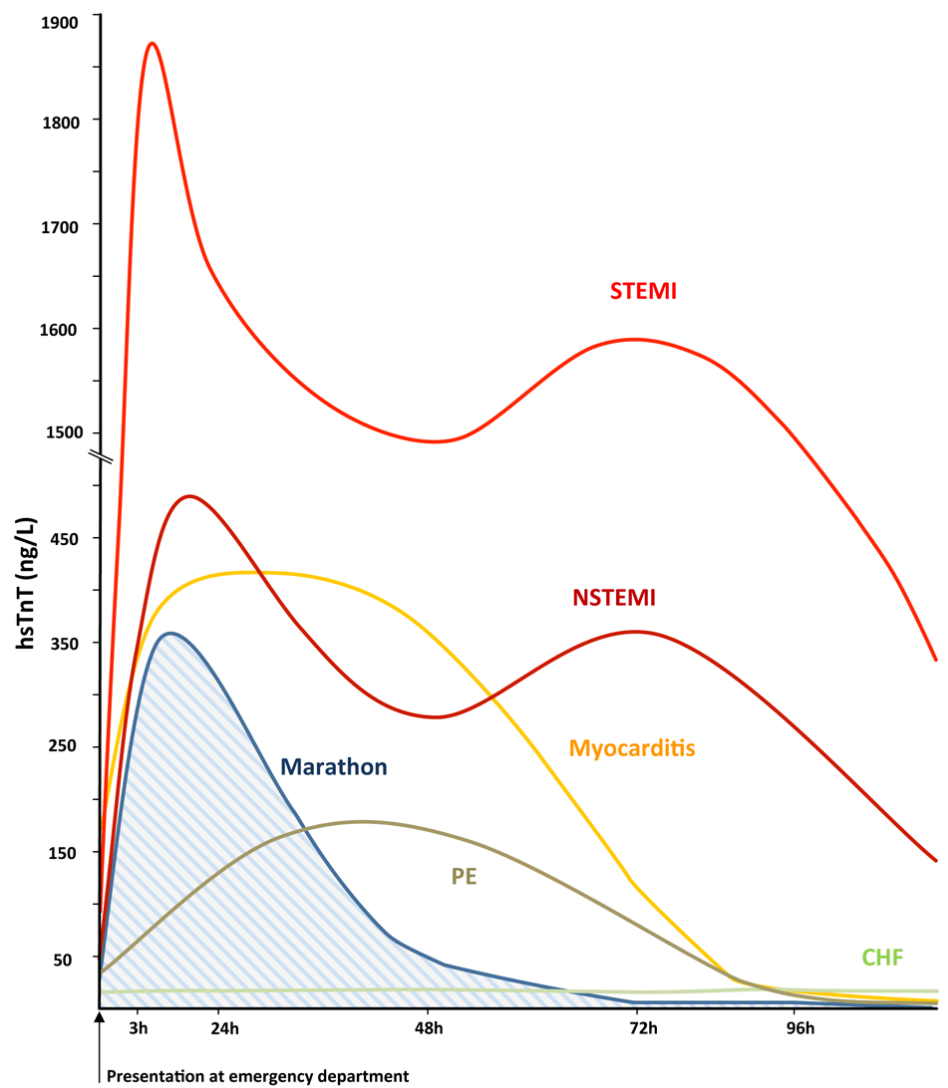
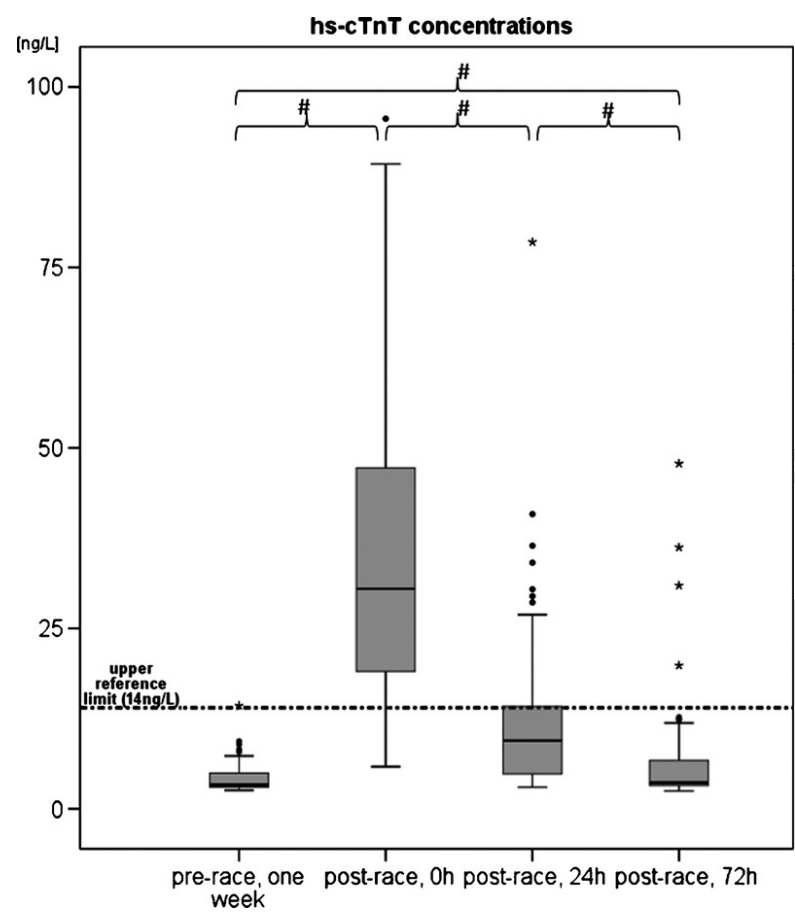
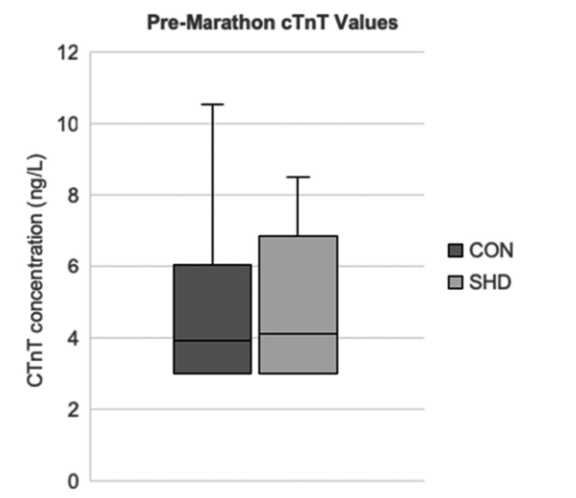


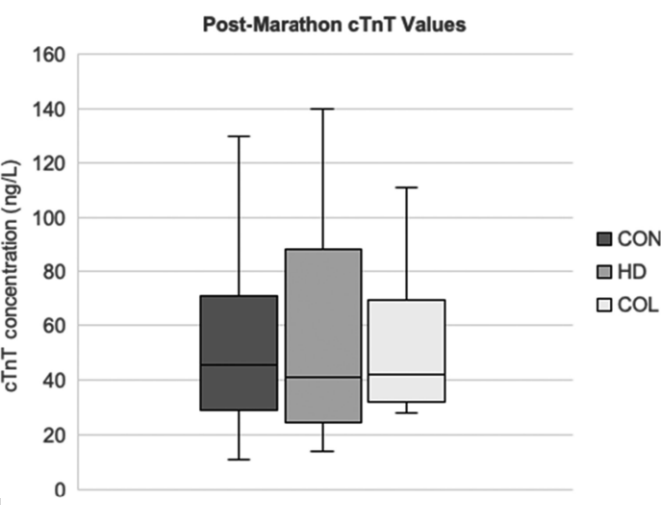
Figure 2. Le risqué de mort subite en fonction de l'âge et du sexe (rose, femme, bleu, homme). Le risque de la femme est jusqu'à 30 fois inférieur à celui de l'homme.



Blood cardiac biomarkers responses are associated with 24 h ultramarathon performance, Hohl et Al., Heliyon, 2019



72-h Kinetics of High-Sensitive Troponin T and Inflammatory Markers after Marathon, Scherr et Al., Medicine & Science in Sports & Exercise 43(10):p 1819-1827, October 2011.



Box plots demonstrating high-sensitivity cTnT values pre-marathon for CON and HD runners (top) and post-marathon cTnT values for CON, HD and COL runners (bottom)

High-sensitivity troponin T in marathon runners, marathon runners with heart disease and collapsed marathon runners Todd Leckie et Al., Wiley 2019

TABLE 2 | Blood biomarker concentrations (mean \pm SD) at different time points and the *p*-value in the Tors de Geants (TDG) runners.

Variable (units)	References values	Time points				P-values			
		Pre-	Mid-	Post-	Recov-	P-value	P-value	P-value	P-value
		Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Overall	TPre-TMid	TMid-Tpost	TPost-Trecov
Remodelling-fibrosis									
ST2 (ng/ml)	<35	28 \pm 15.4	78.9 \pm 40.7	61 \pm 32.5	28.9 \pm 11.4	<0.0001	<0.0001*	0.047**	<0.0001**
Galectine-3 (ng/ml)	<17.9	9 \pm 1.8	11 \pm 2.3	10.1 \pm 2.1	9.1 \pm 1.5	<0.0001	<0.0001*	0.012**	0.0015**
Ischemia-necrosis									
Creatine kinase (UI/L)	30–175	135 \pm 72.1	9,016 \pm 9,834	3,276 \pm 3,353	675 \pm 530	<0.0001	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**
Creatine kinase MB (μ g/L)	0–6	3.1 \pm 2.2	84.7 \pm 63.6	45.6 \pm 33.8	13.1 \pm 7.2	<0.0001	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**
CKMB/CK (μ g/100UI)	0–5	2.3 \pm 0.8	1.2 \pm 0.6	2 \pm 1.5	2.4 \pm 1.3	<0.0001	<0.0001**	<0.0001*	0.018*
Heart fatty acid binding protein (ng/ml)	<3.55	6.8 \pm 5.2	76.2 \pm 75.7	32.9 \pm 24.3	8.6 \pm 4.3	<0.0001	<0.0001*	0.0057**	<0.0001**
Myoglobin (μ g/L)	28–72	28 \pm 8.6	1,207 \pm 1,287	441 \pm 384	80.1 \pm 43.3	<0.0001	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**
hsTnT (ng/L)	<14	5.5 \pm 1.1	12.7 \pm 7	9.7 \pm 4.3	6.9 \pm 2	<0.0001	<0.0001*	0.069	0.0032**
Copeptine (pmol/L)	<12	5.9 \pm 2.9	20.7 \pm 12.2	13.7 \pm 8.6	7.9 \pm 3.8	<0.0001	<0.0001*	0.0029**	0.0004**
Inflammation									
White blood cell ($10^3/mm^3$)	3.6–15	7 \pm 1.8	10.5 \pm 2.2	8.1 \pm 2	6.4 \pm 1.4	<0.0001	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**
Total protein (g/L)	62–78	72.7 \pm 3.6	68.1 \pm 4	65.7 \pm 4.7	66.2 \pm 4.0	<0.0001	<0.0001**	0.019	0.78
CRP (mg/L)	0–6	1.2 \pm 1.9	18.2 \pm 12.3	13.7 \pm 12.9	5.7 \pm 4.3	<0.0001	<0.0001*	0.062	<0.0001**
Oxidative stress									
Oxidized glutathion (μ mol/L)	<10	1.6 \pm 1.2	6.2 \pm 8.4	3.2 \pm 8	6.6 \pm 14.1	0.016	0.064	0.22	0.34
Reduced glutathion (μ mol/L)	717–1110	811 \pm 105	742 \pm 80.8	745 \pm 89.3	746 \pm 106	0.0025	0.015**	0.99	1
Ratio total glutathion/oxidized glutathion	111–747	628 \pm 221	443 \pm 294	547 \pm 231	446 \pm 286	0.0077	0.028**	0.39	0.47
Myeloperoxidase (ng/ml)	<55	34.8 \pm 16.8	35.5 \pm 17.1	30.9 \pm 15.2	31.3 \pm 13.8	0.0005	0.96	0.007**	0.99
Lipid peroxides (μ mol/L)	<432	273 \pm 155	311 \pm 175	528 \pm 217	638 \pm 184	<0.0001	0.79	<0.0001*	0.015*
Renal function									
Creatinine (mg/dl)	0.72–1.18	1 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1	1 \pm 0.1	0.9 \pm 0.1	<0.0001	0.002*	0.0055**	0.0004**
Urinary creatinine (g/L)	0.24–2.55	1.3 \pm 0.8	1.9 \pm 0.8	1.7 \pm 0.7	1 \pm 0.5	<0.0001	0.015*	0.72	0.002**
Uric acid (mg/L)	<70	5.2 \pm 0.9	5.8 \pm 1.3	5.4 \pm 1.5	4.3 \pm 0.8	<0.0001	0.014*	0.11	<0.0001**
Urea (g/L)	16–48	36.4 \pm 7.9	66.8 \pm 19.1	49.5 \pm 13.3	35.1 \pm 7.4	<0.0001	<0.0001*	<0.0001**	<0.0001**
Myocyte-stress biomarkers									
NT-proBNP (ng/L)	<103	50.3 \pm 1.4	472 \pm 383	396 \pm 374	95.5 \pm 59.4	<0.0001	<0.0001*	0.41	<0.0001**



Cinétique biphasique des marqueurs de fibrose et de souffrance cardiaque

Valeurs extrêmes : 34874 UI/I CPK, NT pro BNP 2202 ng/l !

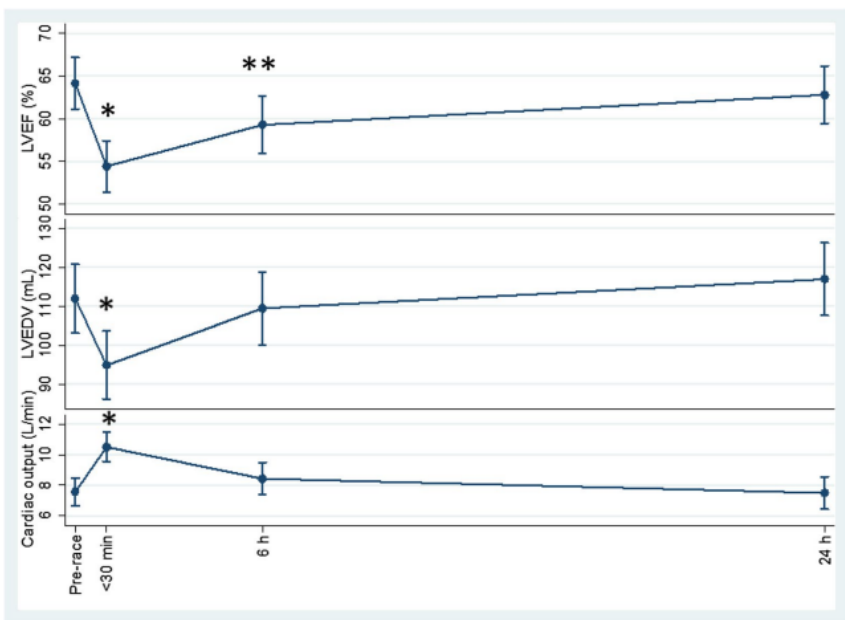
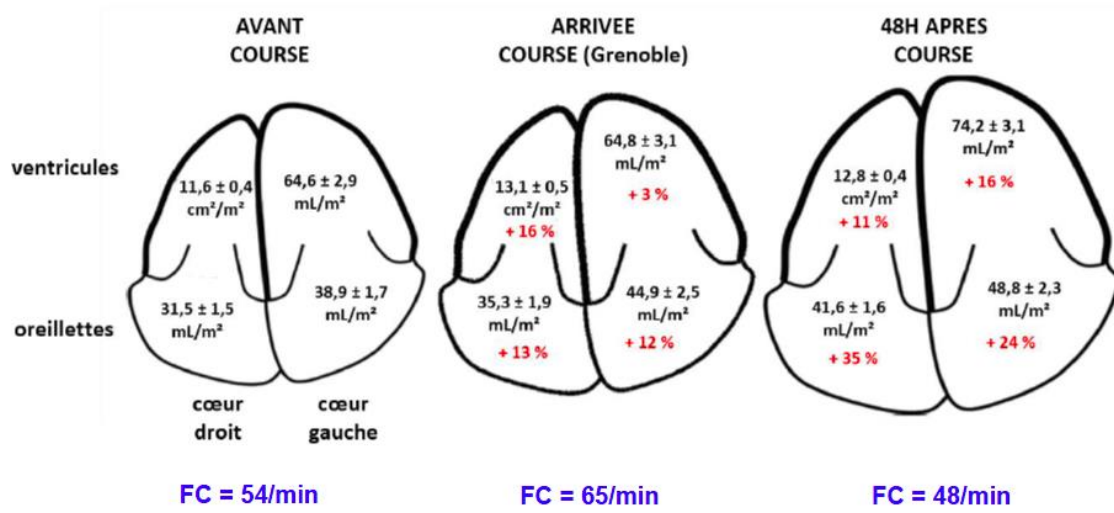


Fig. 1 Within subject variation of left ventricular ejection fraction (%), left ventricular end-diastolic volume (mL), and cardiac output (L min⁻¹) with age as explanatory variable, using the baseline values as the references was done by repeated measurements (mean (95% CI)) at time points 30 min, 6 h, and 24 h after running 63 km. *Denotes $p < 0.01$; **Denotes $p < 0.05$

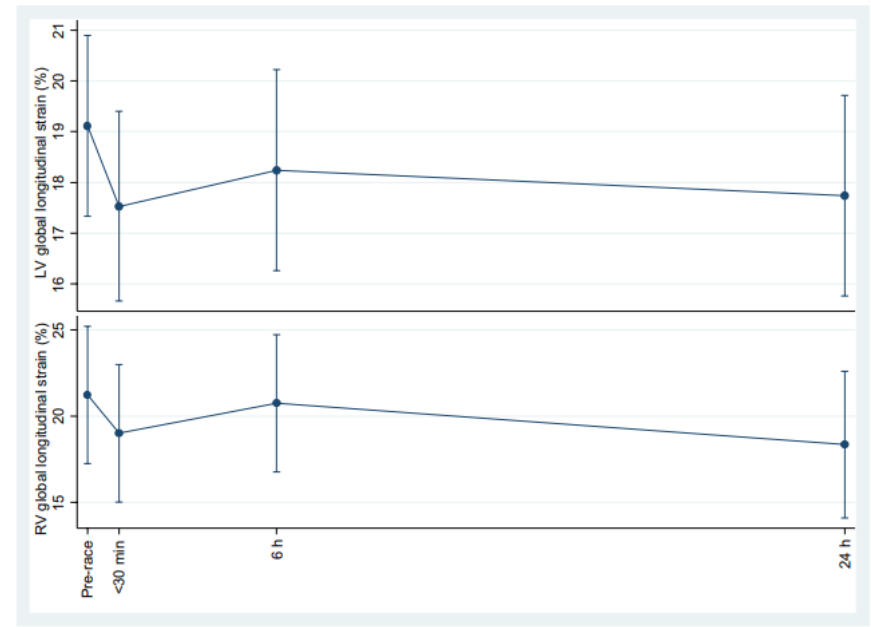
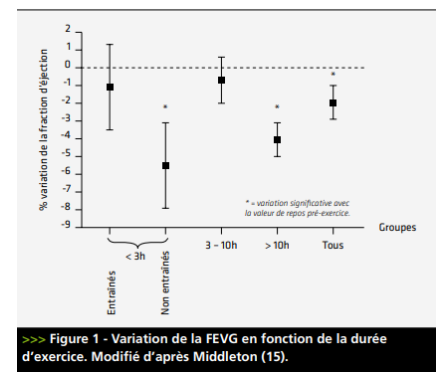
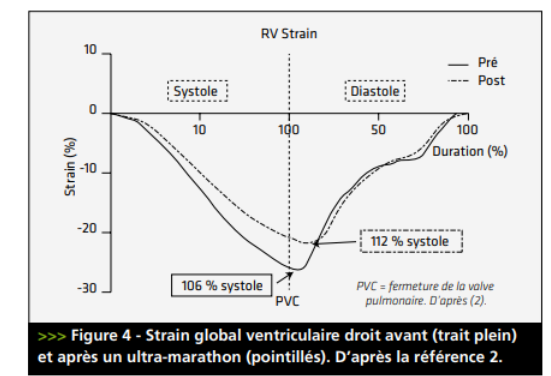


Fig. 2 Within subject variation of left ventricular global longitudinal strain (%), and right ventricular global longitudinal strain (%) with age as explanatory variable, using the baseline values as the references was done by repeated measurements (mean (95% CI)) at time points 30 min, 6 h, and 24 h after running 63 km



>>> Figure 1 - Variation de la FEVG en fonction de la durée d'exercice. Modifié d'après Middleton (15).

Oxborough D, Shave R, Warburton D et al. Dilatation and dysfunction of the right ventricle immediately after ultraendurance exercise: exploratory insights from conventional two-dimensional and speckle tracking echocardiography. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012 ; 4 : 253-63.



>>> Figure 4 - Strain global ventriculaire droit avant (trait plein) et après un ultra-marathon (pointillés). D'après la référence 2.

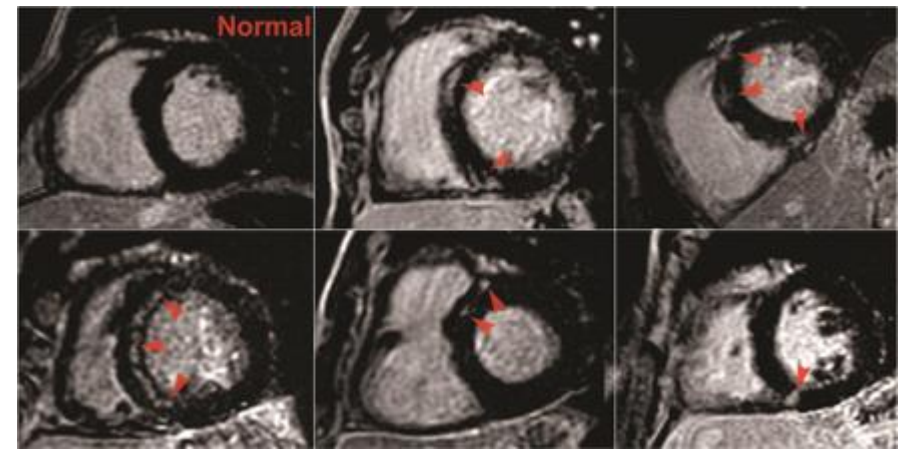
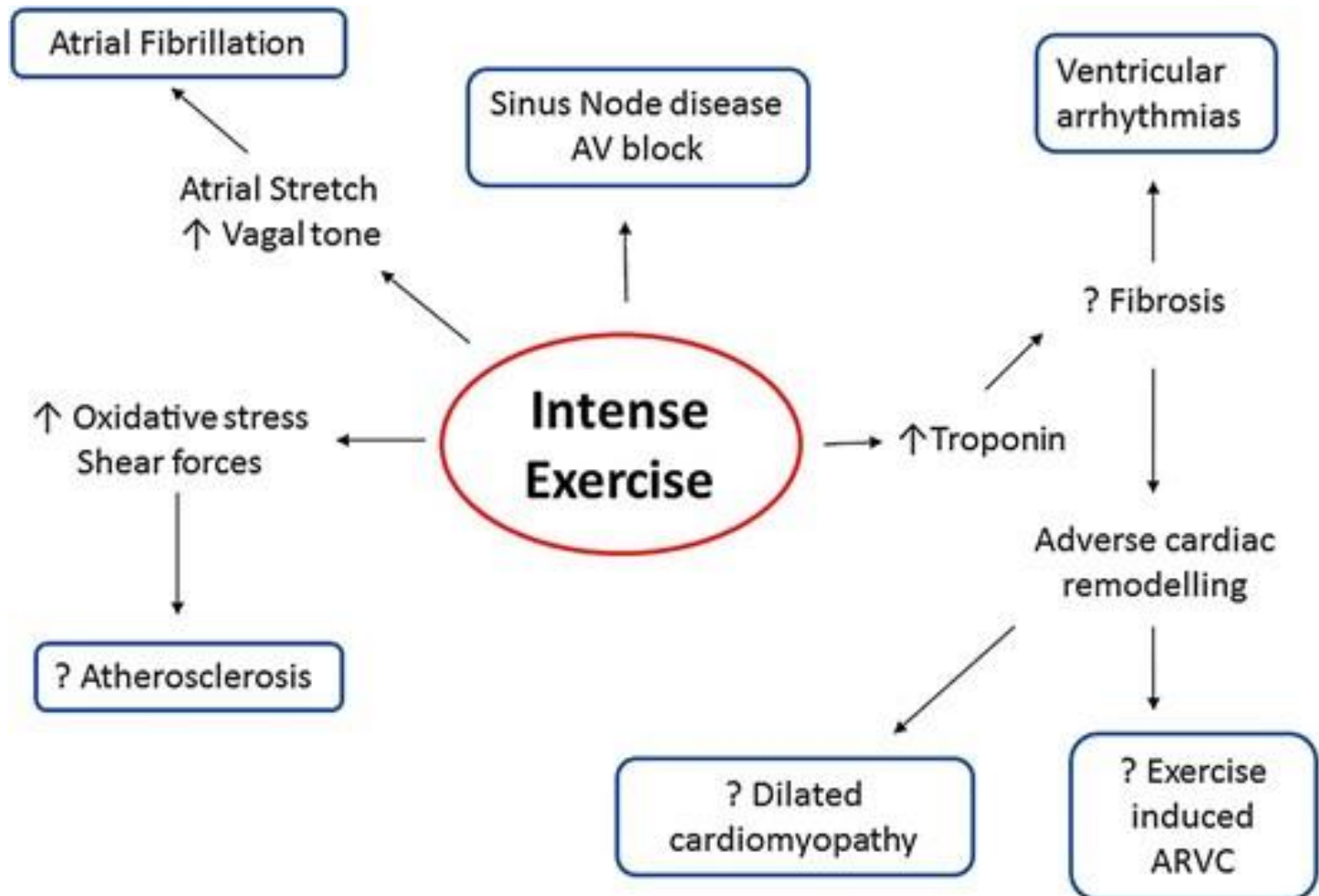
Middleton N, Shave R, George K et al. Left ventricular function immediately following prolonged exercise: A meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2006 ; 38 : 681-7

Conclusion (2)

- Importante sollicitation cardiovasculaire : effort sportif en lui-même et facteurs extérieurs
- Augmentation transitoire, modérée, des marqueurs de souffrance cardiaque et de fibrose + discrète altération relaxation/contraction VG/VD... **rapidement réversibles**



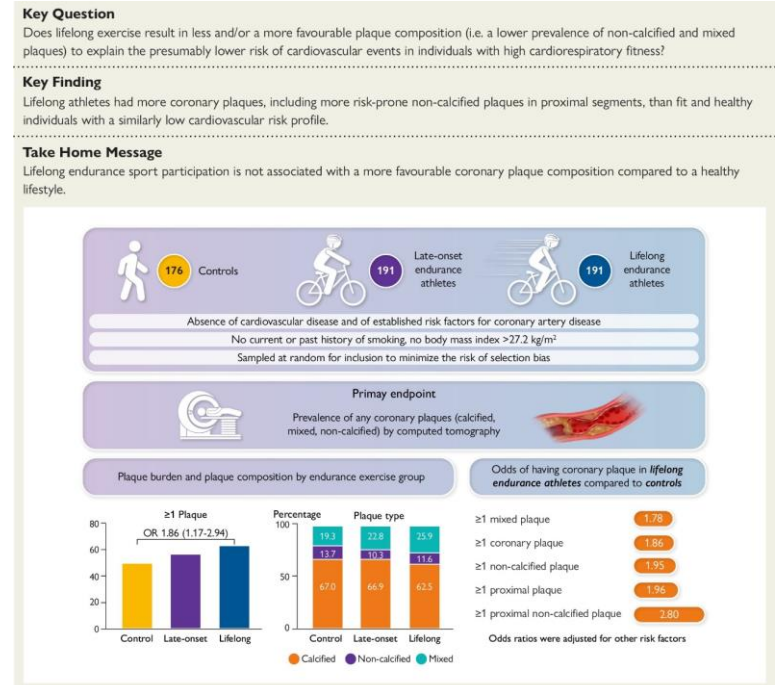
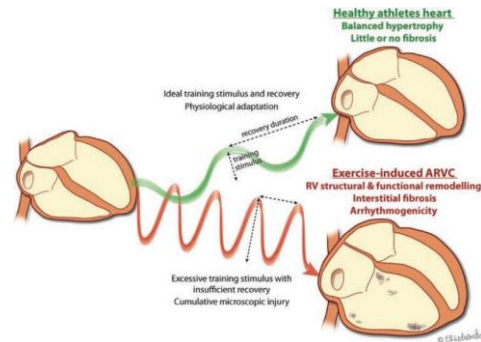
Quels impacts à long terme ?



IRM cardiaque chez athlètes d'ultra-endurance de longue date.

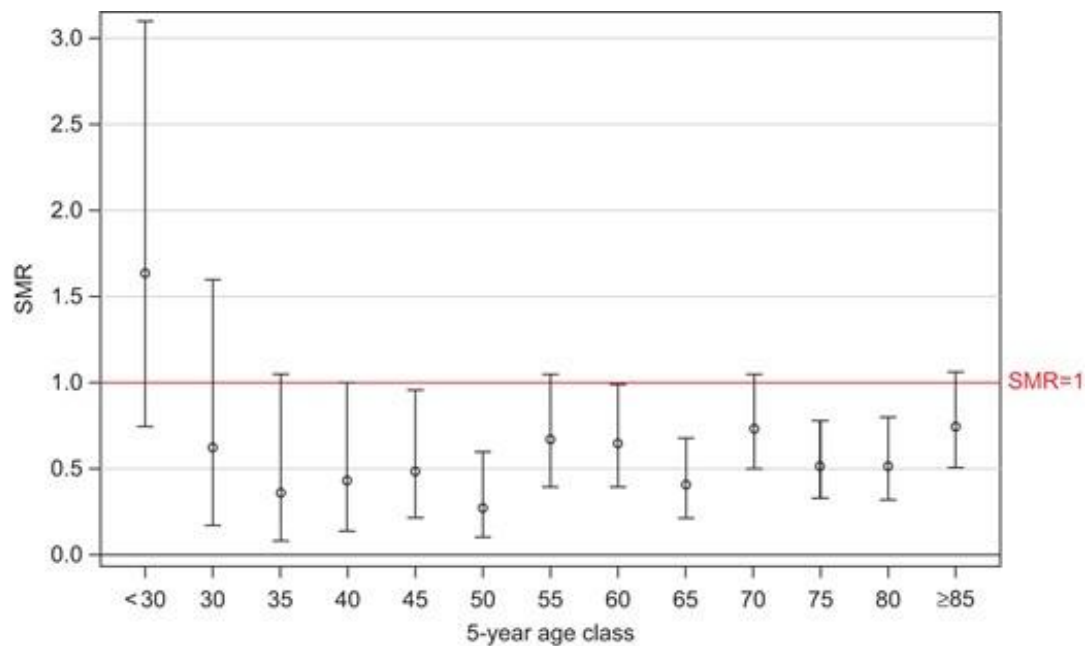
Exercise-induced right ventricular dysfunction and structural remodelling in endurance athletes, André La Gerche, EHJ 2012

Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly, Sanjay Sharma, Ahmed Merghani, Lluís Mont, European Heart Journal, Volume 36, Issue 23, 14 June 2015



Lifelong endurance exercise and its relation with coronary atherosclerosis, Ruben De Bosscher et Al., EHJ, 2023

Bénéfices... incommensurables !



Standardized mortality ratio by 5-year-age class. Standardized mortality ratios were consistent across age, except for ages <30 years among whom only nine cyclists died. For this latter, an excess of mortality was suggested although the standardized mortality ratio was not statistically significant.

Mortality of French participants in the Tour de France (1947–2012), Eloi Marijon et Al., EHI 2013



Conclusion (3)

- Possibles pathologies induites par l'exercice sur le long terme... probablement dose-dépendantes
- Un nouveau champ d'exploration
- À mettre en regard avec les nombreux bénéfices de la pratique sportive
- Importance d'un regard extérieur et d'un accompagnement dans notre pratique



En pratique

Règles d'or (CCS)

- Je signale à mon médecin :
 - **Toute douleur à la poitrine**
 - **Tout essoufflement anormal**
 - **Toute palpitation**
 - **Tout malaise**
 - Survenant pendant ou après l'effort
- Echauffement et récupération de 10 min
- Boire 3 à 4 gorgées toutes les 30 min d'exercice
- Éviter activités intenses en cas de température < -5°C, > 30°C ou en cas de pic de pollution
- Pas de tabac / surtout pas dans les 2 h avant ou après l'activité physique
- Pas de substance dopante, éviter automédication
- Pas de sport intense si fièvre/dans les 8 j suivant un épisode grippal
- Bilan médical avant la reprise d'une activité physique intense (après 35 ans chez homme, 45 ans chez femme)

En cas de maladie cardiaque connue...

- Dépend de la cardiopathie
 - Prendre en compte l'exigence sportive et extra-sportive de la discipline
 - Isolement
 - Éloignement géographique/temporel des centres compétents
 - Anticoagulants
 - Et autres traitements
- Au cas par cas.

A group of trail runners are crossing a finish line on a blue carpeted path. They are surrounded by a large crowd of spectators who are cheering and clapping. The scene is dimly lit, suggesting an evening or night event. The runners are wearing various athletic gear, including hats and backpacks. One runner in the center is wearing a bright yellow jacket and a white cap. Another runner to the right is wearing a red jacket. The overall atmosphere is one of excitement and accomplishment.

Alors... mon cœur est-il fait pour le trail ?

- Aptitudes innées... mais tout se travaille !
- Beaucoup de facteurs dans l'équation : le cœur n'est qu'un maillon de la chaîne
- **Être progressif et « raisonnable »** dans sa pratique
- Beaucoup de questions sur le long terme... risques potentiels, bénéfices indéniables de la pratique sportive
- S'écouter et consulter pour tout symptôme anormal à l'effort