

A. BENJELLOUN TOUIMI

R. BRION

F. HUET

B. WARME-JANVILLE

Étude descriptive de l'ECG numérisé réalisé chez des sujets de vingt ans sportifs et sédentaires

Les cahiers de l'analyse des données, tome 14, n° 4 (1989),
p. 401-424

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1989__14_4_401_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1989, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Les cahiers de l'analyse des données » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

ÉTUDE DESCRIPTIVE DE L'ECG NUMÉRISÉ RÉALISÉ CHEZ DES SUJETS DE VINGT ANS SPORTIFS ET SÉDENTAIRES

[ECG SPORTIFS]

*A. BENJELLOUN TOUIMI**

*R. BRION***

*F. HUET****

*B. WARME-JANVILLE*****

0 Thème de l'étude, population des sujets, données analysées

Il est généralement admis que l'entraînement physique induit une meilleure adaptation du système cardio-vasculaire à l'effort. Les modifications qui en sont le support ont une traduction anatomique au niveau du myocarde et une traduction physiologique au niveau de l'activité électrique du cœur telle que l'enregistre l'électrocardiogramme (ECG).

Ces modifications électriques ont été étudiées par plusieurs auteurs (PLAS 1961, 1976; CHIGNON 1978). Et les cardiologues du sport ont cherché à fonder sur des critères électriques des classifications rendant compte de la qualité des sportifs étudiés. Mais rares sont encore les travaux portant sur l'ECG du sujet sportif de vingt ans: d'où le thème de la présente étude.

Faisant usage des nouvelles techniques informatisées pour étudier l'ECG, nous avons constitué une série de quelque 300 sujets, pour moitié sportifs et pour moitié témoins sédentaires, tous âgés d'environ vingt ans, âge moyen du service national; notre but étant de rechercher, par l'analyse factorielle, des

(*) Laboratoire de Statistique, Université Pierre et Marie Curie; ex-assistant associé à l'Université Paris Dauphine.

(**) Service de Cardiologie, Hôpital Militaire Desgenettes, 108 Boulevard Pinel, 69275, Lyon Cedex 03.

(***) Centre Médico-Sportif, École Interarmées des Sports, 77307 Fontainebleau.

(****) Service Facteurs Humains, ETCA: 16 Avenue Prieur de la Côte d'Or, 94114, Arcueil Cedex.

paramètres distinguant les sédentaires des sportifs et éventuellement ces derniers entre eux en fonction des disciplines sportives.

De façon précise, l'étude porte, d'une part, sur 146 sujets sportifs, de niveau national ou international, qui sont des athlètes du Bataillon de Joinville; et d'autre part, sur 144 sujets qualifiés de "sédentaires", c'est-à-dire ne consacrant pas plus d'une heure par semaine à l'activité physique; tous sont âgés de 18 à 22 ans. Les athlètes se répartissent entre plus de vingt sections, comme l'indique le tableau.

cyclisme	40	haltérophilie	6	c. ori	2	sport auto	1
foot ball	32	judo	6	tumbling	2	squash	1
handball	11	lutte	5	demi-fond	1	tennis table	1
water-polo	11	boxe	4	canoë	1	trampoline	1
escrime	10	hokey	4	pentath. mod.	1		
tennis	9	volley	3	rugby	1		

On dispose, pour chaque sujet, des résultats d'un ECG de repos: celui-ci a été effectué, pour les sédentaires, lors de l'incorporation des contingents 87/02 et 87/06; et pour les athlètes, en cours de saison sportive (mai 87). On a utilisé un électrocardiographe numérique à mémoire HP 5600C permettant le stockage de 11 ECG et leur édition sur papier à l'aide d'une table traçante.

Les données recueillies ont été élaborées par le système informatique Hewlett-Packard ECG Management dont le programme réalise, sur chaque ECG, plusieurs milliers de mesures et permet de ranger ces mesures en fonction de critères définis par l'utilisateur; d'où une matrice qui résume les caractéristiques morphologiques et rythmiques de toutes les ondes enregistrées.

Au total, la présente étude a eu pour base 430 données par sujet. Il y a là matière à de très nombreuses études. De celles que nous avons effectuées, deux ont été retenues pour le présent article.

Dans la première (§1), intitulée "Analyse de la décomposition du signal ECG", on considère l'ensemble du signal, décomposé, comme il est classique, en une succession d'ondes et d'intervalles, témoins de la dépolarisation des oreillettes puis des ventricules et de leur repolarisation, ainsi que des phénomènes de conduction. Dans cette partie, on ne traite pas séparément les différentes dérivations suivant lesquelles sont recueillis les potentiels créés par l'activation du muscle cardiaque; en ce sens que chaque ECG fournit une ligne unique au tableau construit.

Dans la deuxième partie (§2), "Étude de la repolarisation", au contraire, chaque ligne du tableau décrit la morphologie d'une courbe recueillie sur une dérivation particulière. Le nombre des lignes pourrait donc être égal au produit du nombre des individus par celui des dérivations utilisées. Mais en fait, seules sont considérées les dérivations précordiales, de V1 à V6 (plus particulièrement:

V1, V3 et V6). Et l'étude ne porte pas sur toute la durée du signal: elle concerne principalement la repolarisation.

Dans l'une et l'autre partie, l'objectif est, rappelons-le, de distinguer entre sédentaires et sportifs des diverses spécialités: les différences les plus notables observées sont reprises au §3. Enfin, en conclusion (§4), on s'interroge sur l'interprétation de ces différences.

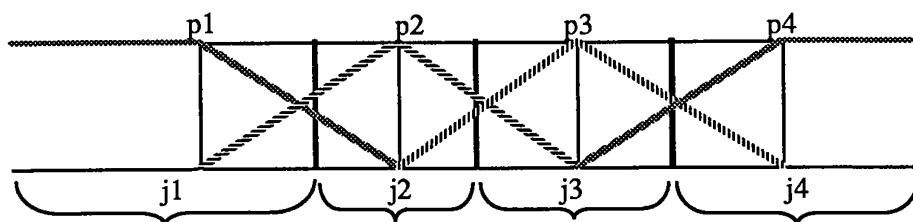
1 Analyse de la décomposition du signal ECG

1.1 Des données au tableau analysé

Le tableau de base est hétérogène: outre 5 variables générales, nous en avons retenu 12 relatives au signal enregistré de l'ECG: ces dernières variables sont exprimées dans des unités différentes (millisecondes, degrés, etc...).

Aussi avons-nous d'abord procédé à un découpage des 17 variables retenues en 5 classes; d'où, par codage disjonctif complet, un tableau logique en (0,1) avec une ligne par sujet et 85 colonnes: un bloc de 5 colonnes par variable. Les bornes sont d'abord fixées de telle façon que les classes afférentes à une même variable aient des effectifs égaux; puis modifiées afin de tenir compte de la réalité de l'information apportée par les classes.

Par la suite, d'après ce même découpage, on a procédé à un codage flou (cf. GALLEGO 1982, LE FOLL 1979), encore appelé codage linéaire par morceaux (cf. CAD, Vol XIV, n°2, pp. 203-210); ce qui permet une perte d'information moindre que quand une variable est découpée en classes. Les valeurs pivot du codage flou sont prises en utilisant les bornes fixées pour le codage disjonctif complet: ainsi, on compare aisément les analyses factorielles faites avec les deux modes de codage (disjonctif complet et flou), ceux-ci étant fondés sur les mêmes découpages des variables.



De façon précise, pour chaque variable, on a pris une valeur pivot au milieu de l'intervalle correspondant à chacune des modalités intermédiaires du codage logique (dans l'exemple figuré, p2 et p3 sont respectivement au milieu de j2 et j3); tandis que les valeurs extrêmes (p1 et p4, dans la figure) ont été placées de telle sorte qu'après codage flou, les poids des modalités extrêmes soient en harmonie avec ceux des autres modalités. Des lignes brisées, diversement tracées, indiquent, sur la figure, les valeurs non nulles des 4 modalités floues.

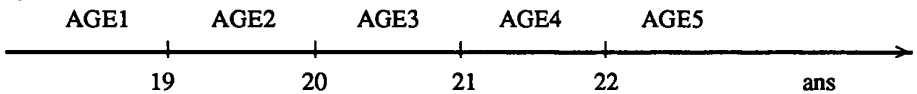
Quel que soit le codage adopté, on peut, à partir du tableau qui a 290 lignes, chacune afférente à un sujet, construire des lignes de cumul obtenues par total des lignes afférentes à des sujets rentrant dans une catégorie déterminée d'activité: sédentarité, pratique d'un sport déterminé, ou encore d'un sport de type déterminé. L'analyse peut se faire en prenant pour tableau principal soit le tableau à 290 lignes, soit le tableau des lignes de cumul (l'autre tableau étant mis en supplémentaire). Les résultats rapportés au §1.3 sont issus du codage flou, avec pour tableau principal le tableau des lignes de cumul.

1.2 Choix des variables et découpage en classes

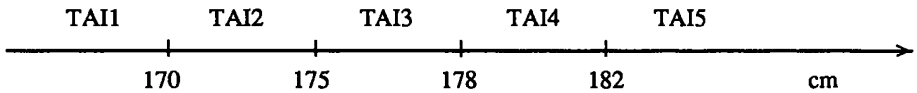
Nous considérerons successivement les 5 variables générales (signalement et fréquence cardiaque); les 12 variables de l'ECG; les 8 catégories d'activité retenues (sédentarité et sports ou classes de sports).

1.2.1 Variables générales

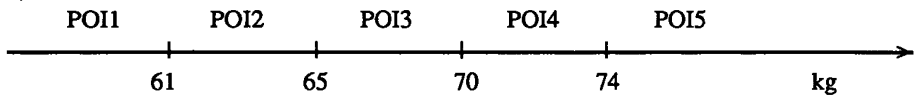
1) AGE:



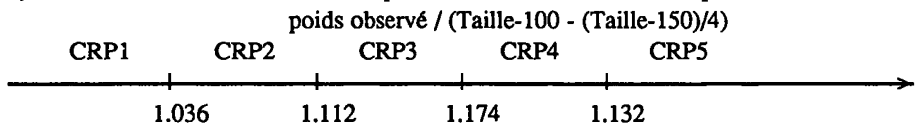
2) TAILLE:



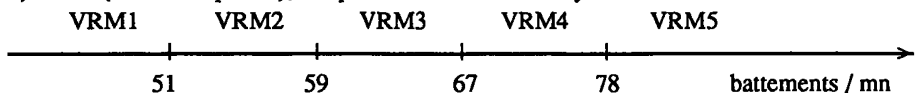
3) POIDS:



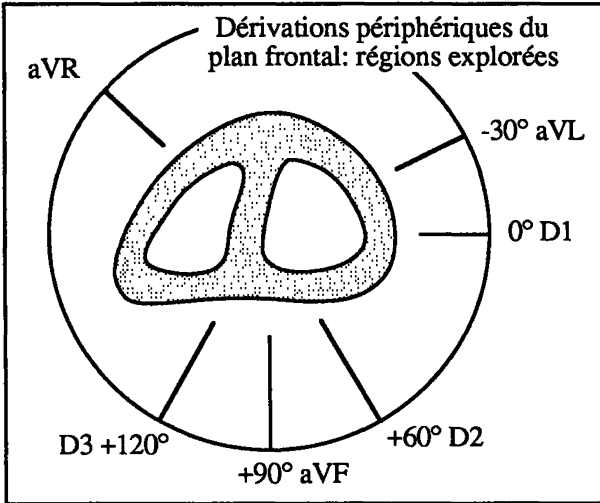
4) CORPULENCE: indice calculé par la formule de Lorentz, soit, pour les hommes:



5) VRM (Rate = fréquence), Fréquence Ventriculaire Moyenne:

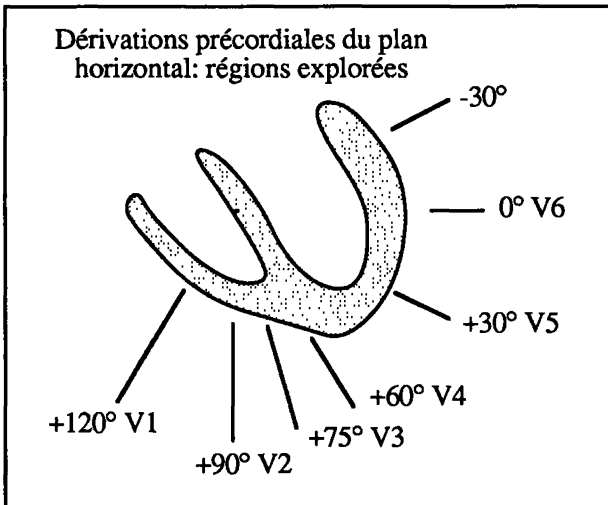


Notons que les variables générales serviront à illustrer les analyses: étant, par nature, différentes du reste des variables, elles seront mises en supplémentaires.

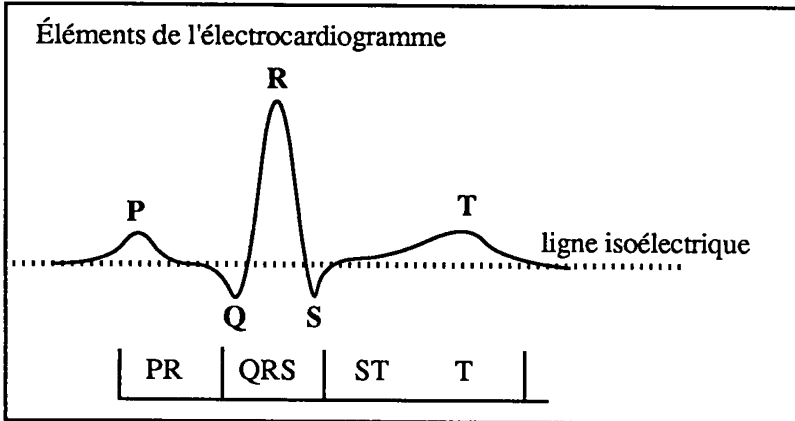


1.2.2 Variables relatives à l'ECG

On rappelle que l'ECG est obtenu par l'enregistrement des potentiels résultant de l'activité électrique cardiaque, au moyen d'électrodes superficielles, ou dérivations. Celles-ci sont dénommées d'après les régions cardiaques qu'elles explorent et leur position relativement au cœur. On a: 6 dérivations (D1,



D2, D3, aVR, aVF, aVL) dans un plan vertical frontal et 6 dérivations (V1, V2 à V6) dans un plan horizontal.

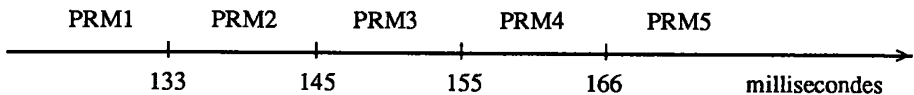


Quelle que soit la dérivation considérée, la courbe du potentiel recueilli se décompose en une succession d'ondes et d'intervalles, témoins de la dépolarisation des oreillettes puis des ventricules et de leur repolarisation, ainsi que des phénomènes de conduction. De cette décomposition sont issues 4 variables de durée.

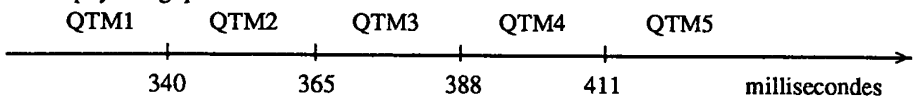
D'autre part, dans la mesure où le champ créé par l'activité du muscle cardiaque peut être assimilé à celui d'un dipôle, au signal peut être associé un axe dont on calcule les projections sur les deux plans perpendiculaires frontal et horizontal. L'orientation de cet axe cardiaque varie constamment au cours du cycle cardiaque et les angles de ses projections avec les différents axes de coordonnées doivent donc être considérés pour chacune des phases du signal. D'où 8 variables angulaires.

Ainsi, les variables relatives à l'ECG sont au nombre de 14 variables de durée et 8 variables angulaires.

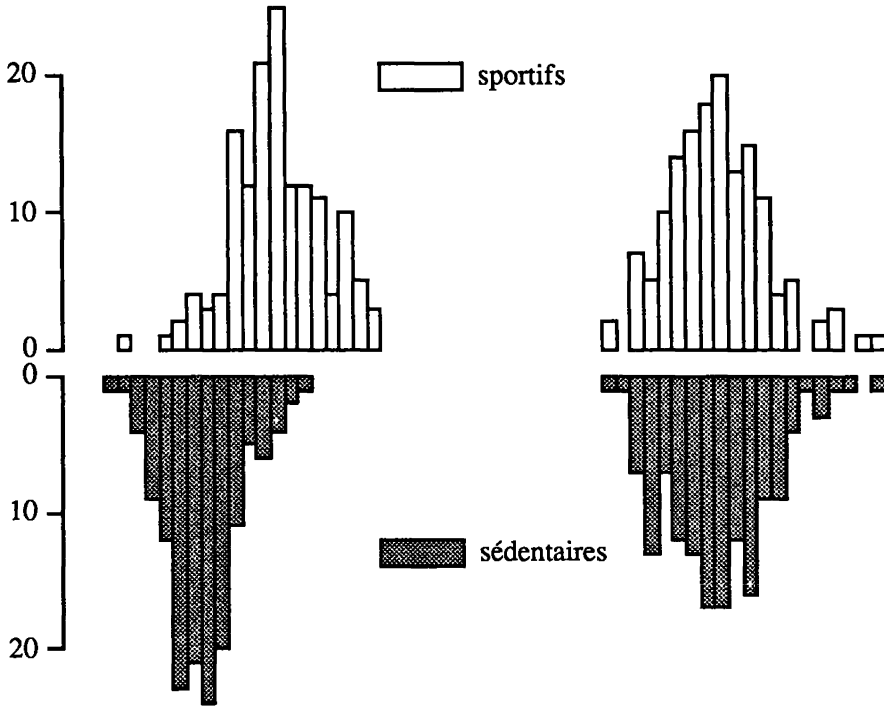
6) **PRM**: (PR Moyen), espace PR qui correspond à la durée de la conduction auriculo-ventriculaire :



7) **QTM**: (QT Moyen), durée moyenne de l'espace QT (dépolarisation + repolarisation des ventricules) dont les modifications peuvent avoir une influence sur de nombreux phénomènes électrophysiologiques:



La durée de l'intervalle QT étant essentiellement liée à la Fréquence Cardiaque, certains auteurs ont essayé d'exprimer cette influence (cf. Blondeau 1980) par des formules établissant

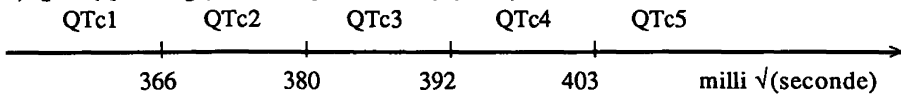


Histogrammes des valeurs de l'espace QT (en millisecondes)
 à gauche: valeurs brutes à droite: valeurs corrigées
 min = 279 ; Max = 482 min = 332 ; Max = 468

une relation entre la durée de QT et celle de la période cardiaque estimée par l'intervalle (R-R) entre deux ondes R successives.

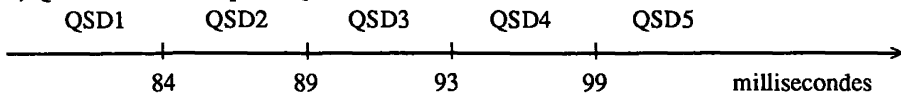
La formule la plus utilisée est celle de Bazett, qui donne une durée de QT dite "corrigée", calculée en prenant pour dénominateur la racine carrée de la mesure en seconde de l'intervalle (R-R); d'où une valeur en $\text{milli} \sqrt{\text{seconde}}$!

8) QTc: (QT corrigé): $QTc = QT \text{ mesuré} / (\sqrt{R - R})$:



La valeur de QTc permet d'avoir un QT ramené à une fréquence standard de 60 par minute pour laquelle R-R vaut 1. Ainsi, il devient possible de comparer des sujets de fréquences cardiaques très différentes, ce qui est généralement le cas entre sportifs et sédentaires.

9) QSD: durée du complexe QRS:



10) P.FR: axe FRontal de l'onde P (les angles sont comptés comme l'indique la figure):

PFR1	PFR2	PFR3	PFR4	PFR5	
31	46	57	67		degrés

11) QS.F: axe Frontal du complexe QRS:

QSF1	QSF2	QSF3	QSF4	QSF5	
38	63	77	87		degrés

12) T.FR: axe Frontal de l'onde T:

TFR1	TFR2	TFR3	TFR4	TFR5	
27	38	47	56		degrés

13) AQRS-AT.F: angle que fait l'Axe du QRS avec l'axe de T dans le plan Frontal:

AQT1	AQT2	AQT3	AQT4	AQT5	
11	24	37	51		degrés

14) P.HO: axe HOrizontal de P:

PHO1	PHO2	PHO3	PHO4	PHO5	
22	36	47	58		degrés

15) QS.H: axe Horizontal du complexe QRS:

QSH1	QSH2	QSH3	QSH4	QSH5	
-35	-23	-13	0		degrés

16) T.HO: axe HOrizontal de l'onde T:

THO1	THO2	THO3	THO4	THO5	
35	47	56	64		degrés

17) AQRS-AT.H: angle que fait l'Axe du QRS avec l'axe de T dans le plan Horizontal:

ATH1	ATH2	ATH3	ATH4	ATH5	
44	62	75	93		degrés

Comme les variables générales (cf. §1.2.1), les variables (13) et (17) seront mises en supplémentaires, puisqu'elles sont définies à partir des variables (10) et (12) pour la première, (14) et (16) pour la seconde.

1.2.3 Partition de l'ensemble des sujets par type d'activité (sportifs et sédentaires)

Il importe de faire apparaître les spécialités sportives dans l'ensemble des analyses. On réalise une partition de l'ensemble des sujets en catégories (spécialité sportive ou sédentarité); et l'on représente chaque catégorie par son centre de gravité i.e. par une ligne cumulant, comme on l'a annoncé au §1.1, les lignes afférentes aux sujets rentrant dans cette catégorie donnée. Ainsi, chaque

classe de la partition fournit une ligne au tableau des données. Voici les catégories créées:

CYCL: CYCListes;

WPOL: Water-POLo, course d'orientation, pentathlon moderne, canoë;

TENN: TENNIS, squash, demi-fond;

FOOT: FOOT, hand, volley, hockey sur gazon, rugby;

ESCR: ESCRime, judo, lutte, boxe;

HALT: HALTérophilie;

AUSP, AUtres SPorts: sport auto, trampoline, tumbling...

On définit également les catégories:

SEDE: SEDentaires, encore notés: sujets TEMOins (TEMO);

SPOR: ensemble de la population sportive.

1.3 Analyse du tableau des catégories (7 spécialités sportives et sédentarité)

Le tableau de cumul soumis à l'A.F.C. est: $IC \times Jf$ qui croise les 8 catégories d'activité avec l'ensemble Jf des 85 modalités de variables obtenues par le codage flou. Les 290 sujets de la population totale sont projetés en lignes supplémentaires. D'autres part (cf. *supra*) ont été mises en colonnes supplémentaires les modalités des variables suivantes: QTM, AQTH (angle AQRS-AT Horiz.), AQTF (angle AT-AQRS Front.), AGE, POIDs, TAILle et indice de CORpulence. On rappelle que les éléments supplémentaires ne contribuent pas à la construction des axes d'inertie, mais sont projetés sur ceux-ci à titre d'illustration.

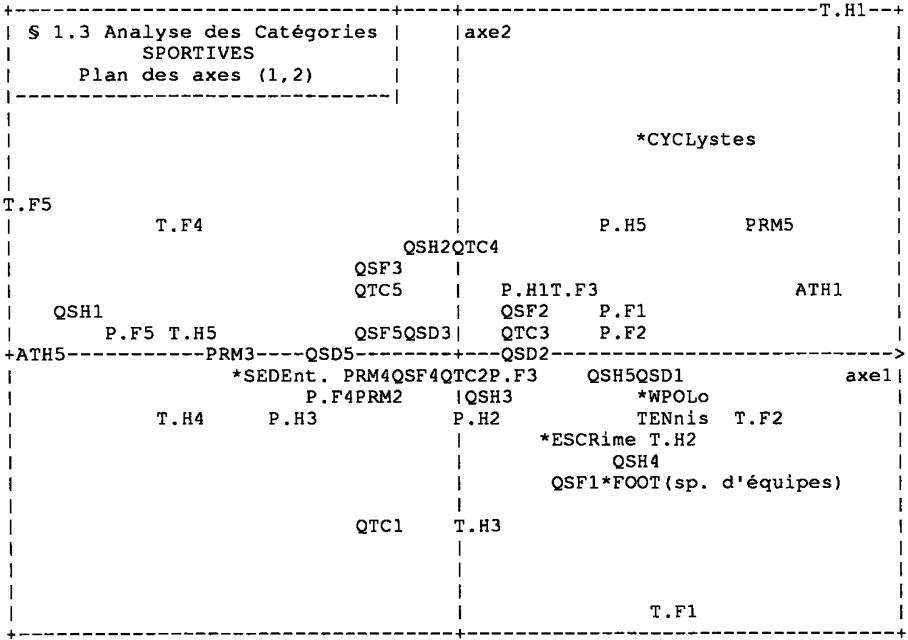
1.3.0 Tableau des valeurs propres

NUM	V. PROP.	TAUX %	CUMUL %	HISTOGRAMME
1	0.059	55.33	55.33	*****
2	0.018	17.21	72.54	*****
3	0.015	13.74	86.28	*****
4	0.008	7.86	94.14	***

1.3.1 Interprétation de l'axe 1

Le premier facteur se détache nettement des autres; il oppose les SPORTifs aux SEDentaires (TEMO). En effet:

du côté ($F1 < 0$), les SEDentaires (TEMOins) se caractérisent sur le plan Frontal par des ondes P et T dont les axes sont plus à droite, i.e. plus proches de 90° (modalités T.F4, T.F5, P.F4, P.F5). Tandis que dans le plan Horizontal, l'onde T et le QRS varient en sens contraires avec les modalités QSH1 et T.H5 qui apparaissent de ce côté de l'axe.



les SPORtifs sont du côté opposé ($F1 > 0$) et sont décrits par les modalités codées 1, 2 ou 3 (T.F1, T.H1, T.H2) à l'exclusion du QRS. Horizontal, qui est présent avec ses modalités QSH4 et QSH5.

Les spécialités sportives les mieux représentées sont le FOOT, le CYCLisme, le WaterPÔLo.

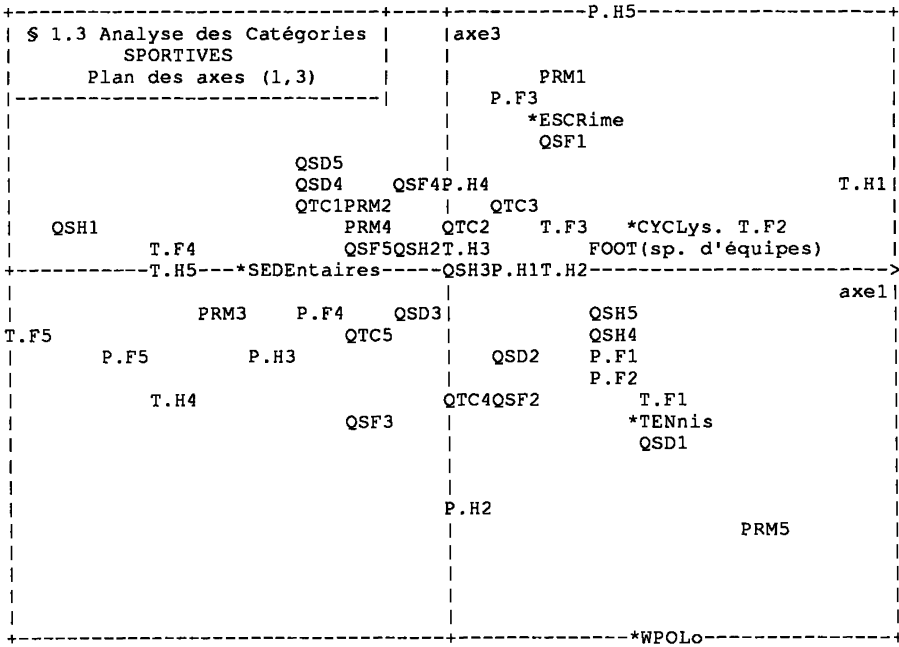
La place des variables supplémentaires confirme que les athlètes ont un rythme Ventriculaire Moyen moins élevé que les sédentaires ainsi qu'une durée Moyenne de l'intervalle QT plus longue. Cependant, si l'on corrige la Durée du QT par la fréquence cardiaque (cf. modalités QTc1, 2 à 5), il ne subsiste pas de différence entre les deux populations (voir histogrammes).

Enfin, la variable AQRS -AT Horizontal est très corrélée à cet axe: les SPORtifs ont un angle entre l'onde T et le QRS qui se referme contrairement aux SEDentaires.

1.3.2 Interprétation des axes 2 et 3

L'axe 2 fait apparaître une particularité des cyclistes dont environ 70% ont un axe Horizontal de T inférieur à 45°. Ils s'opposent ainsi au reste des sportifs.

La variable Durée Moyenne de l'intervalle PR ne permet pas de distinguer entre SPORtifs et TEMOins, mais on trouve sur l'axe 3 les petites valeurs PRM1



associées aux ESCRimeurs et les grandes valeurs aux joueurs du WaterPOLO: les sujets appartenant à ces deux catégories se trouvent projetés de part et d'autre de l'axe 3.

1.3.3 Ensemble des individus dans le plan (1,2)

Outre les centres de gravité des principales catégories d'activité, nous avons figuré les sujets par des sigles d'une lettre indiquant leur catégorie, avec le code expliqué ci-dessous. Dans le plan (1,2), on distingue trois zones:

la première (I), couvrant le demi-plan (F1<1), regroupe les sujets codés 2, c'est-à-dire les SEDEntaires;

une deuxième zone (II), située dans le quart de plan (F1>0,F2<0), contient les CYCListes notés C;

la zone (III) regroupe le reste des sportifs (escrimeurs, E; haltérophiles, H,...).

La discrimination ainsi obtenue est assez satisfaisante car environ 80% des sujets sont bien classés d'après leur projection dans le plan (1,2)

2 Étude de la repolarisation

Ainsi qu'on l'a dit en introduction (cf. §0) chaque ligne du tableau de base de la présente étude décrit la morphologie d'une courbe recueillie sur une dérivation particulière. Le nombre des lignes pourrait donc être égal au produit du nombre des individus par celui des dérivations utilisées. En fait l'étude de la

chacun des 290 sujets fournit 6 lignes; et trois analyses partielles (§§2.2 à 2.4) consacrée chacune respectivement à l'une des 3 dérivations V1, V3 et V6. De plus, dans toutes les analyses ici rapportées (comme dans celle objet du §1.3) les lignes du tableau principal sont calculées par cumul de lignes du tableau de base suivant des catégories d'activité.

2.1 Des données aux analyses

2.1.1 Les données retenues pour l'étude de la repolarisation

Nous avons étudié les temps successifs de la repolarisation à l'aide de statistiques descriptives, puis par l'analyse factorielle des correspondances. Voici les variables retenues pour la description des courbes:

0) **QTC**, Durée corrigée de l'intervalle QT:

les données brutes avaient donné une durée de QT des sportifs significativement plus longue que celle des sédentaires, mais cette différence disparaît lorsque l'on compare les deux populations en données corrigées (cf. *supra* §1.2);

- 1) **STon**, position du point J par rapport à la ligne isoélectrique exprimée en millivolts;
- 2) **STsl** (slope = pente), pente du segment ST en degrés;
- 3) **STdu**, durée du segment ST en millisecondes;
- 4) **STDc**, durée corrigée de ST:

la correction consiste à diviser STdu par $\sqrt{R-R}$ (formule de Bazett; cf. *supra* §1.2). Ainsi est supprimée l'influence éventuelle de la fréquence cardiaque; et sportifs et sédentaires deviennent comparables.

5) **TAMp**, AMplitude de l'onde T exprimée en millivolts;

6) **TT'D**, durée corrigée de l'onde T+T' exprimée en millisecondes; (on désigne ici sous le nom d'onde T', une ondelette négative qui, dans certains cas, fait suite à une onde T positive).

Enfin, à ces variables électrocardiographiques, on a adjoint une variable générale (cf. §1.2.1):

7) indice de **CORPulence**:

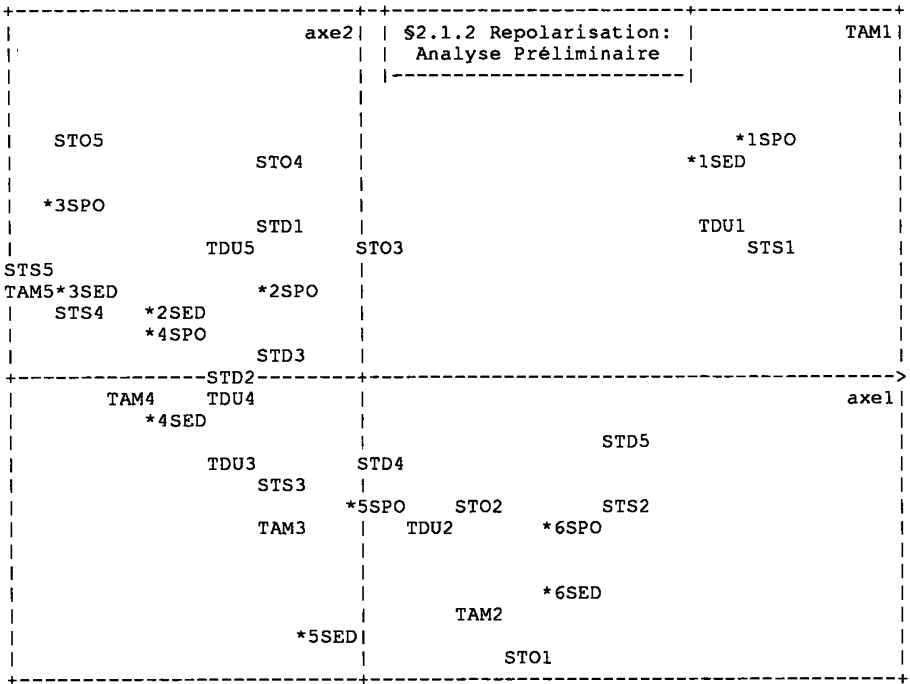
cette variable permettra d'apprécier l'influence des facteurs morphologiques sur la repolarisation.

Les six dérivations précordiales {V1, V2, ..., V6} présentant une vue horizontale d'un même phénomène électrique, la repolarisation doit être considérée sur l'ensemble de ces dérivations .

Cependant, il serait trop long de présenter six analyses successives. On a retenu les analyses des trois dérivations V1, V3 et V6 (cf. §§2.2 à 2.4). D'après les spécialistes, ces dérivations sont les plus représentatives: elles résument l'ensemble. Nous avons tenu à le vérifier par une étude préliminaire, en recourant à l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) et à la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

2.1.2 Analyse préliminaire et choix des dérivations retenues

On considère un tableau $k(IC \times J)$ construit de la manière suivante.



Soit I l'ensemble de $6 \times 290 = 1740$ observations où chacun des 290 sujets de la population totale apparaît 6 fois, autant que de dérivations. L'ensemble I est mis en correspondance avec l'ensemble J des modalités des 7 variables, obtenues par un codage disjonctif complet: on a découpé chaque variable en 5 classes, soit, au total, $\text{Card}J = 35$ modalités. Ensuite, pour chaque dérivation, on a cumulé les sujets sportifs d'une part et les sédentaires d'autre part, ce qui donne deux classes par dérivation; on a ainsi construit le tableau:

$k(\text{IC} \times J)$, avec $\text{Card}(\text{IC}) = 12$ lignes dont la première, notée 1SPO, correspond à la classe des SPORtifs pour la dérivation V1, et la dernière, notée 6SED, correspond aux SEDentaires pour la dérivation V6.

L'analyse du tableau $k(\text{IC} \times J)$ a donné sur le plan (1,2) une nette séparation des 12 classes de IC en 3 zones :

- la première, centrée sur le quart de plan (F1+, F2+), contient la dérivation V1;
- la seconde, située dans (F1+, F2-) contient les dérivations V5 et V6;
- la troisième, autour du demi-axe F1 négatif, contient le reste des dérivations: V2, V3 et V4.

```

3SED **--*20-----//-----*
2SED || |
4SPO || |
3SPO -| |
2SPO -| |
4SED ----|

5SED **--*21-----*-----//-----|
5SPO | |
6SED *--|
6SPO |

1SED *16-----|
1SPO |

```

Une C.A.H. à partir des 5 premiers facteurs confirme ce résultat: en gardant les deux nœuds les plus élevés, on a les trois classes:

$C16 = \{1SPO, 1SED\}$;
 $C20 = \{3SED, 2SED, 4SPO, 3SPO, 2SPO, 4SED\}$;
 $C21 = \{5SPO, 5SED, 6SPO, 6SED\}$.

Cette partition justifie qu'on choisisse les dérivations V1, V3 et V6 pour représenter l'ensemble de la repolarisation, car chacune d'elles appartient à une classe différente.

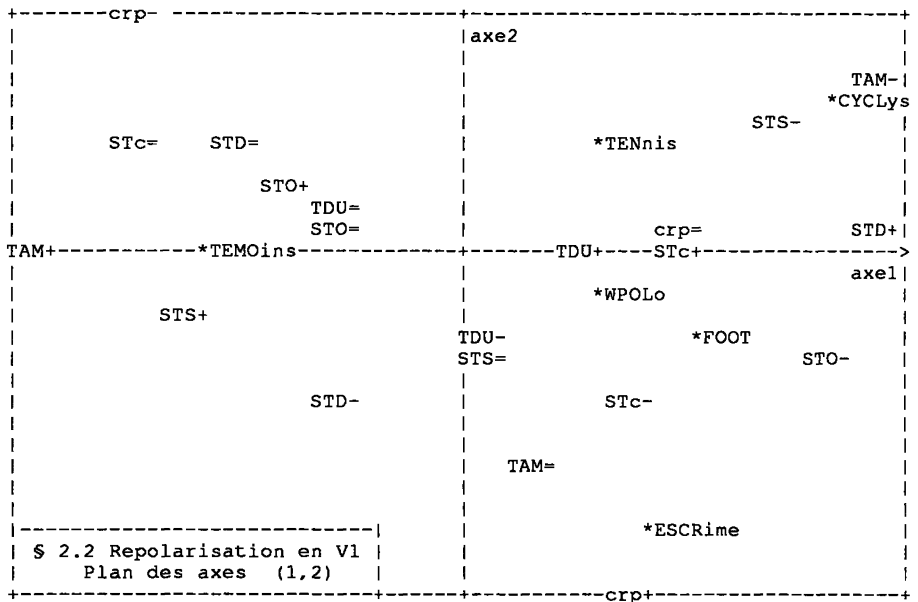
2.2 Repolarisation en V1

Les 7 variables retenues pour l'étude de la repolarisation ont été découpées en 3 classes, ou modalités; on parle en général de modalité faible '-', de modalité moyenne '=' et de modalité forte '+'. On donne ci-dessous le tableau des bornes.

Sigle	variable	borne1	borne2	unité
STO	position de J	0.02	0.05	milliVolt
STS	pente de ST	30	35	degré
STD	durée de ST	100	124	milliseconde
STc	durée corrigée de ST	3.43	4.12	milli $\sqrt{(s)}$
TAM	amplitude de T	-0.12	+0.12	milliVolt
TDU	durée corrigée de T + T'	3.90	5.07	milli $\sqrt{(s)}$
CRP	indice de corpulence	1.11	1.17	(index)

Ce tableau se lit de la manière suivante: par exemple pour la variable STO, la modalité '-' comprend les valeurs inférieures à la première borne: $STO- \leq 0,02$; la classe moyenne '=' est telle que $0,02 < STO= \leq 0,05$ et enfin $STO+ > 0,05$. On rappelle, cf. §1.2.2, que les durées corrigées sont en milli $\sqrt{(seconde)}$.

Nous avons analysé le tableau $k(IC \times J)$ qui croise l'ensemble IC des 8 lignes représentant les catégories (spécialités sportives et sédentarité) avec l'ensemble J des 35 modalités obtenues par le codage disjonctif complet. Les deux lignes de cumul {HALT, A USP} sont mises en supplémentaires ainsi que les 6 modalités relatives aux variables STD et CRP. Les points HALTérophilie et



AUTres SPORts ont été écartés parce que, le nombre des sujets concernés étant trop faible, leurs profils sont peu significatifs.

2.2.1 Interprétation du 1-er axe

La première valeur propre est 8 fois plus importante que la seconde: elle représente 76,5% de l'inertie totale du nuage.

Le premier axe oppose les SPORtifs aux TEMOins. Ces derniers (i.e. les SÉDEntaires) sont décrits principalement par:

- un point J isoélectrique;
- une amplitude de l'onde T positive dans environ 80% des cas;
- une pente du segment ST élevée; (nous signalons que les résultats obtenus sont les mêmes que la pente de ST ait été ou non corrigée).

Chez la population sportive, on distingue:
les CYCListes qui ont en général:

- une amplitude négative de l'onde T (< -0,12 mV));
- un segment ST à pente faible;

les FOOTballeurs qui ont:

- un point J isoélectrique (< 0.02 milliV, mais non négatif).

2.2.2 Interprétation de l'axe 2

Cet axe permet de distinguer la catégorie ESCRime: les athlètes escrimeurs ont une amplitude de T et une pente de ST quasi nulles. On remarque que le point HALTérophilie se projette à côté de ESCRime.

En résumé, sur la dérivation V1, c'est principalement l'amplitude de l'onde T qui caractérise les sportifs et tout particulièrement les CYCListes, qui ont une amplitude négative.

2.3 Étude de la repolarisation en V3

On découpe les 7 variables en 3 modalités avec les bornes du tableau et le tableau principal analysé est construit par cumul de lignes, comme au §2.2.

Sigle	variable	borne1	borne2	unité
STO	position de J	0.07	0.12	milliVolt
STS	pente de ST	54	57	degré
STD	durée de ST	92	104	milliseconde
STc	durée corrigée de ST	3.04	3.45	milli $\sqrt{(s)}$
TAM	amplitude de T	0.67	0.91	milliVolt
TDU	durée corrigée de T + T'	5.69	6.09	milli $\sqrt{(s)}$
CRP	indice de corpulence	1.11	1.17	(index)

L'essentiel de l'information pertinente se trouve sur le plan des axes 1 et 2 (taux d'inertie cumulé = 84%), auquel nous bornerons l'interprétation.

L'analyse sépare les catégories sportives . On trouve alors sur le quadrant (F1-, F2+) les CYCListes et les joueurs deTENNis caractérisés par:

- une position du point J sus-décalée;
- une onde T de durée longue par rapport aux sédentaires.

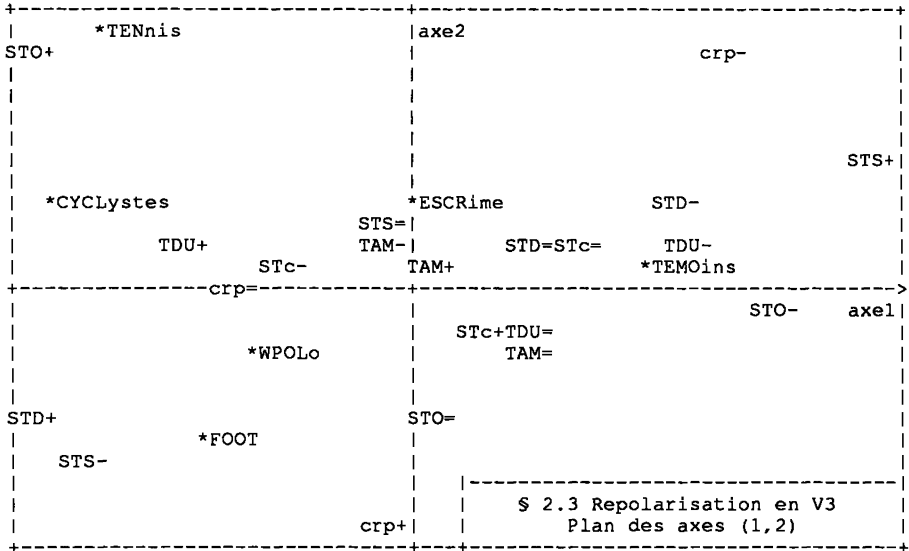
On remarque que l'amplitude faible de T n'est pas une caractéristique exclusive des cyclistes sur cette dérivation V3.

Dans le quadrant (F1-, F2-), les FOOTballeurs et les joueurs du WaterPOLO se trouvent proches des faibles pentes du segment ST; avec une position du point J isoélectrique ou sus-décalée.

Les sédentaires (TÉMOins) sont du côté du demi-axe F1+; ils sont décrits par les modalités suivantes:

- une pente plus élevée du segment ST que chez les sportifs;
- une durée de l'onde T plus courte; (mais cette différence disparaît si l'on considère la durée corrigée).
- une position du point J sous-décalée ou isoélectrique.

Ainsi, l'analyse sépare trois groupes: les CYCListes, seuls sportifs endurants, le reste des sportifs (FOOT, WPOLO...) qui sont des sports d'équipe



pour la plupart et qui représentent des sports dits 'mixtes' c'est-à-dire qui demandent à la fois de la résistance et de l'endurance; et enfin, les sédentaires.

2.4 Étude de la repolarisation en V6

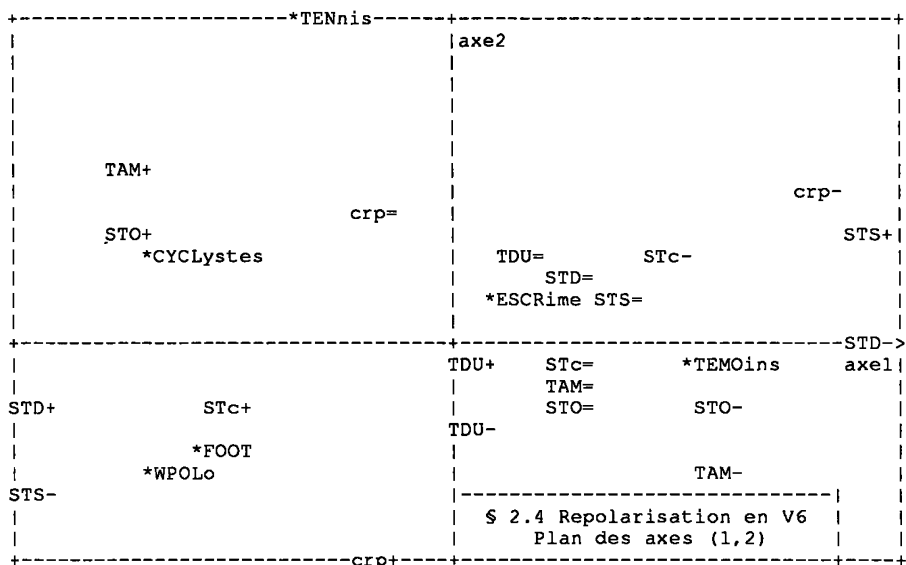
On procède comme pour les deux dérivations précédemment étudiées (cf. §§2.2 et 2.3): les 7 variables sont découpées en 3 modalités avec les bornes du tableau.

Sigle	variable	borne1	borne2	unité
STO	position de J	-0.01	0.02	milliVolt
STS	pente de ST	35	40	degré
STD	durée de ST	104	135	milliseconde
STc	durée corrigée de ST	3.61	4.25	milli √(s)
TAM	amplitude de T	0.31	0.46	milliVolt
TDU	durée corrigée de T + T'	4.81	5.48	milli √(s)
CRP	indice de corpulence	1.11	1.17	(index)

Le plan (1, 2) représente environ 90% de l'inertie totale du nuage. Le premier axe, avec 76,7% de l'inertie, sépare nettement les sportifs des sédentaires.

Dans le quart de plan (F1-, F2+), on trouve les CYCListes qui se distinguent par les modalités suivantes:

- une amplitude de l'onde T plus élevée que chez les sédentaires (TAM+ > 0,46 mV);
- un point J sus-décalé (STOn > 0,02 mV).



La catégorie TENNIS se projette du côté $F2 > 0$. En se reportant aux données brutes, on remarque que les joueurs de tennis ont eux aussi une amplitude de T le plus souvent élevée.

Dans le quart de plan ($F1-$, $F2-$), on trouve les catégories FOOT et WaterPOLO, proches de la modalité STS1 (pente corrigée de $ST < 1,08$).

Tandis qu'autour du demi-axe $F1+$, il y a les TÉMOins, décrits par les modalités suivantes:

- une amplitude de T $< 0,31$ mV (modalité TAM- ou TAM=);
- une position du point J isoélectrique ou sous-décalée (modalité STO- ou STO=);
- une pente du segment ST $< 1,31$ (modalité STS- ou STS=).

Ainsi, sur cette dérivation V6, on arrive bien à séparer les spécialités sportives; notamment les CYCListes qui ont une amplitude de l'onde T supérieure en général à celle des sédentaires. D'autre part, les FOOTballeurs et les athlètes du WaterPOLO ont une pente du segment ST moins élevée que la population des TÉMOins.

3 Bilan des différences observées entre athlètes et sédentaires

La bradycardie de repos est la caractéristique la plus marquante du système cardio-vasculaire de l'athlète. Nous avons retrouvé, pour le rythme cardiaque de repos, des fréquences plus basses chez les sportifs, comme cela est maintenant établi (PLAS 1976, CHIGNON 1978).

Quant à la morphologie de l'électrocardiogramme, nous considérerons successivement les différences observées pour l'axe électrique du complexe QRS et de l'onde T dans les plans frontal (axe établi dans les dérivations dites standards {D1, D2, D3, aVL, aVF, aVR}) et horizontal (axe établi à partir des dérivations précordiales {V1, V2, ..., V6}); puis la repolarisation.

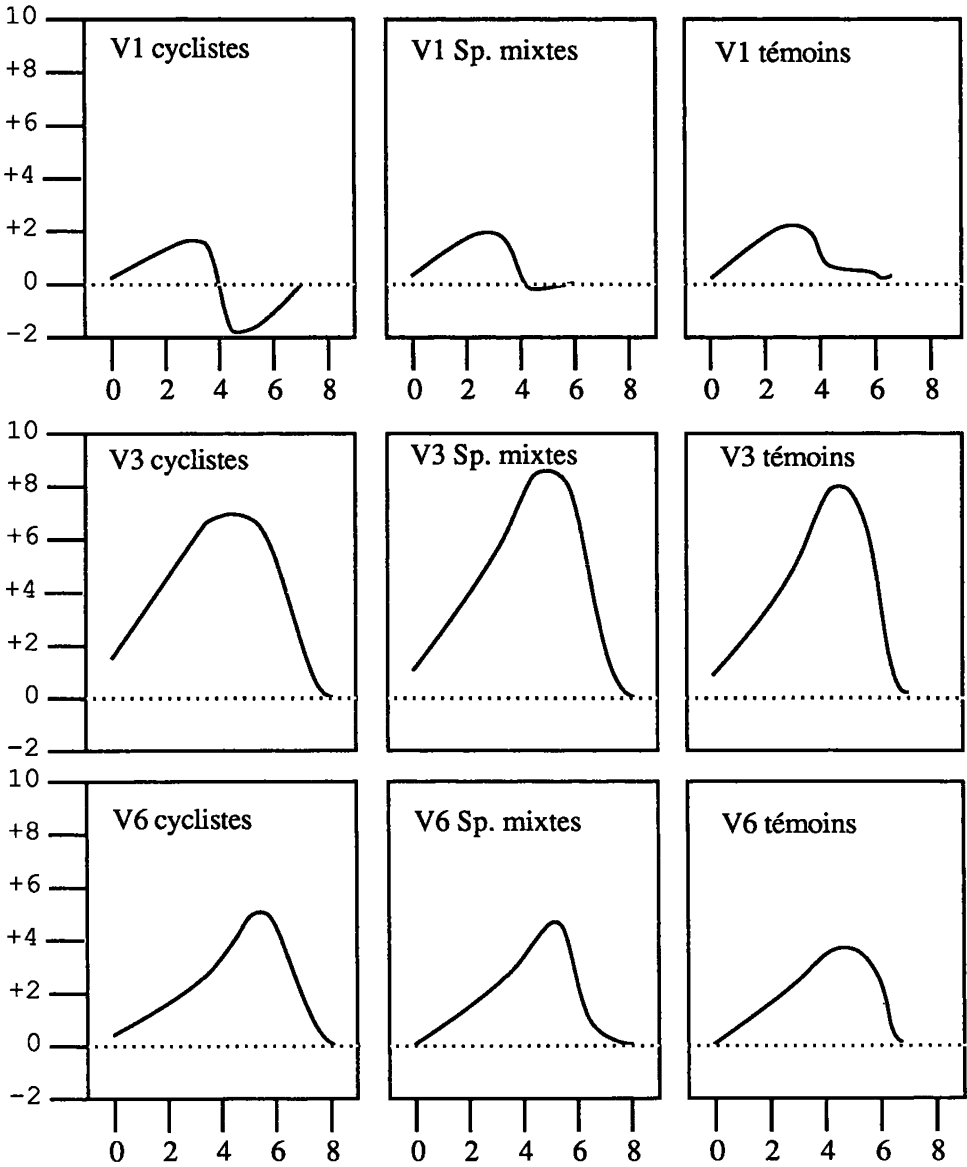
L'étude de l'axe du QRS dans le plan frontal a montré que les sportifs endurants n'ont pas cet axe plus à gauche que le reste des sportifs, contrairement aux marathoniens décrits par BROUSTET (1984). Les sportifs de notre étude ont en moyenne 20 ans et il est possible que les modifications de l'axe du QRS n'apparaissent que plus tard, après un passé sportif suffisant. En outre, on a remarqué que l'axe de l'onde T dans le plan frontal est significativement moins à gauche chez les sédentaires que chez les sportifs (les cyclistes mis à part).

Dans le plan horizontal, on trouve chez les sédentaires que l'axe du QRS fait un angle plus négatif (l'angle QRS $< -20^\circ$ pour 45% des témoins, mais seulement pour environ 22% des sportifs): nous ne pouvons donc exclure l'hypothèse de l'effet de l'entraînement sur une déviation vers l'avant de l'axe du QRS dans ce plan. Dans ce même plan horizontal, l'axe de l'onde T est plus postérieur chez les sportifs que chez les sédentaires: de façon précise, 67.4% des cyclistes et 60% des tennismen ont un T $< 44^\circ$; il faut par contre noter que tous les haltérophiles ont un T $> 44^\circ$.

Ainsi, dans le plan frontal, l'axe de T des athlètes est dévié dans le même sens que l'axe de QRS. Au contraire, dans le plan horizontal, cette déviation s'effectue en sens opposé: de ce fait, l'angle AQRS-AT se referme dans le plan horizontal (59° chez les sportifs contre 78° chez les sédentaires), cette différence étant hautement significative.

En ce qui concerne la repolarisation, les analyses ont révélé un fait marquant: la scission de l'ensemble des sujets en trois grandes catégories: les CYCLISTES qui représetent une population de sujets effectuant des efforts d'endurance, les autres sportifs que nous qualifierons de mixtes (sports collectifs) et enfin les sédentaires (TEMOINS) desquels se rapprochent les sportifs travaillant en résistance comme les HALTÉROPHILES.

De façon précise, (sur les analyses publiées ici, relatives aux dérivations V1, V3 et V6; ainsi que sur celles, non publiées portant sur les autres dérivations), nous avons pu observer une amplitude de l'onde T significativement différente entre les deux populations sur les dérivations V1, V2, et V6; les cyclistes se distinguant par une onde d'amplitude négative sur V1. Quant au point J isoélectrique, il est présent, en général, chez les sportifs sur la dérivation V1; à l'inverse, ce sont les sédentaires qui ont en majorité un point J isoélectrique sur les 4 dernières dérivations précordiales, tandis que les sportifs ont un sus-décalage de J (particulièrement, les cyclistes).



ECG: courbes moyennes entre le point J et la fin de l'onde T

En guise de résumé à toute l'étude de la repolarisation, nous sommes maintenant en mesure de présenter les courbes type de l'ECG correspondant à

chaque dérivation et chaque type d'activité. En effet, dans chacune des 6 dérivations V1 à V6, on obtient, à partir des variables retenues pour l'A.F.C., le schéma des courbes Moyennes retraçant l'ECG entre le point J et la fin de l'onde T. Les courbes ont ensuite été reconstruites en utilisant pour le tracé les fonctions "splines" cubiques.

4 Conclusion générale: interprétation des différences entre les deux populations

Les différences observées entre les divers types d'activité (sédentaires, sportifs,...) peuvent résulter d'une part de différences congénitales ayant conditionné la spécialisation des sportifs (tel est certainement le cas de la bradycardie); et d'autre part, d'adaptations acquises par la pratique et l'entraînement.

L'étude comparative que nous avons effectuée a certes montré quelques différences entre les deux populations: sportive et sédentaire de vingt ans. Cependant, l'électrocardiogramme du sportif de haut niveau de vingt ans ne diffère de celui du sédentaire de même âge que sur un nombre restreint de points.

Chez les sujets sédentaires, il n'existe pas d'arguments en faveur d'une modification du tracé électrocardiographique en dehors de toute pathologie. Il n'en va pas de même des sportifs pour lesquels des variations rapides ont pu être décrites sur la repolarisation entre le début et la fin d'un Tour de France (PLAS 1976) ou sur les axes chez les coureurs d'endurance en fonction du moment de la saison (FOUILLOT 1972).

Il faut cependant noter que la plupart des modifications ont été observées chez des sujets de plus de 25 ans pratiquant des sports intenses et de longue durée (BRANWELL et coll. 1929, BROUSTET et coll. 1984, CHILD 1984). Or, pour les deux tiers des cas, notre population d'athlètes est composée de spécialités diverses à base de force et de vitesse; les endurants (CYCLISTES) ne représentant qu'un tiers des sujets; et tous ont environ 20 ans.

Ces raisons contribuent probablement, pour une part importante, à rendre discrètes les différences observées; dont certaines n'apparaissent significatives que du fait de la précision des mesures électroniques, mais entreraient dans les limites de l'erreur de mesure dans le cadre de la détermination par un opérateur humain.

Au total, si l'on excepte la fréquence cardiaque, un cinquième seulement des sportifs jeunes présentent un tracé électrocardiographique différent des sujets sédentaires du même âge. Il faut par conséquent rester prudent avant d'attribuer à l'entraînement ces modifications électriques chez un sportif. Un bilan cardiologique avec notamment une épreuve d'effort pourra dans certains cas être utile pour lever l'incertitude d'une pathologie sous-jacente éventuelle.

Références bibliographiques

(1) A. Benjelloun Touimi, M. Lévy: Signification du sous-décalage du segment ST à la phase aiguë de l'IdM du territoire inférieur; *Cahiers de l'Analyse des Données*, Vol. XII, n°2, pp. 203-221, 1987.

(2) J.-P. & F. Benzécri: Le codage linéaire par morceaux: réalisation et applications; *Cahiers de l'Analyse des Données*, Vol. XIV, n°2, pp. 203-210, 1989.

(3) Blondeau, M. Hiltgen: *Électrocardiographie clinique*; Masson, 1980.

(4) C. Branwell, M. Ellis: Clinical observations on olympic athletes; *Arbeitsphysiologie*, 2, pp. 51-60, 1929.

(5) R.Brion, J.P. Ollivier, J. Droniou: Mise au point d'une échocardiographie d'effort; *Sciences et Sports* 1: pp. 345-346, 1986.

(6) J.P. Broustet, P. Guern, H. Douard, B. Saliou: Surveillance électrocardiographique des sportifs; Electrocardiogramme et aptitude au sport; *Revue Méd. Suisse Romande*, 104: pp. 807-814, 1984.

(7) J.C. Chignon: Électrocardiographie et vectocardiographie de l'athlète; in Broustet J.P.: *Cardiologie sportive*, Masson 1978.

(8) J.S. Child, R.J. Barnard, R.L. Taw: Cardiac hypertrophy and function in master endurance runners and sprinters; *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercice Physiol.*; 57(1), pp. 176-181, 1984.

(9) F. J. Gallego: Codage flou en Analyse des Correspondances; *Cahiers de l'Analyse des Données*, Vol. VII, n°4, 1982.

(10) J. Hertault: *Comprendre l'E.C.G.*; Tempo Médical, SEDES Éditeur, 2-ème éd., Paris, 1985. Les schémas des régions explorées par les dérivations et celui des éléments de l'électrocardiogramme, qui illustrent le §1.2.2, ont été dessinés d'après cet ouvrage.

(11) Hewlett Packard: *H.P. ECG Analysis Programm: Physician Guide*, 1979.

(12) F. Huet: *Étude descriptive et comparative de l'enregistrement électrocardiographique numérisé réalisé chez les sportifs et les sédentaires de 20 ans*, Service de Santé des Armées, Rapport Interne, 1988.

(13) F. Plas: *Guide de cardiologie du sport*; Publications Besins-Iscovesco, Paris, 1976.

(14) Plas, J. Leclercq: Troubles de la conductibilité et de l'excitabilité cardiaques provoqués par la pratique sportive; *Méd. Educ. Phys. et Sport*, 3-ème Trim.: 133-146, 1961.