

J. P. FOUILLOT

F. TEKAIA

Élaboration d'un langage commun entre médecins et sportifs par l'analyse des données

Les cahiers de l'analyse des données, tome 4, n° 2 (1979),
p. 231-252

http://www.numdam.org/item?id=CAD_1979__4_2_231_0

© Les cahiers de l'analyse des données, Dunod, 1979, 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/>

ÉLABORATION D'UN LANGAGE COMMUN
ENTRE MÉDECINS ET SPORTIFS
PAR L'ANALYSE DES DONNÉES
[ENTRAÎNEMENT ET PERFORMANCE]

par J. P. Fouillot ⁽¹⁾
et F. Tekaia ⁽²⁾

Après avoir défini l'objet de la présente étude § 1 et la forme des données disponibles (§ 2), nous exposons successivement les résultats de quatre analyses (§§ 3, 4, 5 & 6) pour conclure en résumant ce que médecins, physiologistes et entraîneurs ont appris de telles analyses (§ 7).

1 Performance et entraînement

1.1 Complexité de la performance

L'approche de l'homme en mouvement ne répond pas aux mêmes critères que l'approche du malade.

L'objectif commun est de maintenir l'individu en bonne santé, mais il s'y ajoute la notion de performance. Que ce soit celle de l'athlète de haut niveau, ou celle du débutant, la performance constitue toujours le critère de référence, permettant de juger de l'état fonctionnel de l'individu.

A la différence de la maladie dont la physiopathologie a permis de décrire les caractéristiques au niveau de la fonction, de l'organe, du tissu, de la cellule et maintenant au niveau de la structure moléculaire, la performance ne peut être étudiée selon la même approche analytique.

La performance est à l'image de l'extrême complexité de l'être humain, car elle met en jeu une très grande diversité d'éléments liés par des interactions fortes. Il est difficile d'expliquer la performance à partir de lois définies d'après l'expérimentation en biologie. L'approche systémique se prête mieux à une telle recherche des facteurs de la performance. Celle-ci est une sortie observable de l'état fonctionnel de l'athlète, mais elle ne peut pas être interrogée trop fréquemment. C'est pourquoi l'entraîneur, le médecin, le biologiste, le psychologue ont recours à des tests de cet état fonctionnel. Ces tests explorent un aspect fragmentaire de l'état qui permet la réalisation d'une performance, qu'il s'agisse de tests physiques effectués sur le terrain d'entraînement, de tests biologiques ou de tests psychologiques.

En théorie, les tests traduisant l'état fonctionnel de l'athlète pourraient permettre la prévision de la performance à l'instant t . En fait, la performance elle-même est plus facile à réaliser. Mais l'athlète et l'entraîneur attendent surtout une prévision de la performance. Pour cela seule la confrontation des sorties tests et des entrées susceptibles de modifier l'état fonctionnel de l'athlète peut permettre d'y parvenir.

(1) J.P. Fouillot. Laboratoire de physiologie, U.E.R. Cochin-Port Royal

(2) F. Tekaia. Docteur 3° cycle. Laboratoire de Statistique. Université P.&M. Curie avec la participation de E. Jouscelin, A. Duvallet et M. Rieu. Lab. de physiologie UER Cochin-Port Royal. 24, rue du Faubourg Saint-Jacques. 75014 PARIS.

Par l'étude d'un dossier médical informatisé du sportif (dossier MEDSPO), nous avons tenté de recenser les différents facteurs "modulateurs", c'est-à-dire les entrées du système.

Certains appartiennent au passé, ce sont les antécédents médicaux, sportifs, biographiques du sujet. D'autres comprennent les éléments du "vécu" de l'athlète comme l'état clinique, la nutrition, l'hygiène de vie, l'environnement du sujet et surtout *son entraînement*.

Dans cette approche globale de la performance, l'entraînement occupe une place fondamentale puisque c'est le facteur déterminant d'une adaptation de l'organisme à de nouvelles conditions d'exercices.

La variable entraînement doit donc participer à toute analyse dont les objectifs pourraient être pour le physiologiste, la recherche des adaptations biologiques correspondant à l'amélioration de la performance humaine ; pour le médecin, la prévention du risque traumatique ou médical ; pour le sportif et l'entraîneur, la recherche de l'entraînement le mieux adapté à l'obtention de la meilleure performance. La quantification de l'entraînement devenait donc un préalable indispensable à toute étude de l'optimisation de la performance.

1.2 Quantification de l'entraînement de l'athlète

Le terme d'entraînement utilisé initialement dans les milieux hippiques a été introduit en Angleterre au XIX^e siècle dans le vocabulaire sportif. Ce mot recouvre l'ensemble des procédés tendant à amener un être humain au maximum de ses possibilités physiques, il est donc difficile d'en donner une définition précise.

Les moyens utilisés à cette fin se sont diversifiés depuis le début du siècle, où l'athlète prenait le départ d'une course sans aucune forme de préparation particulière. La répétition de la compétition constituait l'entraînement et, jusqu'à la première guerre mondiale, les coureurs pensaient améliorer leurs performances en courant une ou deux fois par semaine sur une distance supérieure à celle de la compétition.

A partir de 1920, les entraîneurs et athlètes scandinaves modifièrent ces conceptions en proposant outre des courses sur longue distance à vitesse modérée, des successions d'exercices courts et rapides alternés avec de longs intervalles de repos, des courses avec alternance d'allure en pleine nature (*fartlek*).

L'entraînement de l'athlète d'aujourd'hui se déroule sur l'ensemble de l'année sauf au cours des vacances où il est parfois interrompu; à moins qu'il ne soit modifié dans sa forme.

L'année d'entraînement est ainsi rythmée par des "périodes d'entraînement" faisant passer l'athlète d'une période "d'entraînement foncier" hivernale à une suite de périodes où l'entraînement se rapproche de plus en plus des conditions et des contraintes de la compétition. Ces périodes sont elles-mêmes divisées en cycles et microcycles d'entraînement à l'intérieur desquels la "séance" constitue en quelque sorte l'unité de base.

La séance d'entraînement ne présente plus le caractère monomorphe d'autrefois et comprend après une phase d'échauffement et d'assouplissement un ou plusieurs exercices de course sur des distances relativement proches, conférant ainsi une certaine homogénéité à la séance d'entraînement.

En fonction de leur durée, de leur intensité, de leurs caractéristiques physiologiques, ces séries d'exercices sont qualifiées de différents termes dont nous donnerons quelques exemples :

- "Vitesse" : courses sur courtes distances (30 à 60 m), à vitesse maximum, répétées 3 à 4 fois par série et séparée par des intervalles de repos, (de 2 mn entre les répétitions, de 5 mn entre les séries).
- "Résistance Volume" : exercice d'intensité moyenne avec court temps de repos (1 mn) et de nombreuses répétitions (ex : 10 x 400 m ; chaque 400 m étant couru en 1 mn 10 sec. environ).
- "Résistance spécifique" : exercices effectués sur une fraction de la distance de compétition, à l'allure de la compétition, avec une durée de repos permettant une "récupération" presque complète (plusieurs minutes) et un petit nombre de répétitions.
- "Endurance" : course de longue durée (1 heure ou plus) à faible vitesse effectuée sur parcours variés
- etc.

Malgré cette simplicité apparente, l'usage de la terminologie utilisée par les entraîneurs pour définir l'entraînement ne se prête pas à une codification, indispensable à toute quantification. En effet, les définitions de l'entraînement sont susceptibles de varier selon les entraîneurs et une même définition pourra correspondre à des exercices relativement différents selon les individus.

La quantification de l'entraînement pourrait être faite par la mesure de la dépense d'énergie consentie ou à partir du travail effectué par l'athlète, ces deux facteurs étant d'ailleurs liés par la notion de rendement.

L'entraînement correspond à une dépense d'énergie dont la mesure serait possible à partir de la consommation d'oxygène puisque l'apport d'énergie sur une longue période de temps dépend des processus métaboliques oxydatifs. Toutefois, ceci n'est pas réalisable car aucune technique fiable ne permet actuellement la mesure de la consommation d'oxygène en continu sur le terrain.

L'énergie mécanique développée par le sujet au cours de son déplacement ne pourrait être connue que par un bilan complexe dont les termes sont inaccessibles à une mesure sur le terrain d'entraînement.

A la recherche d'une information objective permettant de caractériser l'entraînement, nous nous sommes intéressés au carnet où l'athlète en note fidèlement toutes les caractéristiques, en fait la durée de chacune des distances parcourues. En vue de rationaliser le recueil des données, nous avons proposé aux athlètes une fiche d'entraînement permettant l'analyse de celui-ci en termes d'intensité, par la vitesse, de durée moyenne des exercices, de distance totale parcourue.

2 Protocole de recueil de données

2.1 Données recueillies

- Distance totale parcourue (DT)

Ce terme correspond à la distance cumulée des exercices "majeurs" de la séance d'entraînement et ne comprend donc pas la distance parcourue au cours de "l'échauffement", des phases dites de "récupération" entre les exercices, et de la phase de récupération active terminale.

- Durée de l'exercice (IT)
- Intensité de l'exercice

Il s'agit en fait de la vitesse moyenne au cours de l'exercice (V) que celui-ci soit fractionné ou non.

Elle est calculée dans le cas d'un exercice non fractionné à partir du temps mis pour parcourir cette distance, dans le cas d'un exercice fractionné à partir de la durée moyenne d'un exercice caractéristique de la série.

- Variation d'intensité (VI)

L'intensité des exercices est cependant susceptible de varier au cours de la séance soit en raison de la fatigue, soit en raison d'une variation de la distance parcourue. Nous avons donc cherché à caractériser ce facteur afin d'en tenir éventuellement compte lors de l'analyse des données. Ces variations sont codées de la façon suivante : intensité croissante (1), constante (2), décroissante (3), pyramidale (4), pyramidale inverse (5), irrégulière (6).

- Durée moyenne de l'intervalle de temps de repos ou récupération (DR). Lorsque l'exercice est fractionné, cette phase permet ou non le retour à l'état basal de la consommation d'oxygène et de la lactatémie et contribue ainsi à déterminer les caractéristiques métaboliques des entraînements.

- Durée de l'échauffement (DE)

Cet exercice entraîne une élévation des températures centrales et musculaires, une augmentation des débits locaux et permet de prévenir en partie la survenue d'accidents musculaires.

- Durée de récupération active (DRA)

Cette forme d'exercice facilite la métabolisation de l'acide lactique après un exercice intense et permet une normalisation plus rapide du taux d'acide lactique.

- Fatigue musculaire et générale (FM et FG) perçues par l'athlète à la fin de l'entraînement. Celle-ci est évaluée et notée de 1 (absence de fatigue) à 5 (fatigue intense).

- Survenue d'accident (AC) ou de blessure au cours de l'exercice.

- Notion d'entraînement particulier (AE)

Une réponse positive à cette question caractérise les entraînements dont l'évaluation est rendue difficile soit en raison de leur hétérogénéité soit parce qu'ils sont précédés ou suivis d'une activité physique elle-même difficile à évaluer telle que le foot-ball.

2.2 Population étudiée

Le recueil des données a porté sur deux populations :

. une population de sprinteurs composée de 16 athlètes de l'équipe de France, spécialisés sur la distance de 400 m. Ce recueil s'est déroulé au cours de deux stages nationaux de deux semaines, effectués au mois de mars 1975 et mars 1976 ;

. une population de 12 athlètes spécialisés sur la distance de 800 et 1500 m sauf un seul, spécialisé sur la distance de 400 m. Ces sujets effectuaient leur service national à l'école interarmées de sports au sein du bataillon de Joinville. Les séances d'entraînement ont été recueillies du mois de février au mois de juillet 1976.

2.3 Traitement des données

2.3.1 Considérations pratiques de programmation

Les calculs concernant ce travail ont été effectués au laboratoire de physiologie du CHU Cochin-Port Royal sur un ordinateur PDP8 Lab E dont la mémoire centrale ne dépasse pas 24 K-octets de 12 bits. Les contraintes de la mémoire centrale et du système de cet ordinateur nous ont obligé à faire une version du programme d'analyse factorielle de correspondances BENTAB adaptée au PDP8. Comme tous les tableaux traités sont disjonctifs complets, nous avons introduit dans la nouvelle version une instruction permettant de disposer des résultats relatifs au tableau de Burt (correspondant au tableau disjonctif complet) en particulier concernant les valeurs propres ($\Lambda_\alpha = \lambda_\alpha^2$ où λ_α est la valeur propre relative au tableau disjonctif complet) et les pourcentages d'inertie ($T_\alpha = \Lambda_\alpha / \Sigma \Lambda_\alpha$). On sait (cf [Bin. Mult.] note 2, in Cahiers, Vol II, n° 1 p. 59 ; 1977), qu'à un coefficient près l'analyse du tableau de Burt (ou tableau $J \times J$, de cooccurrence des modalités) donne les mêmes facteurs que celle du tableau disjonctif complet (tableau logique $I \times J$, en 0,1).

Quant à l'inertie, ce sont les taux T_α calculés sur les valeurs propres $\Lambda_\alpha = \lambda_\alpha^2$, issues du tableau de Burt qui doivent seuls être considérés car ils correspondent à un tableau de contingence proprement dit (cf [3in. Mult.]). Par le fait même, on obtient des pourcentages plus élevés pour les premiers facteurs : $T_1 = \Lambda_1 / \Sigma \Lambda_\alpha$ supérieur à $\tau_1 = \lambda_1^2 / \Sigma \lambda_\alpha^2$. Un programme CODD de codage disjonctif complet (d'utilisation très facile) permet par lecture ligne par ligne de transformer le tableau des données brutes en un tableau disjonctif complet et d'avoir les effectifs correspondant aux différentes modalités des variables.

2.3.2 Différentes analyses effectuées

Dans tous les tableaux à analyser, l'ensemble des individus I est constitué des séances d'entraînement et J est l'ensemble des modalités des variables citées plus haut.

Nous avons effectué plusieurs analyses mais nous présentons ici que celles qui en plus de leurs intérêts descriptifs présentent des intérêts pratiques pour les spécialistes.

1° analyse : [ENTRAÎNEMENT GLOBAL]. C'est une analyse globale qui nous a permis de dégager les différentes formes d'entraînement.

2° analyse : [400 m]. C'est l'analyse du tableau représentant les entraînements de sujets spécialisés en 400 mètres. Comme les données ont été recueillies pendant deux stages différents, cette analyse nous a permis de comparer deux formes d'entraînement.

3° analyse : [VO2]. La connaissance de la consommation d'oxygène maximale (VO2 max) de certains coureurs de 400 m nous a permis de faire une analyse où on tient compte à la fois de cette variable biologique et des variables du terrain. Cette analyse a montré le rapport existant entre la VO2 max et la programmation de l'entraînement.

4° analyse : [PERFORMANCE]. Elle concerne les entraînements des coureurs de 800 et 1500 m. On a introduit leur performance sur 800 m. Cette analyse nous a permis d'illustrer la complexité des relations entre entraînement et performance.

3 L'analyse : ENTRAÎNEMENT GLOBAL

3.1 Le tableau des données

L'ensemble des individus du tableau des données à analyser concerne 444 séances d'entraînement, alors que l'ensemble des variables est formé de : la durée des exercices (IT) qu'on a divisé en 5 modalités. Chaque modalité de durée correspond à un type d'exercice bien déterminé. Pour cette analyse, on a considéré le même nombre de séances (89) pour chaque type d'exercice.

La distance totale est divisée en 4 modalités (DT). La vitesse (V) est divisée en 8 modalités. La durée moyenne de récupération (DR) est divisée en 4 modalités. Le choix des bornes de modalités de ces variables est guidé par l'expérience du spécialiste et par le souci d'avoir des effectifs équivalents dans les différentes classes.

Les autres variables considérées sont : la variation d'intensité (VI) qui se trouve dans le questionnaire, subdivisée en 6 modalités. La durée de récupération (DR) entre les exercices est divisée en 4 modalités. La durée de récupération active divisée en 3 modalités. La fatigue générale (FG) divisée en 5 modalités : 1, 2, 3, 4 et 5, qui correspondent aux notes de fatigue considérées dans le questionnaire. La notion d'accident survenant pendant l'entraînement ou le perturbant.

Bornes des modalités et effectif des classes

On lit sur le tableau ci-dessous que la modalité V4 de la variable V correspond à une vitesse comprise entre 6.2 m/s et 6.8 m/s etc. De plus on a noté entre accolades l'effectif de chaque classe : ex. Pour 48 des séances considérées ici, la vitesse V entrain dans la modalité V4.

distance totale DT :	900m		2000m		5000m				
	DT1:{106}	DT2:{114}	DT3:{114}	DT4:{110}					
vitesse V :	3.9m/s	5.2m/s	6.2m/s	6.8m/s	7.6m/s	8.2m/s	8.6m/s		
	V1:{38}	V2:{37}	V3:{74}	V4:{48}	V5:{67}	V6:{54}	V7:{59}	V8:{60}	
durée de récupération DR:	0.s		120.s		240.s				
	DR1:{116}	DR2:{123}	DR3:{103}	DR4:{102}					
durée de l'exercice IT :	15.s		35.s		120.s		240.s		
	IT1:{89}	IT2:{89}	IT3:{89}	IT4:{88}	IT5:{89}				
durée de récupération active DRA :	0.mn		10.mn						
	DRA1:{175}	DRA2:{194}	DRA3:{75}						
fatigue générale notée de 1 à 5 FG :	1		2		3		4	5	
	FG1:{153}	FG2:{111}	FG3:{106}	FG4:{42}	FG5:{32}				
variation de l'intensité de l'exercice VI:	1		2		3		4	5	6
	VI1:{55}	VI2:{309}	VI3:{14}	VI4:{13}	VI5:{21}	VI6:{32}			
accident AC :	non		oui						
	AC1:{421}	AC2:{23}							
autre entraînement AE :	non		oui						
	AE1:{341}	AE2:{103}							

Le tableau analysé croise 444 séances d'entraînement avec 39 modalités de variables dont les subdivisions sont détaillées sur le tableau ci-dessus. La case $k(i,j)$ de ce tableau est définie comme suit :

- $k(i,j) = 1$ si la séance i se trouve dans la modalité j
- $k(i,j) = 0$ sinon

3.2 Résultats de l'analyse et interprétation

Pourcentage d'inertie correspondant aux cinq premiers facteurs du tableau de Burt correspondant au tableau disjonctif complet

	F1	F2	F3	F4	F5
valeur propre	0.1868	0.103	0.048	0.0299	0.0276
taux corr.	30.78	16.96	7.92	4.9316	4.54

Le plan factoriel (F1, F2) explique 47.74% de l'inertie totale du nuage.

L'examen du tableau des contributions nous montre que le premier axe factoriel oppose (IT5, V1, V2, DR1, DT4) à (IT2, IT3, DT2, DR4). Quant au deuxième axe factoriel, il oppose (IT1, V7, V8, DR2, DT1) à (IT4, V3, DT3, DR3).

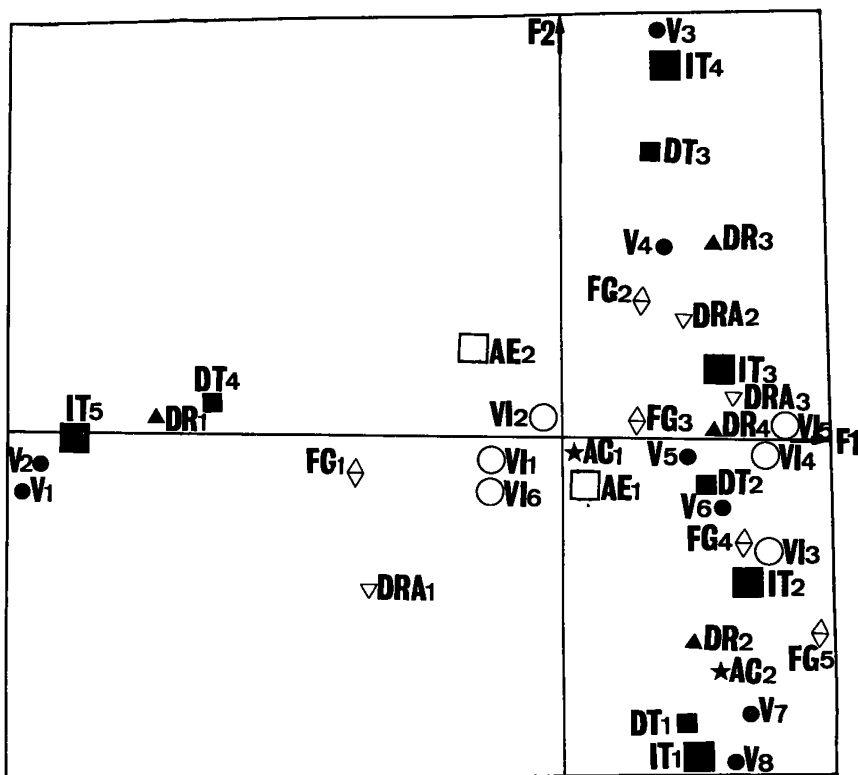


Figure 1 : [ENTRAÎNEMENT GLOBAL] plan factoriel 1 x 2 ($\tau = 47.7\%$).
Analyse factorielle de l'ensemble des types d'entraînement

Sur la figure 1, nous pouvons distinguer quatre groupes de modalités, définissant chacun un groupe d'entraînement :

Groupe IT5 = {IT5,DR1,DT4,V1,V2}

Ce groupe correspond à des exercices de course continue, d'une durée supérieure à 4 minutes, sur une distance de 5000 à 10000 m, parfois plus, à une vitesse très lente. Le temps de récupération est nul, de même que celui de la récupération active (DRA1). La note de la fatigue générale est la plus faible (FG1). Il s'agit d'entraînements de footing effectués de façon régulière par les coureurs de demi-fond et de temps à autre par les sprinteurs.

Groupe IT4 = {IT4,V3,DT3,V4,DR3}

Il correspond à des exercices fractionnés sur longue distance (800 à 1000 m) à vitesse peu élevée, d'une durée de 2 à 4 mn. L'exemple type est constitué par une série de 3 parcours de 1000 m courus chacun en 2 mn 56 s avec intervalles de 3 mn 30 s de récupération entre parcours successifs. Ces exercices sont effectués uniquement par les coureurs de demi-fond, et sont toujours suivis d'une récupération active de 10 mn en fin de séance (DRA2) et sont notés comme peu fatigants (FG2).

Groupe IT1 = {IT1,V8,V7,DT1,DR2}

Il correspond à des exercices de courte durée (moins de 15 s) à vitesse élevée, la distance totale parcourue étant la plus faible (moins de 100 m). Le temps de récupération est relativement faible (inférieur à 2 mn). L'évaluation de la fatigue est maximale (FG5). Ces entraînements sont effectués uniquement par les sprinteurs sur de courtes distances (de 60 à 100 m) courues à vitesse élevée (V7,V8) (vitesse supérieure à 8.2 m/s).

Le quatrième groupe est constitué par les exercices de type IT2 et IT3. {IT3,V5,DRA3,DR4}.

Les entraînements correspondants à IT3 sont des exercices fractionnés sur 200 et 300 m. Les coureurs de demi-fond effectuent un grand nombre de répétitions par exemple 20 fois 100 m, séparées de temps de récupération de 4 mn entre deux 100 m successifs. Les sprinteurs font moins de répétitions, 8 fois 300 m en 40 s mais le temps de repos entre les exercices est allongé à 10 mn. Les entraînements correspondants à IT2 {IT2,.....} sont surtout le fait de sprinteurs sur 100 et 200 m à vitesse relativement élevée (8 fois 200 m en 23 s 9/10^e, la récupération variant de 2 à 4 mn).

Ces entraînements correspondent à une évaluation de la fatigue FG3, FG4.

La représentation spatiale dans l'espace factoriel de dimension 3, nous montre clairement quatre groupes distincts : IT1,IT4,IT5 et (IT2 , IT3). Il est difficile de considérer que IT2 et IT3 forment des groupes distincts.

Nous remarquons d'autre part que la plupart des séances sont effectuées à intensité constante. Néanmoins on peut remarquer que les entraînements de type IT2 correspondent à une intensité décroissante, et que les entraînements de type IT3 correspondent à une variation d'intensité "pyramidale" (i.e. intensité croissante, puis décroissante).

Il est instructif de suivre dans le plan des axes 1 x 2 (figure 1) les modalités des variables IT (durée d'exercice) ; DT (distance totale) et V (vitesse). IT et DT varient dans le même sens : les modalités faibles ou moyennes (de DT1 à DT3 ; de IT1 à IT4) se succèdent sur une parallèle à l'axe 2 du côté F1 > 0, tandis que les modalités les plus fortes

sont à l'extrémité négative de l'axe 1 ; pour V, on a un parcours semblable à ceci près que, comme il est naturel, l'ordre des modalités est inverse : une forte vitesse allant avec une faible distance.

Si l'on se rapporte aux données de la littérature, la dépense d'énergie au cours des entraînements correspondant à IT5 est caractérisée par une puissance sous-maximale et une prédominance aérobie.

Si la vitesse augmente, la consommation d'oxygène s'élève jusqu'à sa valeur maxima qu'elle atteint en 2 à 3 mn. Le supplément de dépense d'énergie éventuellement nécessaire est assuré par les processus anaérobies. Un exercice de durée inférieure à 3 mn entraîne une dépense d'énergie dont la fraction anaérobie s'accroît d'autant plus que l'intensité de l'exercice augmente. Les caractéristiques métaboliques des entraînements de type IT4, IT3, IT2, IT1 semblent donc présenter une dépense d'énergie anaérobie croissant de IT4 à IT1. Lorsque la durée de l'exercice diminue de 2 mn à quelques secondes, les caractéristiques métaboliques se modifient, la participation anaérobie lactique diminuant au profit de la participation anaérobie alactique. On peut donc penser que la participation anaérobie est croissante de IT4 à IT1.

Le premier axe oppose les séances de type IT5 à celles de type IT2 et IT3, les séances de type IT5 étant connues pour être à prédominance aérobie, les séances de type IT2, IT3 à prédominance anaérobie, cet axe refléterait cette opposition aérobie, anaérobie. Le deuxième axe oppose IT4 à IT1. Les séances de type IT4 sont considérées comme présentant une participation anaérobie lactique importante, celles de type IT1 une participation anaérobie alactique majeure. Cet axe refléterait donc cette opposition entre les processus énergétiques anaérobie lactique et alactique.

Le troisième axe oppose surtout IT4 à IT3, le quatrième axe IT4 à IT2, mais ceci est plus difficile à interpréter d'après les résultats biologiques relevés dans la littérature sur un exercice de ce type unique ou répété.

Au cours des entraînements de type IT4, la consommation d'oxygène maximum est généralement atteinte mais la participation anaérobie est importante, la dépense d'énergie d'origine lactique étant nettement supérieure à la dépense d'énergie d'origine alactique.

La participation anaérobie est en fait difficile à préciser car la répétition des exercices conduit par exemple à un taux d'acide lactique différent de celui obtenu après un exercice unique, et les données de la littérature concernant un entraînement complet de ce type sont assez rares. Ces différentes interprétations métaboliques ont été confirmées par une deuxième analyse de données concernant les caractéristiques des séances d'entraînement correspondant à la typologie indiquée ci-dessus et où nous avons considéré les taux des lactates une minute après la fin de l'entraînement.

Dans cette première analyse, nous avons pu constater :

- le groupement des caractéristiques des entraînements en ensembles correspondant aux grandes catégories d'entraînement bien connues des entraîneurs et des athlètes. Ceci constitue donc un moyen de communication permettant la confrontation des séances d'entraînement dans le temps et entre les sujets ;

- la disposition de ces groupements selon une courbe de puissance croissante de IT5 à IT1.

Les axes 1 et 2 particulièrement, différencient des entraînements selon la puissance énergétique et la participation des métabolismes aérobie, anaérobie lactique, anaérobie alactique.

4 L'analyse [400 mètres]4.1 Tableau des données

Le tableau analysé concerne 189 séances d'entraînement des coureurs de 400 mètres dont 5 séances d'entraînement de coureurs allemands mis en éléments supplémentaires.

Les 184 séances d'entraînement concernent 16 sportifs. Ces séances ont été effectuées pendant deux stages d'entraînement, le premier effectué à Pâques 1975, le second à Pâques 1976.

Les 5 séances d'entraînement qu'on a mis en éléments supplémentaires sont les entraînements des coureurs de 400 m allemands pour lesquels on connaissait les taux de lactates à la fin de la compétition ou de l'entraînement.

L'ensemble J est constitué par les modalités des 5 variables quantitatives DT, V, DR, IT, DRA, des variables qualitatives FG et VI, ainsi qu'aux réponses des deux questions AC et AE : le détail des variables et de leurs modalités est expliqué sur le tableau ci-dessous : on lit e.g. que la modalité IT2 de la variable IT (durée de l'exercice) correspond à une durée d'exercice comprise entre 15 et 35 secondes, etc. On obtient ainsi un tableau disjonctif complet 189×32 .

Bornes des modalités et effectif des classes

distance totale DT :	$\frac{400m \quad 800m \quad 1200m}{DT1:\{23\} DT2:\{54\} DT3:\{61\} DT4:\{46\}}$
vitesse V :	$\frac{7.5ms^{-1} \quad 8.3ms^{-1} \quad 8.5ms^{-1} \quad 8.8ms^{-1}}{V1:\{38\} V2:\{34\} V3:\{33\} V4:\{39\} V5:\{40\}}$
durée de récupération DR :	$\frac{90.s \quad 120.s \quad 300.s}{DR1:\{37\} DR2:\{40\} DR3:\{55\} DR4:\{52\}}$
durée de l'exercice IT :	$\frac{15.s \quad 35.s}{IT1:\{75\} IT2:\{57\} IT3:\{52\}}$
durée de récupération active DRA :	$\frac{0.mn}{DRA1:\{87\} DRA2:\{97\}}$
fatigue générale (notée de 1 à 5) FG :	$\frac{1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5}{FG1:\{36\} FG2:\{33\} FG3:\{50\} FG4:\{35\} FG5:\{30\}}$
variation de l'intensité de l'exercice VI :	$\frac{1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5}{VI1:\{22\} VI2:\{134\} VI3:\{10\} VI4:\{3\} VI5:\{15\}}$
accident AC :	$\frac{\text{non} \quad \text{oui}}{AC1:\{161\} AC2:\{23\}}$
autre entraînement AE :	$\frac{\text{non} \quad \text{oui}}{AE1:\{148\} AE2:\{36\}}$

Sur le graphique (fig. 2) apparaissent les différentes modalités ci-dessus ainsi que les points représentant les séances d'entraînement par un même symbole clair ou noir pour chaque journée des stages 1976 et 1975.

Ainsi par exemple le signe Δ représente une séance d'entraînement de la deuxième journée du stage de 1976 et le symbole \blacktriangle une séance d'entraînement de la deuxième journée du stage de 1975. Nous avons entouré par un trait discontinu les séances de 1976 relatives à une même journée et avons désigné leur centre de gravité par le sigle Jr ou r désigne le rang de la journée d'entraînement dans le stage.

Les points J1, J2, ..., J9 représentent donc des profils moyens des séances effectuées respectivement la 1^o, 2^o, ... et la 9^o journée du stage de 1976. Les points 1, 2, 3, 4 et 5 représentent les séances mises en éléments supplémentaires dont l'intérêt sera expliqué dans l'interprétation § 4.2.4.

4.2 Résultats d'analyse et interprétation

Voici les valeurs propres et pourcentages d'inertie relatifs aux 5 premiers facteurs issus du tableau de Burt

	F1	F2	F3	F4	F5
valeur propre	0.0986	0.0605	0.04386	0.030656	0.029
pourcentage	19.72	12.11	8.77	6.13	5.8

Dans l'interprétation, nous considérons en détail les axes 1 et 2 et le plan 1 x 2. Nous traiterons brièvement de l'axe 3 au § 4.2.5.

4.2.1 Le premier axe factoriel : D'après le tableau des contributions, cet axe semble opposer les séances d'entraînement de durées inférieures à 15 secondes (IT1) à celles dont les durées sont supérieures à 35 secondes (IT3). Les séances IT1 sont caractérisées par DT1 ($DT \leq 400$ m), V4 ($8.4 \text{ m/s} < V \leq 8.8 \text{ m/s}$), DR1 ($DR \leq 90$ s) et DR1A ($DR = 0$). Les séances IT3 étant caractérisées par DT4 ($DT > 1200$ m), V1 ($V \leq 7.5 \text{ m/s}$) et DR4 ($DR > 300$ s).

Le premier axe oppose deux sortes d'exercices au cours desquels le coureur fournit une dépense d'énergie élevée mais dans l'un (IT3) pendant plus de 30 secondes sur une assez longue distance (de 300 à 500 m) donc à une vitesse modérée (de l'ordre de 7.5 m/s), alors que dans l'autre (IT1) la durée est plus courte (moins de 15 s.) sur une distance de 100 m et moins, mais à grande vitesse (de l'ordre de 8.8 m/s).

Ce dernier groupe de séances représente surtout les entraînements relatifs au stage de 1975 pendant lequel les sportifs ont mis davantage l'accent sur leurs "points forts" c'est-à-dire la vitesse.

L'autre groupe (IT3) représente surtout la deuxième journée du stage de 1976. Il s'agissait de faire une série d'exercices de 300 m (8 x 300 m) à une vitesse de l'ordre de 7.5 m/s).

4.2.2 Le deuxième axe factoriel : Cet axe semble opposer les exercices de type IT1 ($IT \leq 15$ s) à ceux du type IT2 ($15 \text{ s} < IT \leq 35$ s). Le groupe IT2 semble être caractérisé par V3 ($8.3 < V \leq 8.5 \text{ m/s}$), la distance totale DT2 ($400 \text{ m} < DT \leq 800$ m) et DR3 ($1200 < DR \leq 300$ s).

La plupart de ces séances sont constituées par des séries de 150, de 200 ou de 300 mètres.

Remarquons que les séances de type IT2 et IT3 sont considérées comme fatigantes par les coureurs (FG3) et même très fatigantes (FG4 et FG5), mais ceci est peut-être dû au fait que ces exercices sont effectués vers la fin du stage (J6, J7, J8 et J9, qui correspondent respectivement aux 6^o, 7^o, 8^o et 9^o journées d'entraînement).

Remarquons enfin que pour ces deux types d'exercice, l'intensité reste égale (VI2) ou décroît (VI3).

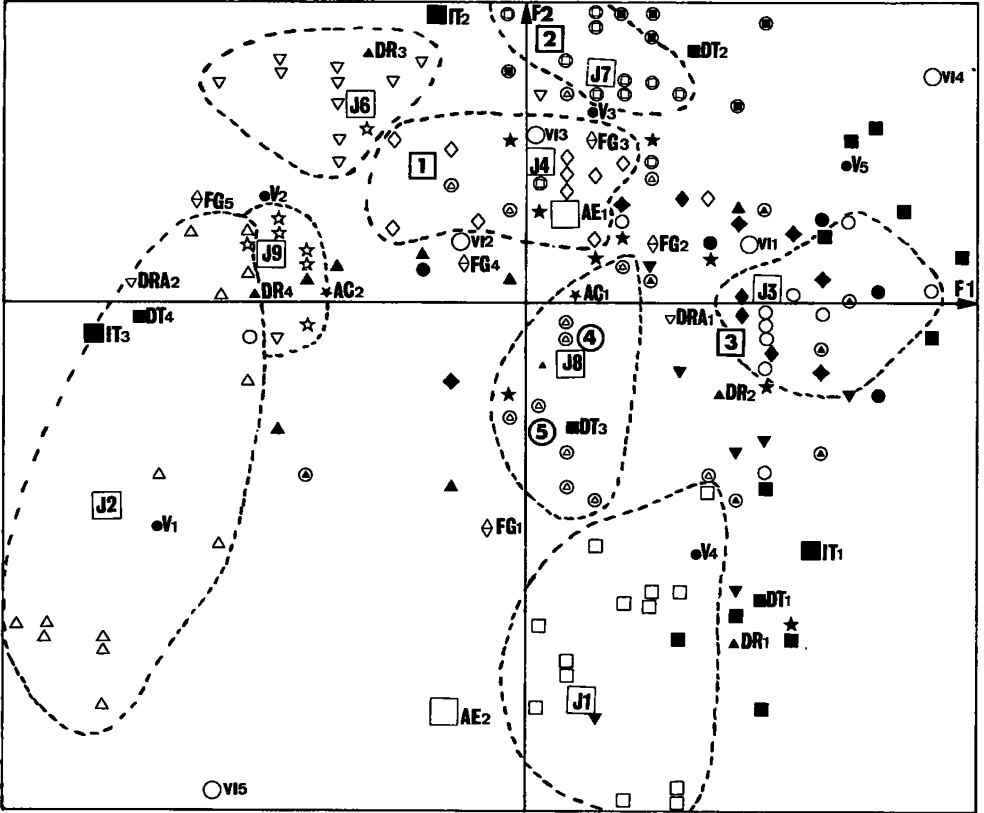


Figure 2 : 400 m plan factoriel 1×2 $\tau_{1 \times 2} = 31.8\%$

Analyse factorielle de l'ensemble des séances d'entraînement des coureurs de 400 m au cours des stages nationaux de mars 1975 et mars 1976

J_r : représente le centre de gravité des séances de la r -ème journée du stage de 1976.

Le deuxième axe pourrait être un axe de forme physique dans la mesure où il oppose les séances d'entraînement des premiers jours des stages (J1 pour 1975 et J1 pour 1976) avec FG1 aux séances d'entraînement des derniers jours (J6, J7 et J8 pour 1976) avec FG4 et FG5. Mais il faut remarquer que le deuxième stage était dirigé et ne permet pas de rendre compte de la "forme physique" et cela traduit plutôt la volonté de l'entraîneur de provoquer une perturbation de plus en plus importante de l'organisme et ainsi de déclencher les réactions d'adaptation propres à l'entraînement.

4.2.3 Le plan factoriel (F1, F2) : Ce plan représente 31.8% de l'inertie totale du nuage. Une vue globale sur le premier plan factoriel (fig 2) nous fait dégager la structure des entraînements.

D'abord les deux stages apparaissent nettement différenciés l'un par rapport à l'autre. D'autre part, à l'intérieur de chaque stage apparaît une différence de structure.

En effet, les séances du stage de 1975 (points noirs) apparaissent peu structurées et désordonnées sauf pour quelques journées d'entraînement en particulier pour la 1^o et la 7^o journées.

L'éparpillement des journées d'entraînement du stage de 1975 s'explique par le fait que ce stage n'a pas été planifié par l'entraîneur qui en laissait le soin à chaque sportif.

Nous avons déjà remarqué que la plupart des séances de ce stage se trouve du côté de IT1 et IT2, c'est-à-dire du côté des vitesses relativement élevées. Les coureurs semblent avoir fait, durant ce stage, uniquement du travail de vitesse.

Par contre, les séances d'entraînement du stage 1976 apparaissent bien structurées. Les journées d'entraînement apparaissent bien groupées et bien distinctes les unes par rapport aux autres.

Ce stage, contrairement à l'autre, a été programmé et dirigé par l'entraîneur.

4.2.4 Etude du deuxième stage

1^o journée : notée J1. Ce sont des séances de 10 x 100 m, des séances de "mise en action". Il s'agit de prendre un départ très rapide et d'atteindre le plus vite possible la vitesse maximum.

2^o journée : notée J2. L'entraînement y est qualifié de "résistance volume" et consiste à répéter les exercices sans essayer d'atteindre la vitesse maximum sur la distance. Ce sont des séances de 8 x 300 m. Au cours de ces exercices répétés, la consommation d'oxygène peut être atteinte.

3^o journée : notée J3. Elle correspond à un entraînement dit de vitesse pure, constitué de courses de 100 mètres très rapides. Il s'agit pour les coureurs de 400 m, d'aller très vite sur de courtes distances. La dépense d'énergie correspondant à ce genre d'exercice est à prédominance anaérobie alactique au début, mais avec les répétitions des exercices, elle devient à prédominance lactique.

4^o journée : notée J4. C'est aussi une séance dite de vitesse mais sur une plus longue distance de 200 à 300 mètres.

La 5^o journée est une journée de repos.

6^o et 7^o journées : notées J6 et J7. Ce sont des entraînements dits de "résistance vitesse", pour les séances J6 courues sur la distance de 200 m et pour celles en J7 courues plutôt sur 150 m.

8^o journée : notée J8. Elle est relativement peu homogène. On remarque que des séances se rapprochent de la 1^o journée et de la 3^o journée, d'autres se rapprochent plutôt de la 4^o journée. Un retour au tableau des données montre qu'il y a effectivement des séances très différentes sur 30, 100 et 150 mètres.

9^o journée : notée J9. C'est une journée de séances tests, c'est-à-dire que chaque coureur fait une série de 3 à 4 fois 400 m à vitesse de compétition.

Pour le stage de 1975, seules les séances de la 1^o et de la 7^o journées apparaissent bien groupées, bien que la 1^o journée soit divisée en deux sous-groupes : il s'agit des mêmes individus qui ont fait deux entraînements dans la journée.

Une partie de ces séances se groupe avec la 1^o journée du stage 1976. Les séances de la 7^o journée du stage 1975 apparaissent bien groupées et se trouvent aussi avec la 7^o journée du stage 1976. Les séances placées en éléments supplémentaires sont marquées par un chiffre entouré de 1 à 5.

Les points 4 et 5 correspondent à des courses sur 400 m de compétition avec des temps respectifs de 45 s 1/10^o et 45 s 5/10^o. Les lactatémies sont très élevées, respectivement à 24.4 m Mol/l et 24.9 m Mol/l. La position des points 1, 2, 3 correspond non à des compétitions mais à des entraînements.

1 : 500 m en 1 mn 05 s 6/10^o suivi d'un 300 m en 34 s 9/10^o séparés d'un temps de repos de 24 mn.

2 : 4 fois 200 m en 24 s 2/10^o au 200 m, séparés de temps de récupération de 2 à 3 mn.

3 : 10 fois 100 m en 11 s 8/10^o au 100 m, séparés de temps de récupération de 1 mn 20 s.

Ces séances correspondent beaucoup mieux aux séances d'entraînement des coureurs de 400 m sur lesquelles elles se projettent.

Il apparaît ainsi que les séances de type IT1 ont vraisemblablement des taux de lactate moins élevés (lactatémie de la séance 3 : 61.5 m Mol/l) que les séances de type IT2 (lactatémie de la séance 1 : 20.2 m Mol/l, de la séance 2 : 20.1 m Mol/l).

La dépense d'énergie des séances de type IT2 serait donc à prédominance anaérobie lactique plus forte que les séances de type IT1.

4.2.5 Le plan factoriel (F1,F3) : Ce plan explique 28.5% de l'inertie totale du nuage. Le troisième axe factoriel semble opposer les séances les plus fatigantes, correspondant aux derniers jours des deux stages, aux séances les moins fatigantes. Mais l'intérêt majeur de cet axe est qu'il dégage nettement deux groupes d'entraînement du stage de 1975. Il s'agit des séances de la 9^o et de la 2^o journée. En plus, la 9^o journée du stage 1975 apparaît proche de la 9^o journée du stage 1976.

Les entraînements de la 2^o journée sont effectués sur 400 mètres alors que ceux de la 9^o journée sont faits souvent sur 200 mètres.

Donc, en plus des groupes d'entraînements dégagés par le plan factoriel (F1,F2), le plan factoriel (F1,F3) nous fait apparaître les groupes qu'on vient de voir correspondant à la 2^o et à la 9^o journée du stage 1975.

5 Entraînement et consommation d'oxygène : analyse [VO2]

5.1 Le tableau des données

Le tableau des données considéré pour cette analyse ne concerne que les coureurs de 400 m dont on possède le volume de la consommation d'oxygène maximum (VO2 max). La consommation d'oxygène maximale a été mesurée par méthode directe, en circuit ouvert, sur tapis roulant, au laboratoire de physiologie de l'UER Cochin-Port Royal.

L'ensemble I des individus est constitué de 98 séances d'entraînement.

L'ensemble J est constitué par les modalités des 6 variables quantitatives DT, V, DR, IT, DRA, VO2 ; de 3 variables qualitatives FG, FM et VI avec les réponses à deux questions AC et AE. Le détail des variables et de leurs modalités est expliqué sur le tableau ci-dessous.

Par rapport à l'analyse du § 4, on notera l'apparition d'une nouvelle variable qualitative FM (fatigue musculaire), et surtout de la variable quantitative VO2 : consommation d'oxygène maximale (exprimée en ml/mn/kg) qui est l'objet principal de l'analyse.

On a considéré ainsi 42 modalités des différentes variables ; d'où un tableau disjonctif complet de dimension (98 x 42).

Bornes des modalités et effectifs des classes

distance totale DT :	600m		1000m		1200m	
	DT1:{32}	DT2:{32}	DT3:{12}	DT4:{17}		
vitesse V :	7.5m/s		8.3m/s		8.5m/s	
	V1:{13}	V2:{15}	V3:{22}	V4:{23}	V5:{25}	
durée de l'exercice IT :	15s		30s			
	IT1:{48}	IT2:{24}	IT3:{26}			
durée de récupération DR :	90s		120s		300s	
	DR1:{16}	DR2:{25}	DR3:{26}	DR4:{31}		
durée de récupération active : DRA :	nulle 0mn		5mn			
	DRA1:{54}	DRA2:{24}	DRA3:{20}			
volume de consommation d'oxygène maximale VO2 :	52 ml/mn/kg		55 ml/mn/kg		60 ml/mn/kg	
	VO1:{ 8 }	VO2:{53}	VO3:{25}	VO4:{12}		
fatigue générale notée de 1 à 5	1		2		3	
	FG1:{15}	FG2:{19}	FG3:{26}	FG4:{20}	FG5:{18}	
fatigue musculaire notée de 1 à 5	1		2		3	
	FM1:{ 4 }	FM2:{19}	FM3:{30}	FM4:{22}	FM5:{23}	
accident	non		oui			
	AC1:{81}	AC2:{17}				
autre entraînement	non		oui			
	AE1:{76}	AE2:{22}				
variation de l'intensité de l'exercice VI :	1		2		3	
	VI1:{10}	VI2:{71}	VI3:{ 5 }	VI4:{ 3 }	VI5:{ 9 }	

5.2 Résultats d'analyse et interprétation

Les valeurs propres et pourcentages d'inertie afférents aux cinq premiers facteurs issus du tableau de Burt sont donnés ci-dessous :

	F1	F2	F3	F4	F5
valeur propre	0.116679	0.058	0.0389	0.037	0.0332
pourcentage	18.87	9.39	6.30	6	5.4

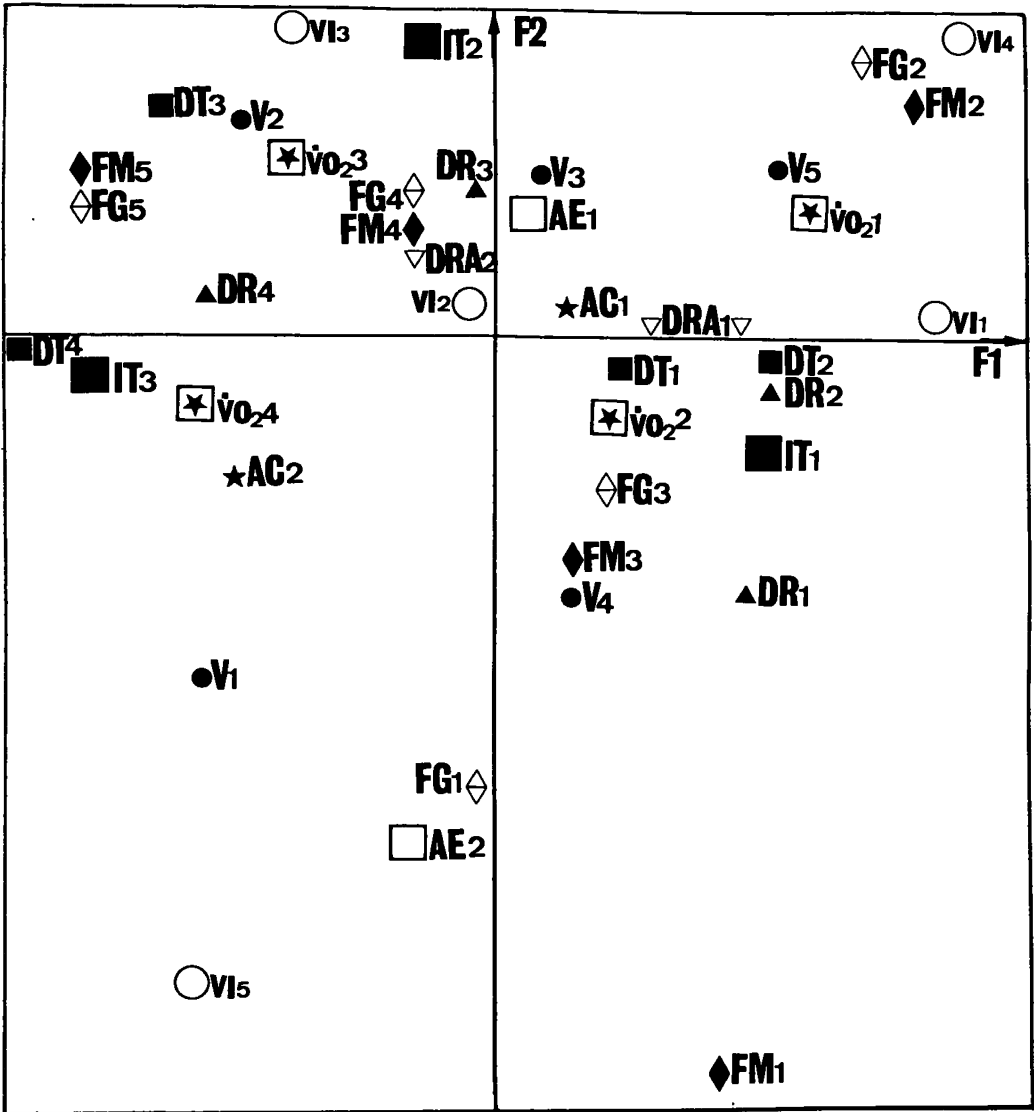


Figure 3 : [VO2] : plan factoriel 1 x 2. $\tau = 28\%$

Volume de consommation d'oxygène maximum et miratnements

L'interprétation sera faite d'après le plan 1 x 2 . Ce plan (fig. 3) explique 28% de l'inertie totale du nuage. L'examen du tableau des contributions des modalités aux axes nous montre que le premier axe oppose IT1 à IT3.

Les exercices de type IT1 étant caractérisés par DT1, DT2 ($DT \leq 1000m$), V4 ($8.5 < V \leq 8.8$ m/s), DR1 et DR2 ($DR \leq 120$ s) et VO2 ($52 < VO \leq 55$ ml/mm/kg) alors que les exercices de type IT3 sont caractérisés par DT4 ($DT > 1200$ m),

V1 ($V \leq 7.5$ m/s), DR4 ($DR > 300$ s), DRA3 ($DRA > 5$ mn) et VO4 ($VO_2 > 60$ ml/kg).

Les exercices de type IT1 sont courts et très rapides sur 100 m, 30 et 40 m. C'est un groupe d'exercices dits de "vitesse pure" particulièrement épuisants (FG3, FM3) sur le plan psychologique.

Les exercices de type IT3 sont plus longs (300 et 400 m) mais la vitesse est plus faible, la récupération plus longue et les répétitions plus nombreuses ($DT > 1000$ m). Pour des sprinteurs, ceci représente une distance totale importante. C'est ce qui explique en partie la correspondance avec une évaluation de fatigue élevée (FG5, FM5). Ces séances, de plus longue durée sollicitent davantage le système de transport de l'oxygène et le métabolisme aérobie, bien que la production d'acide lactique soit toujours très importante.

Il est remarquable sur ce plan factoriel, que les modalités des faibles consommations d'oxygène correspondent aux fortes modalités de vitesse et que les fortes modalités de consommations d'oxygène correspondent aux faibles modalités de vitesse.

D'autre part, il y a correspondance entre modalités de distance totale et consommation d'oxygène maximale, c'est-à-dire que les fortes modalités de distance totale (DT4 et DT3 : distance supérieure à 1000 m) vont avec les fortes modalités de volume de consommation d'oxygène maximum (VO4 et VO3 : consommation d'oxygène maximale supérieure à 55 ml/mn/kg) alors que les faibles modalités de distance totale (DT1 et DT2 : distance inférieure à 1000 m) vont avec les faibles modalités de volume de consommation d'oxygène maximum (VO1 et VO2 : consommation d'oxygène maximale inférieure à 55 ml/mn/kg).

Ainsi, on voit que plus la distance est longue, plus la consommation d'oxygène est importante car le métabolisme aérobie est davantage sollicité pendant une telle séance que pendant les séances de vitesse. On voit aussi que plus la consommation d'oxygène est élevée, plus il est possible de soutenir des entraînements aussi éprouvants en raison de leur durée et de leur intensité.

Il importe non seulement de soutenir la consommation d'oxygène la plus élevée pendant l'exercice, mais de rembourser également rapidement le déficit en oxygène contracté au cours de cet exercice relativement bref. La performance sur 400 m n'est bien sûr pas liée à la consommation d'oxygène maximum l'effort étant trop bref, mais il est particulièrement intéressant de mettre en évidence la correspondance avec l'ensemble des entraînements qu'il est possible de supporter en fonction de ce critère.

Remarque : Les modalités de la fatigue générale et de la fatigue musculaire, sont identiques sauf pour FG1 et FM1. C'est pour cette raison que, dans d'autres analyses, nous n'avons gardé que la fatigue générale.

6 Analyse : PERFORMANCES

6.1 Le tableau des données

Le tableau analysé concerne 474 séances d'entraînement des coureurs de 800 et 1500 mètres.

L'ensemble J est constitué par les modalités des 6 variables quantitatives DT, IT, V, DR, P, de la variable qualitative FG et de deux réponses aux questions AC et AE ; le détail des variables et de leurs modalités est expliqué sur le tableau ci-dessous. On notera la variable P, performance, objet principal de la présente analyse.

Le tableau disjonctif complet ainsi construit est de dimension (474 x 41).

Bornes considérées et effectif des classes

distance totale DT :		1000 m	2000 m	6000 m						
	DT1:	{115}	DT2:{112}	DT3:{127}	DT4:{120}					
vitesse V :	V1:	3.5m/s	V2:{53}	V3:{47}	V4:{39}	V5:{72}	V6:{63}	V7:{50}	V8:{66}	V9:{40}
durée de l'e- cercice :	IT :	30.s	90.s	210.s						
	IT1:	{128}	IT2:{113}	IT3:{66}	IT4:{167}					
durée de récu- pération :	DR :	0.s	90.s	180.s						
	DR1:	{212}	DR2:{ 92 }	DR3:{92}	DR4:{ 78 }					
performance :	P :	7.14m/s	7.23m/s	7.28m/s	7.3m/s					
	P1:	{ 79 }	P2:{ 68 }	P3:{114}	P4:{104}	P5:{109}				
fatigue gé- nérale notée de 1 à 5	FG :	FG1	FG2	FG3	FG4	FG5				
	FG1	{231}	FG2:{167}	FG3:{53}	FG4:{16}	FG5:{ 7 }				
variation in- tensité	VI :	1	2	3	4	5	6			
	VI1:	{43}	VI2:{311}	VI3:{10}	VI4:{19}	VI5:{24}	VI6:{67}			
accident AC :		non	oui							
	AC1:	{467}	AC2:{ 7 }							
autre entrai- nement	AE :	non	oui							
	AE1:	{402}	AE2:{72}							

6.2 Résultats d'analyse et interprétation

Les valeurs propres et pourcentage d'inertie afférents aux 5 premiers facteurs issus du tableau de Burt sont donnés ci-dessous :

	F1	F2	F3	F4	F5
valeur propre	.1549	.0609	.0479	.0357	.0295
pourcentage	26.7	10.5	8.3	6.2	5.

L'interprétation sera faite d'après le plan 1 x 2.

Ce plan exprime 37.2% de l'inertie totale du nuage. Le premier axe factoriel caractérise l'opposition entre les types de séances d'entraînement (IT4 de durée supérieure à 3.5 mn) d'une part, et (IT1 et IT2 de durée inférieure à 1.5 mn) d'autre part (fig. 4).

Les séances d'entraînement de type IT4 étant caractérisées par DT4 (6000 m et plus), V1, V2 et V3 (vitesse inférieure à 4.8 m/s) et DR1 (durée de récupération nulle): ce sont des séances continues de footing IT1 est le type de séances de courte distance mais à grande intensité. Les distances fractionnées correspondant à ces séances sont de 50, 60 et 100 mètres. IT2 est le type de séances de 100 à 500 m faites à grande intensité.

Le premier axe factoriel oppose ainsi les séances les plus longues donc de longue distance et à vitesse faible, donc à effort peu intense,

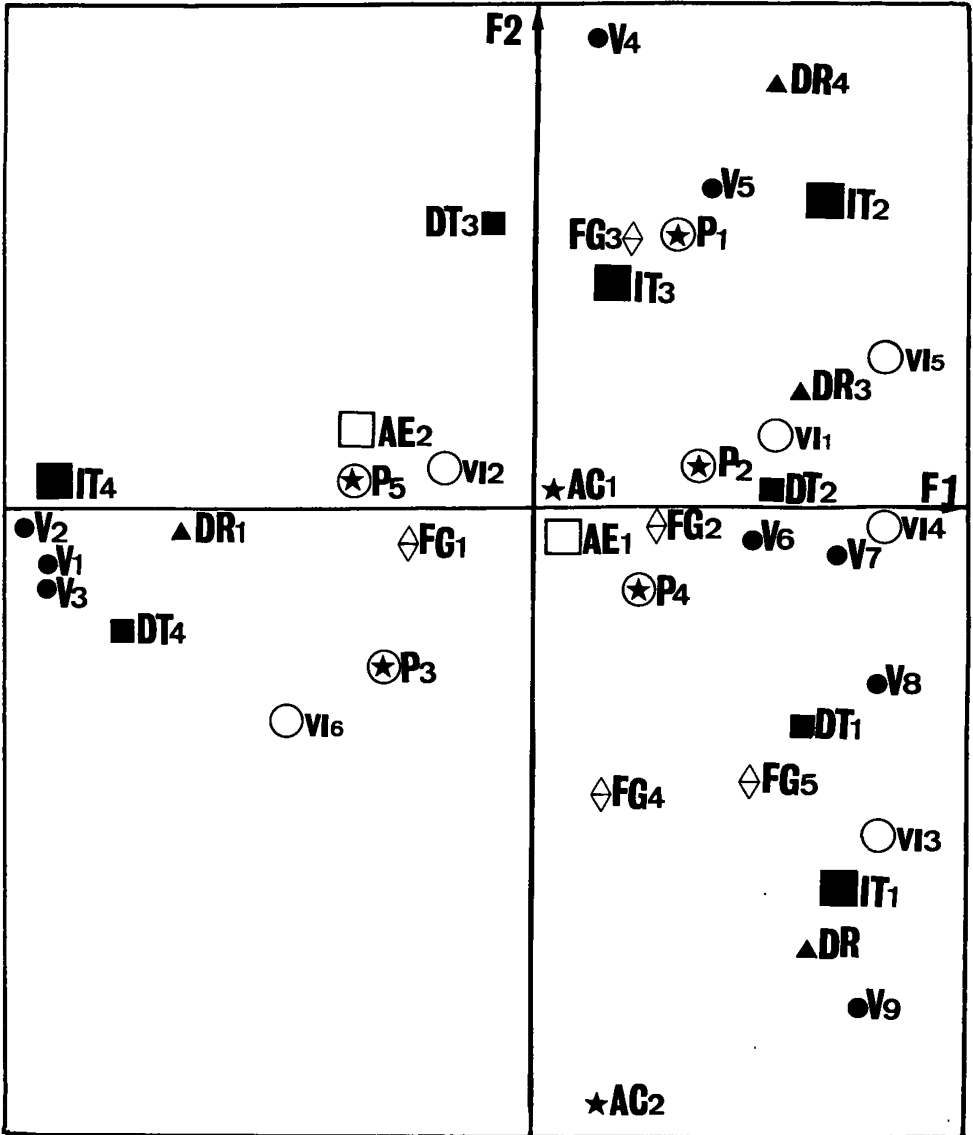


Figure 4 : [PERFORMANCE] plan factoriel 1×2 . $\tau_{1 \times 2} = 37\%$
 Analyse factorielle de l'ensemble des entraînements et des performances des coureurs de 800 m et 1500 m.

aux séances de plus courte durée mais où l'effort est beaucoup plus intense.

Le deuxième axe factoriel oppose parmi les séances où l'athlète déploie un effort intense, celles de type IT1 à celles de type IT2 et IT3.

Ce plan factoriel nous montre, comme nous l'avons constaté dans d'autres analyses, la croissance de la puissance de l'exercice, en sens

contraire de la croissance des durées des exercices.

Mais ce qui est encore plus intéressant, c'est la répartition des modalités des performances.

Il apparaît que les fortes modalités de performance (P3, P4 et P5: performance supérieure à 7.23 m/s) correspondent à une meilleure répartition des séances d'entraînement, alors que les faibles modalités (P1 et P2 : vitesse inférieure à 7.23 m/s) correspondent à une prédominance d'entraînement de type IT1 et IT2.

Remarquons aussi que les athlètes ayant la performance P1 (performance inférieure à 7.14 m/s) n'avaient pratiquement pas effectué de séances de la classe IT1, alors que les autres séances, particulièrement celles relatives à la classe P5 (performance supérieure à 7.3 m/s) sont remarquables par leur dispersion régulière.

Cette analyse semble illustrer la complexité de l'entraînement que l'on ne peut réduire à un seul type d'exercice.

7 Apport des méthodes d'analyse des données à l'étude de l'entraînement

Les analyses des séances d'entraînement ont permis de dégager :

- une typologie des différentes formes d'entraînement permettant une description objective de l'entraînement de l'athlète ainsi qu'une comparaison des plans d'entraînement différents ;
- une correspondance entre certaines formes d'entraînement et la survenue d'accidents ;
- une correspondance entre une caractéristique biologique de l'athlète comme la consommation d'oxygène maximum et l'entraînement.

Les résultats obtenus présentent un intérêt particulier en physiologie, en médecine et dans la recherche des techniques d'entraînement.

Pour le physiologiste :

Cette méthode rend possible l'étude des correspondances entre les données biologiques spécifiques de l'individu et son entraînement, et non plus seulement avec la performance. Dans le cas du coureur de 400 m, une donnée biologique comme la consommation d'oxygène maximum, pourrait ne présenter aucun intérêt si l'on s'en tenait à l'absence de corrélation avec la performance sur 400 m. Par contre, elle semble se révéler déterminante dans le choix et la programmation de l'entraînement du coureur de 400 m. L'analyse de l'entraînement de l'athlète constitue ainsi une étape de la recherche sur l'optimisation de la performance.

Pour le médecin :

Il est possible d'envisager une nouvelle approche épidémiologique des maladies, incidents et accidents survenant au cours de l'entraînement. La perturbation du plan d'entraînement qui en découle se révèle bien souvent catastrophique dans ses conséquences sur les performances. La constatation d'une prédominance de survenue d'accidents au cours des séances effectuées à des vitesses de 7 à 8 m/s conduit à rechercher les facteurs spécifiques de ces formes d'entraînement, dont la correction pourrait minimiser le risque d'accident.

Pour l'entraîneur :

L'entraîneur recherche la correspondance entre la répartition des séances d'entraînement et la performance afin, par essais successifs, de

tenter de définir le programme d'entraînement optimal, conduisant à la performance maximale pour un sujet donné. L'entraîneur intègre en fait plus ou moins consciemment un nombre considérable de données issues de l'observation de la course, du comportement, des conditions d'environnement etc. Dans ce cas les résultats de l'analyse factorielle lui apportent *a posteriori* une rationalisation de sa propre démarche.

L'intérêt de la méthode réside ainsi dans la réalisation d'un outil de communication entre les entraîneurs, les athlètes, les physiologistes, les médecins.

L'outil de communication n'apparaît pas nécessaire dans le cas de l'entraînement élaboré de façon instinctive. Il suppose une perception correcte des perturbations de l'organisme apportées par l'exercice suivi d'un comportement d'adaptation à ces contraintes, d'où il résulte une adaptation meilleure à la contrainte "compétition".

Ce comportement pourrait être supposé inné mais la pédagogie non directive en course à pied abonde en erreurs de perception, de comportement, en baisses des performances, et nous conduit à rejeter le mythe du "bon sauvage susceptible de devenir un sportif de compétition d'élite".

L'entraînement comporte donc un apprentissage de procédés d'entraînement. Ceux-ci peuvent être élaborés par l'entraîneur, par essais successifs sur lui-même, sur les athlètes qu'il entraîne et dont il perçoit subjectivement les réponses.

A partir du moment où l'entraîneur compare ses expériences avec l'entraînement d'athlètes qui lui sont étrangers, le flux d'informations dont il dispose pour créer un concept d'entraînement devient très réduit, se limite à des distances parcourues, des durées d'exercices, des vitesses, des durées de repos et néglige toutes les autres données subjectives. De plus la masse considérable de données ne lui permet d'apprécier que des séances d'entraînement type dont il fait des "recettes", l'approche globale de l'entraînement sur plusieurs mois étant impossible.

Il essaie bien de traduire les concepts d'entraînement par des mots comme endurance, *artlek*, résistance intensité, vitesse, etc. mais ces termes n'ont pas la même valeur selon les entraîneurs, et les effets biologiques sont variables avec les caractéristiques des athlètes.

Ceci a conduit très souvent à une interprétation pervertie des procédés d'entraînement des "écoles de courses étrangères", à des excès dans l'entraînement, à des conflits entre entraîneurs, chacun étant assurré de détenir la vérité! La méthode d'analyse que nous proposons constitue donc un moyen de communication entre les entraîneurs permettant la comparaison des procédés d'entraînement d'athlètes différents: en apportant une représentation symbolique graphique qui n'existait pas jusqu'à présent. La sensibilité de la comparaison peut être augmentée si l'on tient compte également des caractéristiques individuelles des athlètes.

L'application de cette méthode à des disciplines comme la course à pied, la natation, le pentathlon moderne, l'haltérophilie, pourrait permettre ainsi une recherche sur les techniques d'entraînement et particulièrement leur enchaînement au cours de microcycles, une meilleure adéquation de l'entraînement au profit de l'athlète, et contribuer ainsi à l'optimisation de l'entraînement.

BIBLIOGRAPHIE

- J.P. BENZECRI & coll. 1973 : L'Analyse des Données. TII . L'Analyse des Correspondances ; 1248 p. , DUNOD, PARIS.
- J.P. BENZECRI : [BIN. MULT.] Les cahiers de l'analyse des données. Vol. II n° 1, p. 59.
- E. JOUSSELIN : Contribution à l'analyse de l'entraînement physique à la course à pied . Thèse pour le doctorat en médecine - CHU Cochin-Port Royal. Paris V.
- F. TEKAIA : Programme BENTAB d'analyse factorielle de correspondance, version PDP8.
- F. TEKAIA : Analyse factorielle de correspondance - Application à une étude typologique des entraînements de course à pied. Thèse de 3° cycle, laboratoire de statistique Paris VI.
- M. RIEU & coll.: Le dossier médical du sportif. XII ° Assises Nationales de Méd. du Sport-Strasbourg 12-14 septembre 1975. Médecine du Sport 1976 n° 2.
- R. VAUSSENAT, J.P. FOUILLOT : Essai d'analyse des performances et de l'entraînement physique. XII ° Assises Nationales de Méd. du Sport - Strasbourg 12-14 septembre 1975. Revue Méd. du Sport 1976 n° 2.