



CLUB DES  
CARDIOLOGUES  
DU SPORT

## SPORT MÉCANIQUE CONTRAINTES DE PILOTAGE

*Avec la revue*

# Cardio

N°18 - Février 2009

&

Sport

LA REVUE PRATIQUE DE LA CARDIOLOGIE DE L'EFFORT

### ÉVÉNEMENT

**Hockey sur glace**  
Entretien avec  
le Dr Haider Bouziane

### ENTRAÎNEMENT

**Sport mécanique**  
Contraintes de pilotage

### CAS CLINIQUE

**Dissection coronaire**  
Le mécanisme  
étiologique

### MISE AU POINT

**Fièvre et sport**  
Un ménage plus risqué  
que l'on ne le pense

### RÉADAPTATION

**Adaptations  
cardiocirculatoires  
à l'exercice**  
Les sujets paraplégiques  
en fauteuil



Vainqueur de l'US  
Open en 1972 et du  
tournoi de Roland-  
Garros en 1973,  
Ilie Nastase est  
toujours sur le cours  
à bientôt 63 ans.



## SPORTS ET SENIORS

Oui, mais comment ?

**Dossier**

- Spécificités cardiovasculaires, respiratoires et musculaires du senior
- Le bilan cardiovasculaire avant le sport : pour les seniors de plus de 65 ans
- Quels sports pour quels seniors ?

# Sport mécanique

## Contraintes de pilotage

Les sports mécaniques proposent des contraintes de pilotage assez semblables malgré la grande diversité des compétitions. Forte consommation en oxygène au niveau des bras, variations du débit circulatoire en relation avec les accélérations, apnées et hypoxie cérébrale, caractérisent ce type d'effort. Les facteurs d'environnement jouent un rôle particulièrement important. Cette activité reste pourtant accessible à un grand nombre de sportifs. Le comportement hygiéno-diététique et le mode de préparation sont des facteurs essentiels de la réussite.

Dr Jean Gauthier (Consultant Pôle Excellence Fédération Internationale de l'Automobile, Médecin du Circuit Paul Ricard, Le Castellet, France), Club des Cardiologues du Sport.

**L**e sport automobile offre une grande variété de compétitions dédiées soit à la vitesse, soit à l'endurance. Les compétitions de vitesse se déroulent sur circuit et sur route.

Sur circuit, les courses les plus célèbres sont les Grands Prix de Formule 1 (F1) : leur durée moyenne est de 90 minutes pour des monoplaces spécialement préparées, dont on s'efforce de limiter la vitesse par des contraintes techniques réglementaires (vitesse moyenne : 250 km/h). Il n'y a pas de limitation de vitesse pour les autres courses, en particulier sur les ovales américains comme le Championnat NASCAR.

Sur route et terre, se courent les rallyes classiques, dont le plus célèbre est le Rallye de Monte-Carlo. Des véhicules de série s'affrontent sur des épreuves chronométrées répétitives de quelques minutes, les itinéraires balisés ayant déjà été repérés par les pilotes (Sébastien Loeb, Finlande 2008, vitesse moyenne : 117,32 km/h).

L'endurance propose des courses en circuit de longue durée : en général 1 000 km sur 6 heures en moyenne ;



La moyenne du vainqueur des 24 heures du Mans 2008 était de 216,3 km/h !

les véhicules étant spécialement conçus pour la course et les pilotes prenant des relais par équipe de deux ou trois. L'épreuve la plus célèbre est celle des 24 heures du Mans, courue par équipes de trois pilotes prenant des relais de 2 à 3 heures. L'endurance se fait maintenant à grande vitesse puisque la moyenne du vainqueur des 24 heures 2008 était de 216,3 km/h pendant 381 tours !

Depuis quelques années, les rallyes tout terrain et surtout les rallyes raid ont suscité un grand intérêt du public ;

le plus célèbre étant le Paris-Dakar. Ce sont des rallyes sur terre et sable, avec orientation, des étapes qui sont très longues et pour lesquelles l'environnement joue un rôle essentiel.

Enfin, le karting propose des compétitions accessibles à de nombreux amateurs et constitue le premier tremplin pour le haut niveau.

L'encadrement médical de ces compétitions est défini par le Code médical de la Fédération Internationale de l'Automobile (FIA).

Les pilotes sont de toutes classes d'âge. On remarque la longévité des carrières professionnelles et les amateurs sont nombreux. Ce sport est accessible à toutes les morphologies, sauf en F1 où l'habitacle est réduit. Le surpoids constitue un handicap.

### > Les contraintes de pilotage

Malgré des activités en apparence éloignées, il existe beaucoup de points communs au niveau des contraintes et de la charge de travail.

#### La charge de travail

L'effort de conduite automobile est un effort statique :

- la dépense énergétique pour une heure de conduite sportive est d'environ 600 Kcal ;
- le pourcentage habituellement utilisé de la consommation maximale en oxygène ( $VO_2\text{max}$ ) n'est que de 60 % de son maximum.

Toutefois, la consommation segmentaire au niveau des bras est très élevée, autour de 70 % du  $VO_2\text{max}$  global alors qu'elle n'est que de 50 % dans la population sportive générale. La composante isométrique est en effet majeure au niveau des bras et des mains, bloquées en tension sur le volant (grip), rendant prépondérante la participation anaérobie.

- L'augmentation du  $VO_2$  et du débit cardiaque est limitée.
- La faiblesse du volume d'éjection est compensée par une élévation de la fréquence cardiaque et une augmentation du retour veineux.
- La contractilité myocardique est aussi renforcée par effet sympathique. Après l'effort, la demande musculaire en oxygène augmente, nécessitant une consommation maximale suffisante.

**Les données échocardiographiques partielles disponibles ne retiennent**

**aucune spécificité du cœur du pilote et les cavités cardiaques restent harmonieuses, avec dimensions ventriculaires gauches aux limites supérieures des normes acceptées pour les activités de type mixte.**

#### Le rôle du système nerveux autonome

L'activité sympathique du Système Nerveux Autonome (SNA) est habituellement mise en jeu de façon importante en relation avec l'activité, et fortement majorée par les charges émotionnelles liées au danger. On enregistre des fréquences cardiaques très élevées, disproportionnées avec la charge réelle d'activité, et des à-coups tensionnels. Avant le départ, la fréquence cardiaque est enregistrée entre 120 et 190 bpm selon les sujets, la fréquence moyenne pour 90 minutes de course se situant habituellement entre 140 et 180 bpm. Dans certaines circonstances, la fréquence peut s'élever jusqu'à 180-220 bpm, fréquence qu'on enregistre souvent au cours des épreuves spéciales de rallye, soutenue pendant plusieurs minutes. Le seuil d'excitabilité de la cellule myocardique est abaissé, augmentant le risque d'arythmie. La forte sollicitation adrénér gique augmente également la glycolyse et la lactatémie.

Sur le plan électrocardiographique, la stimulation du SNA peut modifier le signal électrique, et surtout la variabilité sinusale :

- les intervalles PR et QT varient légèrement ;
- l'amplitude et la largeur du QRS varient également ;
- les extrasystoles ventriculaires sont rares.

La variabilité sinusale résulte de l'interaction entre le tonus sympathique et le tonus parasympathique : le stress de l'accélération augmente le tonus sympathique, le tonus parasympa-

thique s'élevant secondairement de façon moins importante. Une variabilité augmentée témoignerait d'une bonne aptitude physique ; au contraire, une variabilité diminuée pourrait être associée à une altération de la condition physique ou à une cardiopathie cachée.

#### Les accélérations

Les accélérations en sport mécanique sont essentiellement antéro-postérieures et latérales :

- antéro-postérieures  $G_x$ , jusqu'à 4-5 G ;
- latérales  $G_y$ , jusqu'à 5 G, parfois pendant 5 secondes ;
- verticales  $G_z$ , inférieures à 1,5 G ;
- impacts, crash, jusqu'à 100 G.

L'accélération a des conséquences complexes sur le système cardiovasculaire et les effets sont différents selon que l'on se place au début de l'accélération ou dans une phase en plateau : la nature de la variation est essentielle. Pour le sport automobile, c'est le plus souvent une variation progressive de l'accélération (VPA), jusqu'à 1 G/sec environ. Elle est parfois responsable de troubles visuels : voile gris dû à une perte du champ visuel périphérique, ou voile noir dû à une perte du champ visuel central. Ces phénomènes sont secondaires à une diminution progressive de l'irrigation cérébrale induisant une baisse de l'irrigation rétinienne et une hypoxie. En revanche, les syncopes sont exceptionnelles, se produisant pour des variations brutales de l'accélération (VBA), au-delà de 1 G/sec, rarement observées avec les voitures de course, et mettant en jeu un phénomène d'hypertension intracrânienne. Il est possible de suivre de manière non invasive, par spectrophotométrie infrarouge, les perturbations de la microcirculation cérébrale et d'estimer l'état d'oxygénation du cerveau par la mesure de la forme oxydée de la cytochrome oxydase, le volume sanguin cérébral

chutant rapidement lorsque l'accélération augmente.

La répétition d'accélération de faible intensité (2 à 4 G) et de courte durée (2 à 3 sec) peut induire une hypoxie cérébrale insuffisante pour donner des signes cliniques, mais responsable d'une altération des réflexes et de la vigilance, néfaste pour la performance et la sécurité du pilote.

Les effets sur l'électrocardiogramme sont également complexes, aussi bien sur la fréquence que sur la morphologie et le rythme. Lorsque la vitesse instantanée de variation de l'accélération devient supérieure à 1 G/sec, elle entraîne des troubles conductifs mineurs ; un allongement du QTc est possible, expérimentalement, chez le rat, et une accélération progressive peut provoquer des troubles conductifs allant du bloc de 1<sup>er</sup> degré au bloc auriculo-ventriculaire complet.

### Les contraintes respiratoires

Ayrton Senna disait qu'une bonne respiration est le secret du succès dans la course automobile et il avait remarqué que, jeune pilote, sa fréquence cardiaque était très élevée avant le départ et qu'en contrôlant sa respiration, il pouvait l'abaisser autour de 80 bpm. Ce contrôle n'avait pas été facile à acquérir, et nécessitait un apprentissage dirigé.

La course en circuit introduit la notion d'apnée : des phénomènes d'apnée provoqués par l'effet de plaquage thoracique, par les attractions les plus violentes, et par l'intense concentration du pilote dans certaines circonstances de course (tour de qualification, départ), pourraient constituer un facteur aggravant de l'hypoxie. Ces événements brefs mais répétitifs représentent jusqu'à un quart du temps total de la course, majorant l'hypoventilation.

Le pilote est parfois essoufflé pendant la course, au moment où la fatigue s'installe et où la vigilance diminue.

### Le rôle de l'environnement

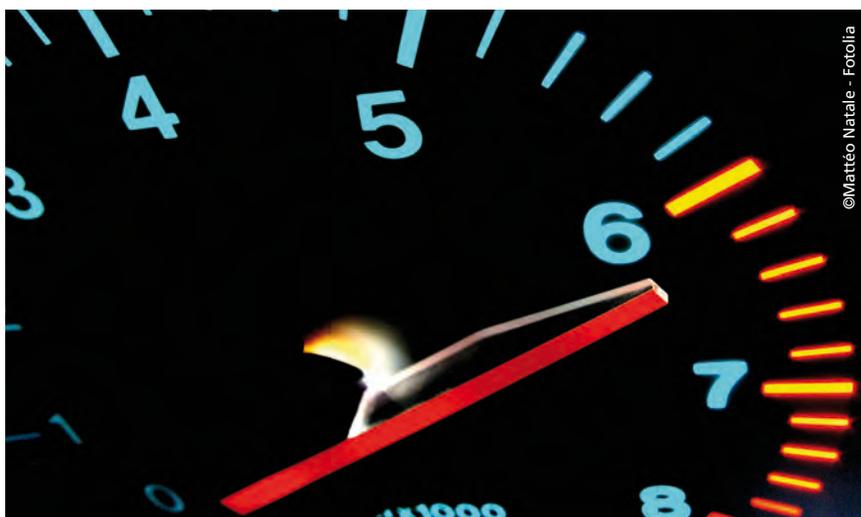
Les facteurs d'environnement jouent un rôle important, en particulier les températures souvent très élevées à l'intérieur de la voiture (de 10 à 15°C supérieures à la température extérieure pour les voitures ouvertes et de plus de 20°C dans les habitacles fermés). Les principales sources de chaleur viennent du moteur, des freins et des vêtements anti-feu du pilote. La déshydratation (1,5 litres/heure de pilotage en moyenne) peut influencer défavorablement le rythme cardiaque et la viscosité sanguine. Le coup de chaleur reste possible, même pour des pilotes expérimentés, et une hypoglycémie accompagne fréquemment la déshydratation, majorant ses effets négatifs sur la vigilance. Le positionnement du corps et le système de verrouillage sus-pubien des harnais de sécurité constituent une gêne à la circulation veineuse de retour dans les membres inférieurs. Cette dernière pourrait être améliorée par le port d'une contention, équipement qui devrait satisfaire aux règlements de protection contre le feu.

Le bruit (100 à 120 décibels en F1) et les vibrations constituent des facteurs importants d'altération de la vigilance.

Les charges émotionnelles sont particulièrement fortes dans ce type d'activité, en relation avec le danger et la pression de compétitions souvent très médiatisées. Elles influencent le rythme cardiaque du pilote et sa tension artérielle, qui s'élève pendant la course par rapport aux moyennes de repos. Le retour à la normale de la pression artérielle intervient rapidement à l'arrêt de l'effort.

Des programmes de recherche médicale sont régulièrement mis en place pour améliorer la connaissance des adaptations physiologiques à l'effort de conduite, les plus efficaces étant souvent ceux qui sont menés en collaboration avec les techniciens aéronautiques confrontés eux aussi à la problématique des accélérations. Les progrès réalisés dans la technique des capteurs et la transmission télémetrique des données apportent une aide considérable aux chercheurs, notamment pour :

- la fréquence cardiaque et respiratoire ;



La répétition d'accélération courtes peut induire une hypoxie cérébrale.

- la consommation en oxygène ;
- la pression artérielle ;
- l'électrocardiogramme ;
- l'électroencéphalogramme ;
- les mouvements oculaires.

La mobilité des appareils d'écho-Doppler cardiaque et vasculaire est elle aussi appréciable. Au-delà du système cardiovasculaire, la recherche s'intéresse également à la vision, en particulier à la vision latérale, fortement sollicitée par les grandes vitesses, et au système ORL.

### > Le suivi médical

L'attribution d'une licence fédérale permettant de participer à une compétition automobile dépend d'un examen médical préalable. Les normes de la fédération internationale ne sont pas très exigeantes sur le plan cardiovasculaire. Elles retiennent bien sûr l'interrogatoire et l'examen clinique, mais laissent la réalisation de l'électrocardiogramme à l'appréciation du médecin examinateur. Certaines fédérations nationales, conscientes du type de travail cardiaque représenté par l'effort de conduite, ont rendu l'électrocardiogramme de repos obligatoire, ainsi que l'épreuve d'effort en fonction de l'âge.

### Les recommandations : bilan et suivi conseillés

De façon individuelle, les pilotes professionnels peuvent se faire assister par un médecin du sport qui leur proposera un suivi médical annuel comportant, en particulier, la mesure de la consommation en oxygène globale et au niveau des bras. Il les aidera à préparer leur programme d'entraînement. Ceci n'a aucun caractère obligatoire. De même, le pilote peut bénéficier d'une aide médicale pour acquérir les techniques de concentration, de relaxation et de visualisation ainsi que les bons principes hygiéno-diététiques.

### Les recommandations : risque chez le cardiaque

Le caractère isométrique et anaérobie interdit, en principe, cette activité aux coronariens, qui s'accommodent beaucoup mieux d'efforts dynamiques modérés dans le système aérobie, l'importante élévation de la fréquence cardiaque étant susceptible de provoquer des crises angineuses, même chez les mieux équilibrés.

Le risque de poussée hypertensive chez l'hypertendu chronique est réel et une évolution rapide vers une insuffisance cardiaque aiguë avec œdème pulmonaire reste possible.

L'hyperviscosité sanguine est susceptible de provoquer des thromboses chez les sujets prédisposés, le système veineux des membres inférieurs étant particulièrement exposé. L'hypoxie cérébrale peut décompenser les sujets porteurs de sténoses artérielles supra-aortiques, avec risque syncopal et l'on aura noté la fragilisation de la vascularisation ophthalmique.

Des troubles du rythme peuvent se produire sous l'effet de la forte hypersympathicotomie et de la déshydratation, aussi bien chez le sujet sain que chez le cardiaque, pour qui ce risque est plus élevé. On mesure la gravité en situation de conduite d'une arythmie à effet lipothymique ou syncopal. Des troubles conductifs mineurs peuvent être majorés par les accélérations.

### L'aptitude à la course

L'aptitude à la course nécessite :

- un bon profil physique, les grands gabarits étant défavorisés compte tenu d'une ergonomie très étroite de certaines voitures :
  - le poids ne doit pas être excessif car il existe parfois une limitation du poids total voiture-pilote,
  - les qualités de souplesse sont indispensables,
  - une préparation musculaire séquen-

tielle : cou, avant-bras, mains et jambes sont fortement sollicités mais, pour rester à l'aise dans une voiture de Formule 1, il faut éviter un développement excessif des épaules et des cuisses ;

- un bon profil physiologique :
  - bon état cardiovasculaire avec une consommation maximale en oxygène autour de 70 ml/mn/kg, un seuil ventilatoire très élevé, à 90 % de la VO<sub>2</sub> max,
  - un système de vision parfait,
  - aucune anomalie pulmonaire, afin de pouvoir assumer les phases d'apnée ;
  - un bon profil psychologique :
    - une force mentale,
    - des capacités de concentration,
    - une maîtrise de la relaxation,
    - une aptitude à utiliser les techniques de visualisation.

### La préparation physique

Elle est d'une grande diversité et doit surtout être quotidienne, même si le calendrier annuel des courses n'est pas très important :

- entraînement en endurance (courses en forêt, vélo) ;
  - travail en résistance (travail fractionné sur la piste d'athlétisme) ;
  - travail musculaire en salle (séquentiel, selon les objectifs déjà indiqués) ;
  - travail spécifique du cou avant la course, en fonction de la configuration du circuit (plus de virages à droite, ou à gauche).
- S'y ajoutent les jours de course :
- exercices d'échauffement : assouplissements, étirements, exercices de récupération après la course, en particulier sur le plan veineux ;
  - exercices de concentration ;
  - travail quotidien de relaxation ;
  - visualisations quotidiennes des circuits.

Retenons le conseil d'Ayrton Senna, décidément très préoccupé par la respiration : « Lorsque vous travaillez avec des haltères, imaginez que vous

pilotez sur un circuit de Formule 1 : inspirez lorsque vous accélérez, expirez quand vous freinez, inspirez quand vous relâchez vos muscles, expirez quand vous les contractez ».

### La préparation médicale

Aucune préparation médicale n'est requise. Un programme d'hydratation personnalisé est indispensable les jours de course et s'effectue le plus souvent avant le départ. En effet, l'hydratation est très difficile pendant la course malgré l'ingéniosité des systèmes disponibles, en raison de la forte concentration du pilote sur sa conduite et des innombrables sollicitations techniques auxquelles il est soumis. Une alimentation équilibrée suffit à apporter les vitamines, oligo-éléments, fer permettant de compenser les pertes liées à la compétition. La place privilégiée des sucres lents permet de prévenir les variations glycémiques de l'effort et de reconstituer

le stock en glycogène qui retardera l'épuisement musculaire.

### > Conclusion

La conduite automobile en compétition est une activité anaérobie prépondérante, avec forte participation du système sympathique et provoque parfois une hypoxie cérébrale responsable de pertes de vigilance et de troubles visuels. Elle est sous l'influence de facteurs d'environnement pouvant augmenter la viscosité sanguine, et favoriser la déshydratation et l'hypoglycémie.

Une bonne connaissance des adaptations physiologiques de chaque pilote à ces contraintes permet de proposer des programmes spécifiques de préparation limitant fortement leurs effets. Ainsi, pilotes et médecins doivent développer une collaboration qui leur permette "d'accélérer ensemble" vers un effort de conduite harmonieux et sécurisé. ■

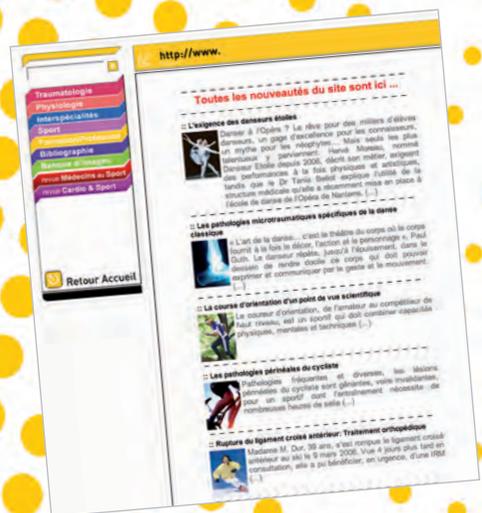
### Pour en savoir plus

- Coumel P, Deschamps JP. Sudden death and the autonomic nervous system: the prognostic value of heart rate variability. *Developments in cardiovascular medicine* 1990 ; 110 : 191-207.
- Kawashima T, Satake H, Matsunami K. ECG analysis of golden hamsters exposed to long-term -Gz conditions: ordinary and pathological findings. *Jpn J Physiol* 1991 ; 41 : 629-51.
- Le Heuzey JY. Sinus variability: value of rhythmology. *Arch Mal Cœur Vaiss* 1992 ; 85 : 37-43.
- Senna A. *Ayrton Senna's principles of race driving*. Hazelton securities Ltd, 1993.
- Whinnery CC, Whinnery JE. Acceleration induced electrocardiographic interval changes. *Aviation, space and environmental medicine* 1988 : 102-5.

### MOTS CLÉS

Charge de travail, VO<sub>2</sub> max des bras, Hypoxie cérébrale, Variations de l'accélération, Apnée sèche, Sport mécanique

[www.msport.net](http://www.msport.net)



1<sup>er</sup> site francophone  
entièrement consacré  
à la médecine du sport