

FACULTE DES SCIENCES DE L'EDUCATION

JB

5.5

4L

1982

P 698

THESE

PRESENTEE

A L'ECOLE DES GRADUES

DE L'UNIVERSITE LAVAL

POUR L'OBTENTION

DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES (M. Sc.)

PAR

ANDRE PLAMONDON

BACHELIER ES SCIENCES

DE L'UNIVERSITE LAVAL

CINEMATIQUE ET CINETIQUE

DE L'ACCELERATION EN COURSE

AOUT 1982



AVANT-PROPOS

Je tiens à remercier personnellement le Dr Benoît Roy de m'avoir si consciencieusement appuyé dans ce travail. Son amabilité, son intérêt, sa compétence m'ont permis sans aucun doute d'achever cette thèse.

J'aimerais de plus remercier messieurs Donald Dion et Claude Rouillard dans leur appui technique dont j'ai pu grandement profiter.

Enfin je dédie cette thèse à mes parents qui, tout au long de mes études, n'ont cessé de m'encourager.

TABLE DES MATIERES

	Page
AVANT-PROPOS.....	i
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
RESUME.....	ix
CHAPITRE	
I INTRODUCTION.....	1
Objectifs de l'étude.....	3
II REVUE DE LITTERATURE.....	4
La cinématique de la course.....	5
1) Les facteurs temporels.....	5
A) La course à vitesse constante.....	5
B) La course en phase d'accélération.....	11
2) Les mesures angulaires.....	14
A) La course à vitesse constante.....	14
B) La course en phase d'accélération.....	16
3) Vitesse et accélération.....	18
Synthèse de la cinématique de la course.....	20
La cinétique de la course.....	20
1) Les facteurs dynamiques: forces et impulsions.....	20
A) La course à vitesse constante.....	20
B) La course en phase d'accélération.....	23
2) L'importance relative de la phase de support	25
A) La course à vitesse constante.....	26
B) La course en phase d'accélération.....	27
Synthèse de la cinétique de la course.....	27
Sommaire.....	28

Table des matières (suite)

CHAPITRE	Page
III	METHODOLOGIE..... 30
	Les sujets..... 30
	Le protocole expérimental..... 31
	Les techniques d'enregistrement et d'analyse des données dynamographiques..... 34
	Les techniques d'enregistrement et d'analyse des données cinématographiques..... 36
	Les traitements statistiques..... 41
	Les définitions opérationnelles des différentes variables mesurées..... 41
	A) Variables anthropométriques..... 41
	B) Variables cinématographiques..... 42
	C) Variables dynamographiques..... 43
IV	RESULTATS..... 52
	L'analyse des données..... 52
	1) Variations dans les paramètres cinématiques 52
	A) Vitesse et accélération..... 53
	B) Variables temporelles: longueur, fréquence, durée..... 53
	C) Variables angulaires..... 57
	2) Variations dans les paramètres dynamiques.. 60
	A) Forces et impulsions..... 60
	B) Phases de support: absorption, transition, propulsion, freinage..... 71
	3) Corrélations, analyse factorielle et de régression multiple des données..... 74
V	DISCUSSION..... 80
	Variables cinématiques..... 80
	1) Vitesse et accélération..... 80

Table des matières (suite)

CHAPITRE		Page
V (suite)	2) Variables temporelles: longueur, fréquence.....	81
	3) Variables angulaires.....	83
	Variables dynamiques.....	83
	1) Forces et impulsions.....	83
	2) Phases de support: absorption, transition, propulsion, freinage.....	87
	Analyses statistiques.....	88
	1) Coefficients de corrélation.....	88
	2) Analyse factorielle.....	89
	3) Analyse de régression multiple.....	91
	Conclusions.....	94
	BIBLIOGRAPHIE.....	95
APPENDICES		
A	Programme pour le traitement des données dynamographiques.....	102
B	Programme pour le traitement des données cinématographiques.....	107
C	Moyenne et écart-type des variables.....	112
D	Analyses statistiques.....	119

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1	Facteurs temporels caractéristiques de la course à vitesse constante selon certains auteurs.....	6
2	Facteurs temporels caractéristiques de la course en phase d'accélération selon certains auteurs.....	12
3	Mesures angulaires caractéristiques de la course à vitesse constante selon certains auteurs.....	15
4	Mesures angulaires caractéristiques de la course en phase d'accélération selon certains auteurs.....	17
5	Mesures de vitesse et d'accélération en fonction de la distance parcourue selon certains auteurs....	19
6	Forces bi-axiales maximales caractéristiques de la course à vitesse constante selon différents auteurs. Les données sont exprimées en multiples du poids corporel.....	21
7	Forces bi-axiales maximales caractéristiques de la course en phase d'accélération selon différents auteurs. Les données sont exprimées en multiples du poids corporel.....	24
8	Tableau récapitulatif des variations des paramètres cinétiques et cinématiques en fonction d'une augmentation de la vitesse.....	29
9	Durée de la phase d'absorption, de transition, de propulsion verticale ainsi que de freinage et de propulsion horizontale en fonction des 18 premières enjambées d'une course en phase d'accélération.....	72
10	Coefficients de corrélation entre la vitesse de course, l'accélération et certaines variables biomécaniques.....	75
11	Matrice de saturation "Varimax".....	77

Liste des tableaux (suite)

Tableau		Page
12	Régression multiple de certaines variables en fonction de la vitesse (A) et de l'accélération (B)....	79
13	Coefficients de corrélation entre la vitesse et certaines variables dynamiques.....	90
14	Coefficients de corrélation entre la longueur relative d'enjambée, la fréquence d'enjambée et la durée relative de support et certaines variables cinétiques et cinématiques.....	92

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	Illustration de la position du coureur au départ...	32
2	Disposition de l'appareillage utilisé pour l'enregistrement des données.....	33
3	Illustration de l'aire de prélèvement des données..	37
4	Illustration des instruments cinématographiques....	38
5	Modèle de prélèvement des données cinématographiques.....	40
6	Courbes de forces typiques FZ et FY de la 18e enjambée (sujet P.R.).....	44
7	Phases d'absorption, de transition et de propulsion verticale de la 18e enjambée (sujet P.R.).....	46
8	Phases de freinage et de propulsion horizontale de la 18e enjambée (sujet P.R.).....	49
9	Vélocité (± 1 E.T.) et accélération (± 1 E.T.) au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	54
10	Longueur (± 1 E.T.) absolue et relative d'enjambée; fréquence d'enjambée (± 1 E.T.) en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	55
11	Durée (± 1 E.T.) de la phase de support, d'envol et du cycle total en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	56
12	Durée relative (± 1 E.T.) de support en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée..	58
13	Angles (± 1 E.T.) α et β et angle du tronc (± 1 E.T.) en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	59
14	Courbe typique (sujet C.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la première enjambée...	61

Liste des figures (suite)

Figure		Page
15	Courbe typique (sujet C.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 5e enjambée.....	62
16	Courbe typique (sujet P.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 9e enjambée.....	63
17	Courbe typique (sujet P.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 12e enjambée.....	64
18	Courbe typique (sujet P.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 18e enjambée.....	65
19	Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale d'impact au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	66
20	Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale d'absorption au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	68
21	Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale de propulsion au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	69
22	Impulsion verticale nette (± 1 E.T.); impulsion horizontale (± 1 E.T.) de freinage et de propulsion au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	70
23	Durée relative de la phase d'absorption, de transition, de propulsion verticale, ainsi que de freinage et de propulsion horizontale en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.....	73
24	Courbes typiques de la force verticale de deux sujets (P.R. et C.R.) à la 10e enjambée.....	85

RESUME

Objectif

Deux objectifs étaient visés dans ce travail: (1) mesurer les variables biomécaniques associées à une course en phase d'accélération; (2) identifier les facteurs mécaniques les plus significativement responsables d'une course accélérée.

Méthode

Dix (10) sprinters de sexe masculin furent sélectionnés. Ils devaient parcourir, en recherche de vitesse maximale, une distance de 20 mètres ou de 40 mètres selon l'enjambée étudiée. Le coureur partait debout, pieds joints; il répétait cette procédure (départ et phase d'accélération) une quinzaine de fois de façon à permettre l'enregistrement des données cinématographiques et dynamographiques du départ (0), des dix (10) enjambées subséquentes et finalement des 12e, 14e, 16e et 18e enjambées. Subséquemment les données cinématiques (vitesse, accélération, durées, etc.) et cinétiques (forces, impulsions) furent analysées et traitées statistiquement de quatre façons: (1) moyenne et écart-type pour chacune des variables; (2) matrice de corrélation comprenant toutes les variables de l'étude; (3) analyse factorielle; (4) analyse de régression multiple permettant d'identifier les variables influençant la vitesse et l'accélération du coureur.

Résultats

Cette étude a démontré que la majorité des paramètres cinétiques et cinématiques sont associés aux variations de vitesse et d'accélération. Toutefois deux facteurs principaux ressortent de l'analyse factorielle: l'un relié au freinage, l'autre aux durées de support et de propulsion. Enfin, l'analyse de régression multiple confirme que les variables spécifiques à la longueur et à la fréquence de l'enjambée sont celles qui influencent le plus significativement les modifications de la vitesse de course tandis que les variables reliées à la durée relative de support sont responsables des modifications de l'accélération.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

La course, élément fondamental de la locomotion humaine, a fait l'objet de nombreux écrits et recherches. La curiosité scientifique, le besoin de comprendre et d'optimiser la performance motivent encore bon nombre de chercheurs à s'intéresser à la course. La biomécanique est un des nombreux champs d'études s'intéressant à l'analyse systématique de la course. Ainsi Fenn (1930), fut un des premiers de son époque à faire des études cinématographiques et dynamographiques de la course.

Au cours des années qui suivirent, peu de travaux furent publiés sur ce sujet et ce n'est que récemment, les moyens d'investigation aidant, qu'une grande part des écrits fut réalisée. Dans les années soixante, on s'intéressait plus particulièrement à la mécanique du sprint et de ses composantes (Cavagna, 1965; Deshon et Nelson, 1964;

Ikai, 1968; etc.). Puis la mode du jogging amena une recrudescence des recherches sur la course à vitesse sous-maximale. Bon nombre d'auteurs (Bates et al., 1979b; Roy, 1982; Cavanagh et Lafortune, 1980; etc.) se sont donc mis à étudier les modifications cinématiques et cinétiques caractéristiques de la course à faible vitesse et à identifier les facteurs biomécaniques les plus significativement responsables de l'augmentation de la vitesse.

Cette mode du jogging a, cependant éclipié un peu l'intérêt pour l'étude du sprint. On retrouve toutefois quelques études sur la biomécanique du départ de course (Ward, 1973; Gagnon, 1978; Delhez et Loverius, 1980; etc.) Néanmoins, il est surprenant de constater qu'il y a peu de recherches sur la phase d'accélération. Cavagna (1965) énonce qu'il existe des différences dans la fréquence d'enjambée entre la course en phase d'accélération et celle de vitesse constante. En 1979, Atwater publie une étude cinématique de la course qui décrit la phase initiale d'accélération (5 premières enjambées) chez des sprinters d'élite. Tsujino (1966) touche quelque peu l'étude cinétique de l'accélération en course en analysant une enjambée à 15 mètres et une autre à 50 m de la ligne de départ. Il rapporte des différences de forces entre les deux enjambées.

En fait, on en connaît peu sur la cinématique et encore moins sur les composantes cinétiques de l'accélération en course. A notre connaissance, il n'existe aucune étude portant à la fois sur les caractéristiques cinématiques et cinétiques de la course en phase d'accélération. C'est pourquoi il nous est apparu important pour l'entraîneur, le

sprinter, le sauteur ou pour tout autre intervenant qui s'intéresse au développement optimal de la vitesse, d'en connaître davantage sur les composantes mécaniques qui produisent l'accélération du coureur et qui l'amènent à améliorer sa performance.

Cette recherche se propose de mieux préciser les facteurs biomécaniques de la course en phase d'accélération et d'identifier ceux qui contribuent le plus à l'accroissement de la vitesse et de l'accélération.

Objectifs de l'étude

Cette étude vise donc deux objectifs:

- 1) mesurer les variations biomécaniques associées à une course accélérée dont la vitesse, nulle au point de départ, s'accroît jusqu'à ce que le coureur ait atteint sa vitesse maximale,
- 2) d'identifier les facteurs cinétiques et cinématiques les plus significativement responsables d'une course en phase d'accélération.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTERATURE

La course constitue avec la marche la base de la locomotion humaine et a fait l'objet de plusieurs travaux portant sur les aspects cinématiques et cinétiques. La course est une forme de locomotion composée de phases alternantes de support et d'envol (James et Brubaker, 1973); elle sert à déplacer le corps le plus rapidement possible d'un point à un autre (Dillman, 1975).

Généralement, on étudie les modifications qui surviennent dans les facteurs temporels et dynamiques associés à l'accroissement de la vitesse de course. Toutefois, on distingue deux avenues de recherche: la première et la plus courante est celle où le coureur maintient sa vitesse constante d'une enjambée à l'autre; la seconde est celle où le coureur est continuellement en recherche de vitesse, c'est-à-dire en phase d'accélération.

Le présent chapitre sera divisé en deux sections principales: la première portera sur la cinématique de la course et la seconde sur la cinétique. Pour chacune de ces sections, une partie sera consacrée aux études portant sur la course à vitesse constante, une seconde en phase d'accélération et finalement, une dernière présentera une synthèse de ces études.

La cinématique de la course

1) Les facteurs temporels

A) La course à vitesse constante

Les caractéristiques temporelles ont fait l'objet de nombreuses études. Le tableau 1 présente une synthèse des travaux portant sur la longueur absolue et relative d'enjambée, la fréquence d'enjambée, la durée absolue et relative d'envol et de support, en fonction de différentes vitesses de course. On constate que les facteurs suivants s'accroissent en fonction de l'augmentation de la vitesse: la longueur d'enjambée passe d'environ 1,10 à 2,50 m; la fréquence s'accroît de 2,68 à 4,60 enjambées/s; la longueur relative d'enjambée augmente de 0,80 à 1,40 .

D'autre part, l'évolution de la durée d'envol n'est pas claire. Elle augmente de 110 à 170 ms (à une vitesse d'environ 7 m/s) pour ensuite décroître à 120 ms aux vitesses supérieures. Plusieurs auteurs ont d'ailleurs signalé cette particularité du temps d'envol (Buchanan, 1971; Nelson et al., 1976; Dillman, 1975; Nelson et Osterhoudt, 1971; Cavagna et al., 1976).

Tableau 1

Facteurs temporels caractéristiques de la course à vélocité constante selon certains auteurs

Auteurs	Nombre de sujets	Sexe	Vélocité (m/s)	Enjambée (m)	Fréquence (enj./s)	Longueur rel. d'enjambée	Durée envol (ms)	Durée support (ms)	Durée cycle (ms)	Durée rel. d'envol (%)
Sinning et Forsyth (1970)	7	M	3,05	1,10	2,68	-	-	-	-	-
Hoshikawa et al. (1973)	8	M	3,33	1,12	3,00	-	-	-	-	-
Roy (1982)	20	M-F	3,35	1,25	2,60	0,80	110	250	360	30
Nelson et Osterhoudt (1971)	16	M	3,35	1,27	2,64	-	110	250	360	31
Luhtanen et Komi (1978)	6	M	3,90	1,50	2,60	-	180	200	380	47,4
Yonéda et al. (1979)	10	F	3,93	1,41	2,79	0,83	109	250	359	30
Boccardi (1979)	2	M	4,10	-	-	-	140	233	373	37,5
Saito et al. (1974)	3	M	4,60	1,68	2,70	0,98	-	-	368	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	4,75	1,62	2,93	-	-	-	-	-
Nelson et al. (1977)	45	M-F	4,80	1,63	2,98	0,96	176	193	369	47,7
Nelson et Osterhoudt (1971)	16	M	4,88	1,65	2,96	-	120	200	320	38,0
Cavanagh et al (1977)	22	M	4,90	1,60	3,11	-	125	203	328	38,1
Hoshikawa et al. (1976)	8	M	5,00	1,35	3,70	-	-	-	-	-
Nelson et Gregor (1976)	10	M	5,00	1,68	3,01	-	-	-	-	-
Nelson et al. (1977)	45	M-F	5,10	1,69	3,05	1,00	172	184	356	48,3
Nelson et al. (1977)	45	M-F	5,30	1,73	3,10	1,02	169	180	349	48,4
Roy (1982)	20	M-F	5,36	1,80	3,00	1,09	140	195	335	43
Mann (1980)	13	M	5,36	-	-	-	-	-	-	38

.../

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Nombre de sujets	Sexe	Vélocité (m/s)	Enjambée (m)	Fréquence (enj./s)	Longueur rel d'enjambée	Durée envol (ms)	Durée support (ms)	Durée cycle (ms)	Durée rel. d'envol (%)
Miura et al. (1973)	3	M	5,48	1,77	3,10	1,05	-	-	325	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	5,50	1,90	2,89	-	-	-	-	-
Scholich (1978)	1	M	5,81	1,70	3,41	-	-	-	-	-
Nelson et Grégor (1976)	10	M	6,00	1,75	3,43	-	-	-	-	-
Nelson et Osterhoudt (1971)	16	M	6,40	1,90	3,37	-	116	160	276	42
Luhtanen et Komi (1978)	6	M	6,40	2,05	3,12	-	175	150	325	53,8
Sinning et Forsyth (1970)	7	M	6,60	1,90	3,42	-	-	-	-	-
Yonéda et al. (1979)	10	F	6,69	2,05	3,23	1,22	170	140	310	55
Nelson et Grégor (1976)	10	M	7,00	2,00	3,50	-	-	-	-	-
Scholich (1978)	1	M	7,07	2,00	3,53	-	-	-	-	-
Bates et Haven (1973)	11	F	7,38	1,97	3,72	-	151	117	268	56
Payne (1978)	1	M	7,52	-	-	-	-	130	-	-
Mann (1980)	13	M	7,69	-	-	-	-	-	-	66
Boccardi (1979)	2	F	7,75	-	-	-	-	140	-	-
Luhtanen et Komi (1978)	6	M	8,00	2,22	3,60	-	150	125	275	54,5
Nelson et Gregor (1976)	10	M	8,00	2,10	3,81	-	-	-	-	-
Hoshikawa et al. (1973)	8	M	8,33	1,80	4,17	-	-	-	-	-
Fenn (1930)	1	M	8,45	1,94	4,35	-	-	-	-	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	8,50	2,13	4,00	-	-	-	-	-
Saito et al. (1974)	3	M	8,80	2,13	4,13	1,24	-	-	244	-

.../

Tableau 1 (suite)

Auteurs	Nombre de sujets	Sexe	Vélocité (m/s)	Enjambée (m)	Fréquence (enj./s)	Longueur rel. d'enjambée	Durée envol (ms)	Durée support (ms)	Durée cycle (ms)	Durée rel. d'envol (%)
Scholich (1978)	1	M	9,10	2,20	4,13	1,23	-	-	-	-
Luhtanen et Komi (1978)	6	M	9,30	2,33	4,00	-	120	110	230	52,1
Mann et Sprague (1980)	15	M	9,49	-	-	-	-	121	-	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	10,00	2,23	4,48	-	-	-	-	-
Scholich (1978)	1	M	10,10	2,25	4,40	1,26	-	-	-	-
Atwater (1979)	12	M	11,4	2,50	4,59	1,40	124	94	218	57

La durée de support qui est de 250 ms aux vitesses les plus lentes n'est plus que de 94 ms aux vitesses élevées; la durée totale du cycle de course passe de 360 à 218 ms; la durée relative d'envol occupe à peu près 30% du temps du cycle aux vitesses inférieures pour s'accroître à 57% aux vitesses supérieures.

La majorité des auteurs (Atwater, 1979; Nelson et al., 1976; Bates et Haven, 1973; Miller, 1978; Dillman, 1975; Luhtanen et Komi, 1978; Miura et al., 1973; Nelson et Osterhoudt, 1971; Saito et al., 1974; Hogberg, 1952; Cavagna et al., 1965; Matsui et al., 1970; Murase et al., 1972; Sinning et Forsyth, 1970; Hoshikawa et al., 1973; Gregor et al., 1979; Fukunaga et al., 1978) s'accordent pour affirmer que la longueur absolue d'enjambée augmente davantage à basse vitesse que la fréquence d'enjambée; par contre, lorsque le coureur approche de sa vitesse maximale la fréquence d'enjambée s'accroît plus que la longueur.

Roy (1982) rapporte des coefficients de corrélation significatifs entre la vitesse et les facteurs suivants: la longueur absolue (0,88) et relative (0,89) d'enjambée; la fréquence d'enjambée (0,52); la durée de support (-0,83); la durée du cycle (-0,52); la durée absolue (0,67) et relative (0,82) d'envol.

En outre, à l'aide d'une régression multiple, Roy (1982) révèle que la longueur relative d'enjambée est la variable qui contribue le plus (85% de la variance commune) à la modification de la vitesse.

Une analyse factorielle présentée par ce même auteur démontre que les variables spécifiques à la longueur et à la durée de l'enjambée semblent être celles qui influencent le plus significativement la vélocité de course.

Mason (1980) démontre à l'aide d'une analyse discriminante l'importance de la longueur d'enjambée et de la durée de support sur le type de contact au sol et sur la vélocité de course. Deshon et Nelson (1964) établissent une relation de 0,55 ($p < 0,01$) entre la vélocité et la longueur d'enjambée.

Taylor (1971) rapporte des coefficients significativement plus grands que zéro entre le score de performance (temps enregistré sur une distance donnée et transformé en points selon la table internationale) et la durée d'envol (0,31) et la durée de support (0,31).

Atwater (1979) démontre qu'il existe des relations significatives entre la vélocité du centre de gravité (vélocité enregistrée à 50 m du départ lors d'un sprint) et les paramètres suivants: la durée du cycle (-0,62) et le temps de support (-0,76). Elle constate en outre que la vélocité est reliée non significativement à la longueur d'enjambée, le temps d'envol et la taille. Finalement, la longueur d'enjambée présente une corrélation significative avec la durée du cycle (0,66) et le temps d'envol (0,88).

Suite à une étude réalisée avec des sprinters, Hoffmann (1964) rapporte un coefficient de corrélation de 0,69 entre la longueur d'enjambée moyenne et la taille de ses sujets. Ce coefficient est de 0,82 pour les bons sprinters et de 0,92 pour les meilleurs.

De plus, le coefficient de corrélation entre la fréquence d'enjambée et la taille serait selon cet auteur de -0,49 pour les sprinters moyens et de -0,81 pour ceux de haut calibre.

Elliott et Blansky (1979) dans une étude portant sur des coureurs des deux sexes rapportent un coefficient de corrélation de 0,67 entre la taille et la longueur d'enjambée à une vitesse de 3,5 m/s et de 0,64 et 0,70 à des vitesses respectives de 4,5 et 5,5 m/s.

B) La course en phase d'accélération

D'après Gagnon (1973) et Cavagna et al. (1965) on ne retrouve pas les mêmes modifications mécaniques selon que l'étude est faite pour une vitesse donnée en phase d'accélération ou en phase de vitesse constante. De l'avis de ces mêmes auteurs, la fréquence d'enjambée serait l'un des facteurs principaux de l'accélération du sprinter.

Le tableau 2 présente les modifications des facteurs temporels suite à l'accroissement de la vitesse en phase d'accélération. La longueur absolue d'enjambée passe d'environ 1,0 à 2,50 m; la longueur relative d'enjambée s'accroît de 0,60 à 1,40. La fréquence qui est très élevée quelle que soit la vitesse semble varier de la façon suivante: selon Atwater (1979) la fréquence augmente de 4,0 à 4,7 enjambées/s au cours des premières enjambées pour ensuite diminuer à 4,6 enjambées/s lorsque le coureur atteint une vitesse élevée; d'autre part, Cavagna (1965) soutient que la fréquence diminue progressivement en fonction de la vitesse, passant de 5,40 à 4,65 enjambées/s.

Tableau 2

Facteurs temporels caractéristiques de course en phase
d'accélération selon certains auteurs

Auteurs	Nombre de sujets	Sexe	Vélocité (m/s)	Enjambée (m)	Fréquence (enj./s)	Longueur rel. d'enjambée	Durée envol (ms)	Durée support (ms)	Durée cycle (ms)	Durée rel. d'envol (%)	Numéro de l'enjambée
Ward (1973)	11	M	4,01	1,09	3,66	-	-	-	-	-	0
Atwater (1979)	12	M	4,20	1,05	4,00	0,60	70	-	-	-	0
Ward (1973)	11	M	4,58	1,15	3,98	-	-	-	-	-	1
Cavagna et al. (1965)	11	M	4,75	0,88	5,40	-	-	-	-	-	-
Atwater (1979)	12	M	5,40	1,15	4,59	0,64	50	168	218	23	1
Cavagna et al. (1965)	1	M	5,50	1,03	5,34	-	-	-	-	-	-
Ward (1973)	11	M	5,73	1,34	4,28	-	-	-	-	-	2
Atwater (1979)	12	M	6,25	1,35	4,65	0,74	60	155	215	28	2
Atwater (1979)	12	M	7,30	1,55	4,65	0,85	70	145	215	33	3
Atwater (1979)	12	M	7,85	1,63	4,74	0,90	75	136	211	36	4
Stoner et Ben-Sira (1979)	9	M	8,11	1,89	4,27	-	94	140	234	40	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	8,50	1,85	4,59	-	-	-	-	-	-
Cavagna et al. (1965)	1	M	10,0	2,15	4,65	-	-	-	-	-	-
Atwater (1979)	12	M	11,4	2,50	4,59	1,40	124	94	218	57	-

D'après Atwater (1979) (tableau 2), la durée d'envol passe de 70 à 50 ms entre le début et la première enjambée pour subséquemment s'accroître à 120 ms à vitesse supérieure; la durée de support qui est de 168 ms à la première enjambée diminue à 94 ms; la durée du cycle demeure constante, soit environ 218 ms; la durée relative d'envol passe de 25% au départ à 57% à vitesse élevée.

Lors d'une recherche portant sur 24 athlètes masculins, Singh et al. (1978) rapportent que la plus basse fréquence est enregistrée lors des six premières enjambées d'une course de 100 mètres et la plus haute fréquence survient entre la 13e et la 18e enjambée, soit environ au 32e mètre.

Zatsiorskii et Primakov (1970) ont démontré que le temps de course dépend dans une large mesure de la longueur d'enjambée ($r = 0,554$) et de la fréquence d'enjambée ($r = -0,652$); à l'aide d'une analyse factorielle, ces auteurs soutiennent qu'un premier facteur est lié aux forces dynamiques des muscles extenseurs des jambes et du tronc (ce facteur influençant la longueur d'enjambée); un second facteur est relié à la force dynamique des muscles fléchisseurs (ce dernier facteur affectant principalement des enjambées).

Enfin plusieurs auteurs (Atwater, 1979; Hopper, 1973; Hay, 1978; Hopper, 1962) notent qu'en phase d'accélération, la durée de support doit être plus longue afin de permettre au coureur de se propulser vers l'avant. Ainsi, au départ d'une course, le temps de support peut aller au-delà de 400 ms (Gagnon, 1978; Delhez et Loverius, 1980) et être à moins de 100 ms en fin de phase d'accélération (Atwater, 1979).

2) Les mesures angulaires

A) La course à vitesse constante

Le tableau 3 présente une synthèse des travaux portant sur les mesures angulaires caractéristiques de la course à vitesse constante. L'angle α (angle compris entre l'horizontale et une droite joignant le pied et le centre de gravité du coureur au début de l'impulsion) varie de 92 à 103° ; l'angle β (angle compris entre l'horizontale et une droite joignant le pied et centre de gravité du coureur à la fin de la phase de support) décroît de 65 à 55° ; l'angle du tronc demeure sensiblement le même, soit environ 80° .

Teepie (1968) associe une diminution de l'angle α à une réduction de blocage et de l'angle β à l'augmentation de la composante de force horizontale; ces deux facteurs contribuant à un accroissement de la vitesse.

Une course efficace sera caractérisée par un placement du pied aussi proche que possible sous le centre de gravité; plus grand sera l'angle α , plus grande sera la décélération du coureur (Deshon et Nelson, 1964; Hay, 1978; Bates et al., 1979; Gagnon, 1973; Broer, 1979; Atwater, 1973; James et Brubaker, 1973).

Deshon et Nelson (1964) établissent une relation de $0,57$ ($p < 0,01$) entre la vitesse et la diminution de l'angle α . Mason (1980) conclut qu'un coureur doit se concentrer sur l'extension de la jambe propulsive plutôt que chercher à étendre sa jambe de recouvrement vers l'avant.

Tableau 3

Mesures angulaires caractéristiques de la course à
vitesse constante selon certains auteurs

Auteurs	Nombre de sujets	Vitesse (m/s)	Angle α (degrés)	Angle β (degrés)	Angle du tronc (degrés)
Taylor (1971)	30	5,36	92	63	80
Miura et al. (1973)	3	5,40	-	65,3	-
Yoneda et al. (1979)	10	6,69	-	-	82,4
Fenn (1939)	14	7,00	103,5	-	-
Deshon et Nelson (1964)	19	8,76	103,9	-	-
Dowell et al. (1975)	1	9,75	103	55	75
Atwater (1979)	12	11,39	-	-	85

Taylor (1971) rapporte un coefficient de 0,47 entre la performance (temps enregistré sur une distance donnée et transformé en points selon la table internationale) et l'inclinaison du tronc. Cependant quelques auteurs (James et Brubaker, 1973; Dyson, 1971) soutiennent au contraire que le tronc doit demeurer essentiellement droit durant la course.

B) La course en phase d'accélération

Le tableau 4 montre qu'en phase d'accélération, les modifications angulaires qui surviennent à un accroissement de la vitesse du coureur sont les suivantes: l'angle α augmente de 67 à 103⁰; l'angle β passe de 42,4 à 55⁰; l'angle du tronc s'accroît de 30 à environ 80⁰.

Selon Laananen et Brooks (1978) et Ward (1973), le blocage dans l'axe horizontal est à peu près inexistant si le centre de gravité est à l'avant du pied lors du contact au sol.

D'après Gagnon (1973), un plus petit angle d'impulsion (angle β) indiquerait que la force résultante est orientée plus près de l'horizontale.

Selon Hay (1978) et Ecker (1970), l'inclinaison du tronc est le résultat d'une accélération positive; plus grande sera l'accélération, plus grande sera l'inclinaison du tronc.

Dowell et al. (1975) trouvent un coefficient de -0,98 entre l'angle du tronc avec la verticale et la vitesse de course (en phase d'accélération). Donc avec l'augmentation de la vitesse, le tronc se rapproche de la verticale (Atwater, 1979; Broer, 1979; Slocum et James, 1968;

Tableau 4

Mesures angulaires caractéristiques de la course en phase
d'accélération selon certains auteurs

Auteurs	Nombre de sujets	Numéro de l'enjambée	Angle α (degrés)	Angle β (degrés)	Angle du tronc (degrés)
Gagnon (1978)	6	1	67,3	42,4	-
Ward (1973)	11	1	84,8	-	-
Atwater (1979)	12	1	-	-	30
Ward (1973)	11	2	88,54	-	-
Gagnon (1978)	6	2	72,6	45,5	-
Atwater (1979)	12	4	-	-	40
Dowell et al. (1975)	1	9,4 m*	90	50	50
Atwater (1979)	12	50 m*	-	-	85
Dowell et al. (1975)	1	68,6 m*	103	55	75

* Distance parcourue du départ au point de prélèvement des mesures.

Slocum et Bowerman, 1962; Dowell et al., 1975; Vaughan et Matravers, 1977).

3) Vélocité et accélération

Plusieurs auteurs (Henry et Trafton, 1951; Page, 1969; Vaughan et Matravers, 1977; Volkov et Lapin, 1971; Ikai, 1968) ont étudié les variations de vitesse et d'accélération lors d'un sprint en fonction du temps et de la distance parcourue.

Le tableau 5 démontre qu'au départ de course, l'accélération varie entre 3,40 et 10,51 m/s². La vitesse initiale se situe entre 2,50 et 4,20 m/s. Quant au moment où la vitesse maximale est atteinte, il dépendrait de l'habileté du sprinter (Zatsiorskii et Primakov, 1970; Volkov et Lapin, 1979; Ward, 1973) de même que du type de départ utilisé (Gagnon, 1978). Toutefois, il apparaît que pour l'ensemble des sprinters, la vitesse maximale soit atteinte entre le 30e et le 40e mètre (tableau 5).

Gagnon (1978) prétend que suite à un départ debout, la vitesse maximale est atteinte plus tôt (entre le 20e et le 30e m) que pour le départ accroupi (entre le 30e et le 40e m).

D'après Volkov et Lapin (1979), il existe une relation de 0,90 entre la vitesse maximale de course et le moment où celle-ci est atteinte; plus grande est la vitesse, plus grand sera le temps pour l'atteindre.

Tableau 5

Mesures de vitesse et d'accélération en fonction de la distance parcourue selon certains auteurs

Auteurs	Nombre de sujets	Acc. au départ m/s ²	Vitesse au départ m/s	Vitesse max (m/s)				
				Régions en m où les vitesses maximales ont été atteintes				
				- 20	20-30	30-40	40-50	+ 50
Henry et Trafton (1951)	25	6,04	-			8,13		
Murase et al. (1972)	4	-	-		9,9			
Page (1969)	1	10,51	3,02	9,14				
Vaughan et Matravers (1977)	4	10,49	-				10,05	
Volkov et Lapin (1979)	17 E 23 D	- -	- -		7,59	9,00		
Ikai (1968)	25	6,10	-			7,95		
Dowell et al. (1975)	1	-	-		9,75			
Gagnon (1978)	6 6	5,48 7,76	2,95* 2,81		7,95		7,90	
Ward (1973)	11 11	- -	3,72* 3,54					10,62 10,82
Delhez et Loverius (1980)	16	8,45	3,49					
Zatsiorskii et Primakov (1970)	75	3,40	2,50			9,0		
Atwater (1979)	12	-	4,20					11,40

* = départ debout.

E = expert

D = débutant



Zatsiorskii et Primakov (1970) rapportent une corrélation négative de -0,83 entre l'accélération du départ et la vitesse maximale. Cette relation négative est aussi observée par Volkov et Lapin (1979) mais dans le cas seulement des débutants ($R = -0,65$). De plus, selon Zatsiorskii et Primakov (1970), l'accélération du départ est en relation négative avec la vitesse initiale de course ($r = -0,649$); d'autre part les paramètres anthropométriques (poids et longueur du membre inférieur) n'influencent pas les indices de vitesse et d'accélération en course.

Synthèse de la cinématique de la course: course à vitesse constante vs course en phase d'accélération.

Il semble donc que les modifications à un accroissement de la vitesse soient différentes selon que les paramètres ont été prélevés en phase de vitesse constante ou en phase d'accélération (Gagnon, 1973). Il apparaît qu'en phase d'accélération (tableaux 2, 4 vs 1, 3), la fréquence est plus élevée quelle que soit la vitesse; la durée du cycle ne varie pratiquement pas; la durée d'envol reste très faible; les angles α et β , et l'angle du tronc augmentent de manière assez constante.

La cinétique de la course

1) Les facteurs dynamiques: forces et impulsions

A) La course à vitesse constante

Le tableau 6 illustre les caractéristiques cinétiques de la course pour des vitesses constantes. On constate que la force verticale

Tableau 6

Forces bi-axiales maximales caractéristiques de la course à vitesse constante selon différents auteurs. Les données sont exprimées en multiples du poids corporel

Auteurs	Nombre sujets	Vélocité m/s	Forces verticales		Forces horizontales	
			Impact	Propulsion	Freinage	Propulsion
Miller (1978)	1	Jogging lent	2,1	2,5	0,4	0,4
Roy (1982)	20	3,36	1,7	2,6	0,5	0,4
Cavagna et al. (1964)	1	3,61	1,2	2,5	0,41	0,31
Yoneda et al. (1979)	10	3,93	-	2,1	-	-
Boccardi et al. (1979)	2	4,10	-	3,1	0,30	-
Bates et al. (1979)	2	4,15-4,88	2,15	2,66	-	-
Cavanagh et Lafortune (1980)	17	4,5	2,20	2,70	0,45	0,50
Mason (1980)	24	4,74	2,14	3,06	0,51	0,50
Roy (1982)	20	5,35	3,0	3,0	0,80	0,60
Fukunaga (1978)	8	5,80	2,5	2,5	0,60	0,60
Fenn (1930)	1	6,4-7,7	-	-	0,70	0,40
Yoneda et al. (1979)	10	6,69	-	2,94	-	-
Fukunaga et al. (1978)	8	7,43	4,4	2,5	1,20	0,60
Mason (1980)	24	7,58	2,65	3,16	0,65	0,69
Payne (1978)	1	7,52	5,46	2,99	0,86	0,66
Boccardi et al. (1979)	2	7,74	-	2,70	0,35	-
Payne et al. (1968)	1	8,00	3,20	3,80	1,30	1,30
Fukunaga et al. (1978)	8	9,03	2,50	2,80	0,90	0,80
Tsujino (1966)	9	9-10	-	4,06	2,55	0,93

maximale d'impact varie d'environ 2,0 à 4,0 X P.C. (poids du corps) et la force verticale maximale de propulsion d'environ 2,5 à 4,0 X P.C. entre la vitesse la plus lente et la plus élevée. Toutefois il est évident que les forces verticales maximales d'impact et de propulsion varient énormément à des vitesses d'environ 6 m/s. Est-ce que les variations observées par Buchanan (1971), Nelson et al. (1976), Dillman (1975), Nelson et Osterhoudt (1971), Cavagna et al. (1976), pour le temps d'envol (tableau 1) à ces mêmes vitesses sont en rapport avec ces variations dans les forces d'impact et de propulsion? Aucune étude jusqu'à présent n'a semblé répondre à cette question.

La force de freinage horizontal s'échelonne de 0,4 à 2,5 X P.C. en fonction de la vitesse alors que la force de propulsion horizontale s'accroît légèrement de 0,4 à 0,9 X P.C. Quant aux mesures d'impulsion, elles ont fait l'objet de quelques études. Selon Roy (1980), l'impulsion verticale nette croît de 75 à 85 N · s à des vitesses de 3,35 à 5,36 m/s. Les impulsions horizontales de freinage et de propulsion sont de l'ordre de 20 N · s (Roy, 1982; Tsujino, 1966; Bates et al, 1979b); d'après Payne (1968), plus petites seront ces impulsions, plus efficace sera la course.

Roy (1982) rapporte pour des vitesses de 3,35 à 5,36 m/s des corrélations positives entre la vitesse de course et les variables suivantes: la force verticale maximale d'impact (0,65), la force horizontale maximale de freinage (0,54), la force horizontale maximale de propulsion (0,65), la durée de freinage horizontal (-0,57). Selon Cavanagh et Lafortune (1980) il y aurait un rapport négatif de -0,67 entre la durée

de support et la force verticale maximale d'impact. D'après Fenn (1930), Deshon et Nelson (1964), Slocum et Bowerman (1968), Broer (1979), Atwater (1973), Gagnon (1978), Ward (1973), Dillman (1971), Mason (1980), plus grande sera la distance horizontale du coureur entre le pied et une verticale passant par le centre de gravité lors du contact du pied au sol, plus grand sera le freinage horizontal.

L'impulsion horizontale nette lors de la course à vitesse constante est pratiquement nulle selon Payne (1968). De l'avis de Cavanagh et Lafortune (1980), la différence positive entre l'impulsion horizontale de freinage et de propulsion tend à prouver qu'une plus grande vitesse horizontale du centre de gravité est indispensable au début de la phase d'envol pour lutter contre la résistance de l'air.

Mason (1980) et Cavanagh et Lafortune (1980) ont observé une grande variabilité inter-individuelle dans le type de réception du pied au sol. Ainsi la forme de l'impact vertical et horizontal est modifiée selon que le coureur prend contact au sol avec le talon ou l'avant-pied. Ces mêmes auteurs sont les seuls à notre connaissance à signaler la présence d'un double pic dans la courbe de freinage horizontal. Cette courbe est par contre illustrée dans beaucoup d'études (Fenn, 1930; Payne, 1978; Roy, 1982; Fukunaga et al., 1978; Miller, 1978).

B) La course en phase d'accélération

Pour la course en phase d'accélération, le tableau 7 démontre que les forces verticales maximales de propulsion augmentent de 1,9 à

Tableau 7

Forces bi-axiales maximales caractéristiques de la course en phase d'accélération selon différents auteurs. Les données sont exprimées en multiples du poids corporel

Auteurs	Nombre sujets	Vélocité m/s	Forces verticales		Forces horizontales	
			Impact	Propulsion	Freinage	Propulsion
Cavagna et al. (1971)	1	Départ 3 m/s	-	1,91	0	1,48
Laananen et Brooks (1978)	1	1,9	-	-	0,18	1,42
Laananen et Brooks (1978)	1	2,4	-	-	0,32	0,83
Payne et al. (1968)	1	2e pas	1,5	2,10	0	0,80
Cavagna et al. (1971)	3	4,0	-	1,84	0	0,88
Tsujino (1966)	2	4 m ligne de départ	-	2,62	0	1,20
Cavagna et al. (1971)	3	5,0	-	2,21	0	0,74
		5,7	-	2,57	-	0,74
		6,2	-	2,50	0,15	0,66
Tsujino (1966)	9	15 m ligne de départ	-	3,57	1,94	1,23
Tsujino (1966)	9	50 m ligne de départ	-	4,06	2,55	0,93

4,1 X P.C. En ce qui concerne l'impact vertical, seul Payne (1968) rapporte des valeurs de 1,5 X P.C. à la deuxième enjambée.

La force horizontale maximale de freinage est presque nulle au cours des premières enjambées puis augmente avec la vitesse de course; par contre Payne (1968) soutient d'autre part qu'en phase d'accélération la force de freinage est relativement peu importante par rapport à la force de propulsion horizontale. La force horizontale maximale de propulsion décroît de 1,48 à 0,93 X P.C. en fonction de l'augmentation de la vitesse.

Les impulsions horizontales de propulsion, au départ, sont de l'ordre de 200 à 300 N · s (Gagnon, 1978; Ward, 1973; Delhez et Loverius, 1980; Baumann, 1976). Elles diminuent progressivement avec l'accroissement de la vitesse.

Tsujino (1966) rapporte des impulsions horizontales de propulsion de 13,1 N · s à 15 mètres de la ligne de départ et des impulsions de freinage de 11,3 N · s. Il soutient que dans le sprint la force horizontale de propulsion joue un rôle important.

Cavagna (1971) démontre l'importance des premières enjambées en prenant en considération la vitesse développée par le coureur lors de la phase de support. Nous n'avons malheureusement pas trouvé de données relatives à l'impulsion verticale nette.

2) L'importance relative de la phase de support

Une des fonctions de la phase de support est de freiner le mouvement descendant du corps, grâce surtout à la flexion au niveau de la

hanche, du genou et de la cheville de la jambe d'appui; elle permet en outre au coureur de se propulser vers l'avant et le haut grâce à l'extension de ces trois mêmes articulations (Hay, 1978).

James et Brubaker (1973) soutiennent que la fonction de la phase de support est: (1) d'absorber l'impact du contact du pied au sol; (2) de supporter le poids du corps; (3) de maintenir le mouvement horizontal; (4) d'accélérer le centre de gravité contre les résistances internes et externes.

A) La course à vitesse constante

A partir d'analyse cinématographique Dittmer (1962) divise le support en deux phases: l'absorption et la propulsion. Il trouve une amélioration de la vitesse chez les jeunes qui diminuent leur temps d'absorption pendant que le temps de propulsion demeure le même. Beck (1966) sépare de la même manière que Dittmer (1962) le support. Elle rapporte que 40% du temps est consacré à la phase d'absorption et 60% à la phase de propulsion.

Bates et Haven (1973) divisent le support en phase de contact et de propulsion. Cette dernière occupe environ 60%. Roy (1982), Cavanagh et Lafortune (1980), Bates et al. (1979b), utilisant une plate forme de force, séparent le support en phase de freinage et de propulsion. La transition entre ces deux phases survient approximativement à 50% du temps de support.

Enfin Luhtanen et Komi (1978, 1980) divisent le support en phase excentrique et concentrique. La phase excentrique est la période où le coureur abaisse son centre de gravité; la phase concentrique est la

période où le coureur élève celui-ci. Leurs résultats démontrent que la durée de ces deux phases est relativement constante indépendamment de la vitesse: 35% à 3,9 m/s et 33% à 9,3 m/s pour la phase excentrique.

B) La course en phase d'accélération

Tsujino (1966) à l'aide d'une plate forme de force divise le support en trois phases: phase de freinage (contact du pied au sol), phase d'appui (absence de force horizontale) et finalement phase de propulsion (forces horizontales de propulsion). Selon cet auteur le freinage occupe 17% du temps de support aux 15e et 50e mètres du départ; l'appui représente 53% du support au 15e mètre du départ et 57% au 50e mètre; finalement, la propulsion équivaut à 30% de la phase de support à 15 m, 26% à 50 m du départ.

Synthèse de la cinétique de la course: course à vitesse constante vs course en phase d'accélération.

Les facteurs dynamiques en phase d'accélération diffèrent considérablement de ceux à vitesse constante. Ainsi en phase d'accélération, la force horizontale maximale de propulsion diminue au lieu d'augmenter; la force horizontale maximale de freinage est nulle au départ et tout au cours des premières enjambées; l'impulsion horizontale de propulsion est très élevée; les forces verticales augmentent semble-t-il jusqu'au moment où la vitesse devient constante.

Quant aux phases relatives qui divisent le support, il existe une grande variabilité des données et on ne peut tirer de conclusions fermes.

Néanmoins, il semble qu'en période d'accélération, la phase de propulsion horizontale prédomine la phase de freinage horizontal mais qu'en période de vitesse constante, ces deux phases soient à peu près égales.

Sommaire

Le tableau 8 présente une synthèse des différentes données caractéristiques de la course à vitesse constante et en phase d'accélération. Il semble donc que les modifications à un accroissement de la vitesse en phase d'accélération diffèrent considérablement de celles à vitesse constante. Ainsi en phase d'accélération, la fréquence d'enjambée est plus élevée quelle que soit la vitesse; la durée d'envol reste très faible; les angles α , β et du tronc augmentent de façon constante; les forces et les impulsions horizontales apparaissent plus importantes.

Toutefois, il faut signaler qu'il existe une grande variabilité dans les données surtout du côté des études cinétiques de la course où le nombre de recherches est limité, que ce soit en phase d'accélération ou de vitesse constante.

Tableau 8

Tableau récapitulatif des variations des paramètres cinétiques et cinématiques en fonction d'une augmentation de la vitesse

Variables	Course à vitesse constante		Course en phase d'accélération	
	3 m/s	à 11 m/s	3 m/s	à 11 m/s
Longueur d'enjambée	↑ 1,10	à 2,50	↑ 1,09	à 2,50
Longueur relative d'enjambée	↑ 0,8	à 1,40	↑ 0,6	à 1,40
Fréquence d'enjambée	↑ 2,68	à 4,13 E/s	↑↑ 4,0	à 5,0 E/s
Durée de support	↓ 250	à 94 ms	↓ 168	à 94 ms
Durée d'envol	↑↑ 110	à 124 ms	↑ 70	à 124 ms
Durée totale du cycle	↓ 360	à 218 ms	→ 218	à 218 ms
Durée relative d'envol	↑ 30	à 57%	↑ 23	à 57%
Angle du tronc	→	80°	↑ 30	à 80°
Angle α	→	103°	↑ 67	à 103°
Angle β	↓ 63	à 55°	↑ 42	à 55°
Force verticale maximale d'impact	↑↓ 2,0	à 3,0 X P.C.	?	-
Force verticale maximale de propulsion	↑ 2,5	à 3,5 X P.C.	↑ 1,9	à 4,0 X P.C.
Impulsion verticale nette	? 75	à -	?	-
Force horizontale maximale de freinage	↑ 0,4	à 1,5 X P.C.	↑ 0	à 2,0 X P.C.
Impulsion horizontale de freinage	? 19	à - N. s	↑ 0	à 12 N. s
Force horizontale maximale de propulsion	↑ 0,4	à 0,9 X P.C.	↓ 1,5	à 0,9 X P.C.
Impulsion horizontale de propulsion	→ 15	à 19 N. s	↓ 300	à 12 N. s
Durée relative d'absorption verticale	→	34%	?	-
Durée relative de freinage horizontal	→	50%	?	-

- Données manquantes
 ↑ Augmentation
 ↓ Diminution
 ↑↓ Augmente puis diminue
 ↑→ Beaucoup de variations

NOTE: Dans certains cas, il s'agit d'une moyenne sur les premiers ou les derniers essais.

CHAPITRE III

METHODOLOGIE

Cette étude sur la cinématique et la cinétique de la course en phase d'accélération a été réalisée grâce à l'utilisation de différentes techniques d'investigation. Ce chapitre est divisé de la manière suivante: les sujets, le protocole expérimental, les techniques d'enregistrement et d'analyse des données, les traitements statistiques utilisés et les définitions opérationnelles des différentes variables mesurées.

Les sujets

Dix sujets de sexe masculin furent sélectionnés pour participer à cette étude. Tous ces sujets s'adonnaient régulièrement à ce sport depuis cinq ans en moyenne. La taille des sujets était de $1,78 \text{ m} \pm 0,07 \text{ m}$; leur masse était de $70,3 \text{ kg} \pm 3,5 \text{ kg}$ et ils étaient âgés de $21,2 \text{ ans} \pm 1,3 \text{ ans}$. La moyenne des meilleurs temps des coureurs sur 100 m était de $11,1 \text{ s} \pm 0,02 \text{ s}$.

Le protocole expérimental

Les données furent enregistrées dans le stade couvert du Pavillon d'éducation physique et des sports de l'Université Laval sur une période de quatre jours à la fin du mois d'avril 1980. Chaque sujet devait effectuer en tout 15 essais répartis sur trois jours consécutifs, soit l'équivalent de cinq essais par jour. Pour le prélèvement des données du départ à la dixième enjambée le sujet devait parcourir une distance maximale de 20 mètres; pour les enjambées 12 à 18 le sujet devait parcourir une distance maximale de 40 mètres.

Pour chaque essai le coureur partait debout pieds joints (figure 1), le talon de la jambe de recouvrement (avant) en appui sur un commutateur de 5 cm d'épaisseur et destiné à actionner un des deux chronomètres placés à la ligne de 20 m ou 40 m, selon les essais. Ces deux chronomètres de marque Lafayette Clock Counter (modèle 54519; figure 2) servaient à enregistrer les temps des coureurs. Le système était composé du commutateur de départ et de deux cellules photo-électriques, placées à la hauteur de la tête des coureurs. Lorsque ce dernier coupait le faisceau lumineux après 20 m ou 40 m de course, le chronomètre s'arrêtait instantanément. Un essai qui s'écartait de plus ou moins 50 ms de la moyenne (calculée à partir des essais effectués la première journée sur les distances de 20 m et 40 m) du coureur n'était pas accepté et était repris.

Tous les athlètes portaient leurs souliers à pointes et étaient vêtus d'une culotte courte. Une période de trois à quatre minutes de récupération était accordée aux sujets entre chaque essai.



Figure 1 - Illustration de la position du coureur au départ.

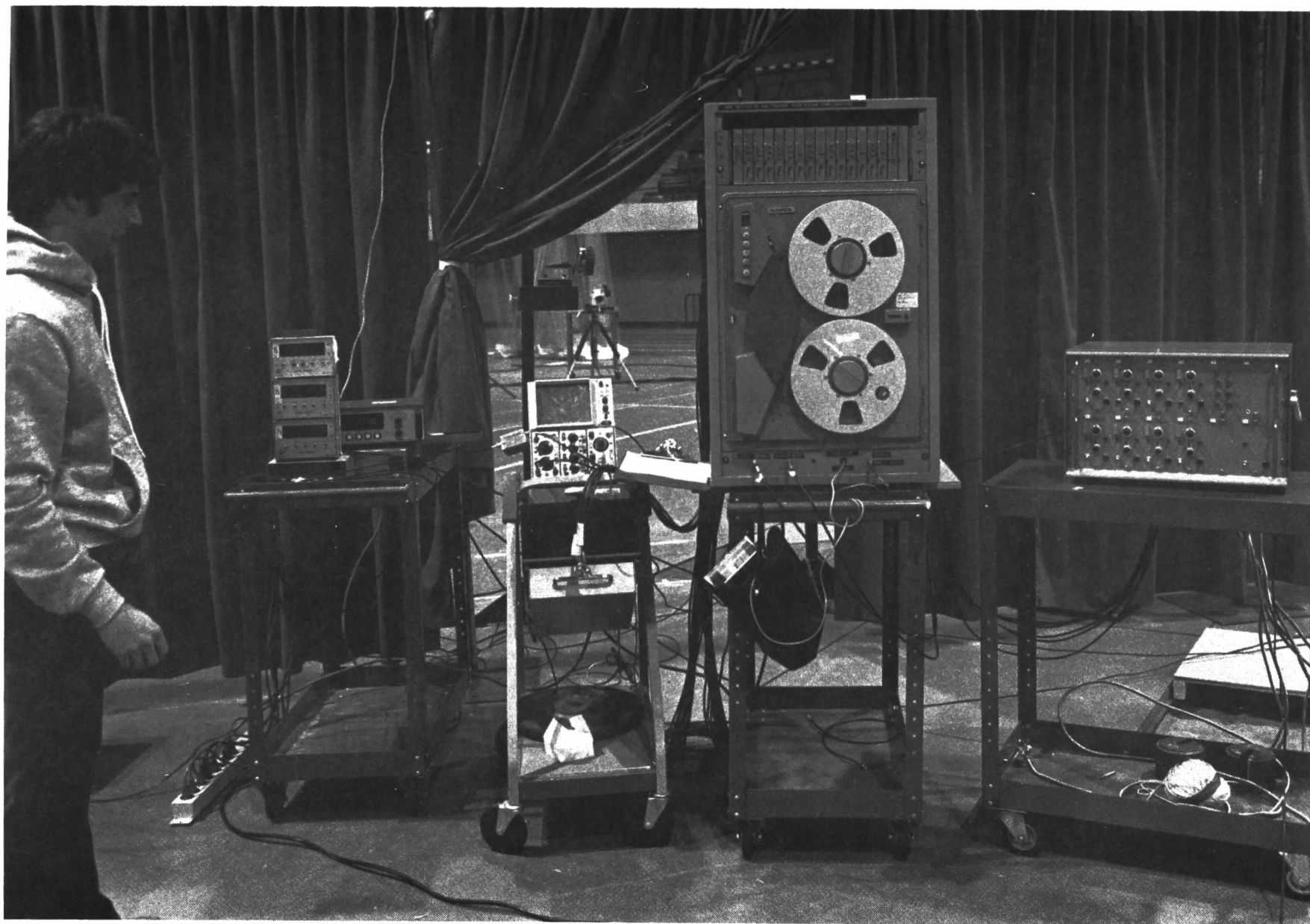


Figure 2 - Disposition de l'appareillage utilisé pour l'enregistrement des données.

Les techniques d'enregistrement et d'analyse des données dynamographiques

Une plate-forme de force de marque Kistler (modèle 9261-A) fut utilisée pour prélever les données dynamographiques. Etant donné les dimensions réduites de cette plate-forme de force (60 cm x 40 cm), les enjambées furent toutes étudiées séparément. Ainsi le coureur devait répéter 15 fois au total le départ et la phase d'accélération de la course d'un sprint de façon à permettre l'enregistrement des données dynamographiques du départ (0), des dix enjambées subséquentes de même que de la 12e, 14e, 16e et 18e enjambées. Pour chacun des sujets l'enregistrement des enjambées se faisait selon un ordre aléatoire.

Comme la plate-forme de force était ancrée à un endroit fixe, le coureur devait ajuster sa course en fonction de la position de cette dernière; toutefois pour une enjambée donnée, il devait prendre contact avec la plate-forme sans effort apparent d'ajustement à celle-ci. Lors d'une séance antérieure, on calcula pour chacun des sujets la position qu'il devait prendre par rapport à la plate-forme pour le départ et pour chacune des enjambées subséquentes.

L'enregistrement des données dynamographiques se faisait donc de la façon suivante:

- 1) choix aléatoire de l'enjambée;
- 2) délimitation de la ligne de départ par rapport à la plate-forme de force;
- 3) installation du commutateur de départ et des faisceaux lumineux à 20 mètres ou 40 mètres selon l'enjambée désignée;
- 4) départ du coureur: debout pieds joints et au moment choisi par ce dernier;

- 5) enregistrement de l'enjambée: cette dernière est acceptée si le contact du pied s'est fait entièrement à l'intérieur du périmètre de la plate-forme de force et si le temps du coureur sur la distance de 20 mètres ou de 40 mètres est constant (i.e. ± 50 ms de sa moyenne sur 20 m ou 40 m);
- 6) reprise de l'essai ou enregistrement de l'enjambée suivante (maximum 5 essais dans une journée).

La plate-forme de force Kistler utilisée est un dynamomètre qui peut mesurer les forces selon les trois composantes suivantes: verticale (FZ), horizontale (FY), transverse (FX). Elle permet en outre de déterminer le point d'application momentané de la force et le moment autour de l'axe vertical. Dans cette étude, seules les composantes FZ et FY furent enregistrées.

La plate-forme de force était fixée sur une plaque métallique de 30 kg et de 60 cm de largeur par 90 cm de longueur qui reposait sur le sable. Cela lui assurait une très grande rigidité et une excellente stabilité. Elle était ainsi encastrée dans le sol au même niveau que la piste (figure 1).

La plate-forme de force fut préalablement calibrée statiquement dans l'axe vertical et horizontal.

Les données étaient enregistrées sur ruban analogue (modèle Ampex-FRI300; figure 2) et subséquemment digitalisées et traitées à l'aide d'un mini-ordinateur de marque Data General, modèle Nova 1200. Un programme a été conçu (appendice A) pour obtenir les courbes de forces verticales et horizontales en fonction du temps, les impulsions horizontales de freinage et de propulsion de même que l'impulsion verticale nette. Les mesures de forces maximales et de durées ont été prélevées

directement sur les courbes de forces verticales et horizontales.

Pour faciliter l'analyse des données, une cellule photo-électrique fut installée à 43 cm du sol et à 50 cm de la plate-forme de force; elle était reliée à un des canaux sur le ruban analogue et servait de repère à l'ordinateur pour déclencher la digitalisation des données.

Les techniques d'enregistrement et d'analyse des données cinématographiques

Une caméra de marque Photosonic (modèle 16 mm-1P) fut utilisée pour filmer les sujets au moment où ils passaient sur la plate-forme de force. La caméra était placée perpendiculairement à l'aire de course (figure 3); le champ visuel permettait d'analyser au moins trois enjambées successives. Parce que la quantité de film disponible pour cette étude était limitée, il fut décidé de ne prendre en synchronisation (dynamographie-cinématographie) que les enjambées paires, c'est-à-dire le départ (0), les 2e, 4e, 6e, 8e, 10e, 12e, 14e, 16e et 18e enjambées. Le côté gauche du coureur faisait toujours face à la caméra (figure 1); sept coureurs sur dix ont initié la première enjambée sur la jambe droite.

Comme l'enregistrement des données cinématographiques s'effectuait en même temps que celui de la dynamographie, la même méthodologie qui fut décrite antérieurement a été utilisée.

La caméra était montée sur un trépied à une hauteur de un mètre du sol et était placée à une distance de 8,9 mètres de la plate-forme de force (figure 4). Elle était équipée d'une lentille de 12 mm et d'un obturateur de 45 degrés. Le temps d'exposition était de 0,08 s et le diaphragme était ouvert à 2,2.

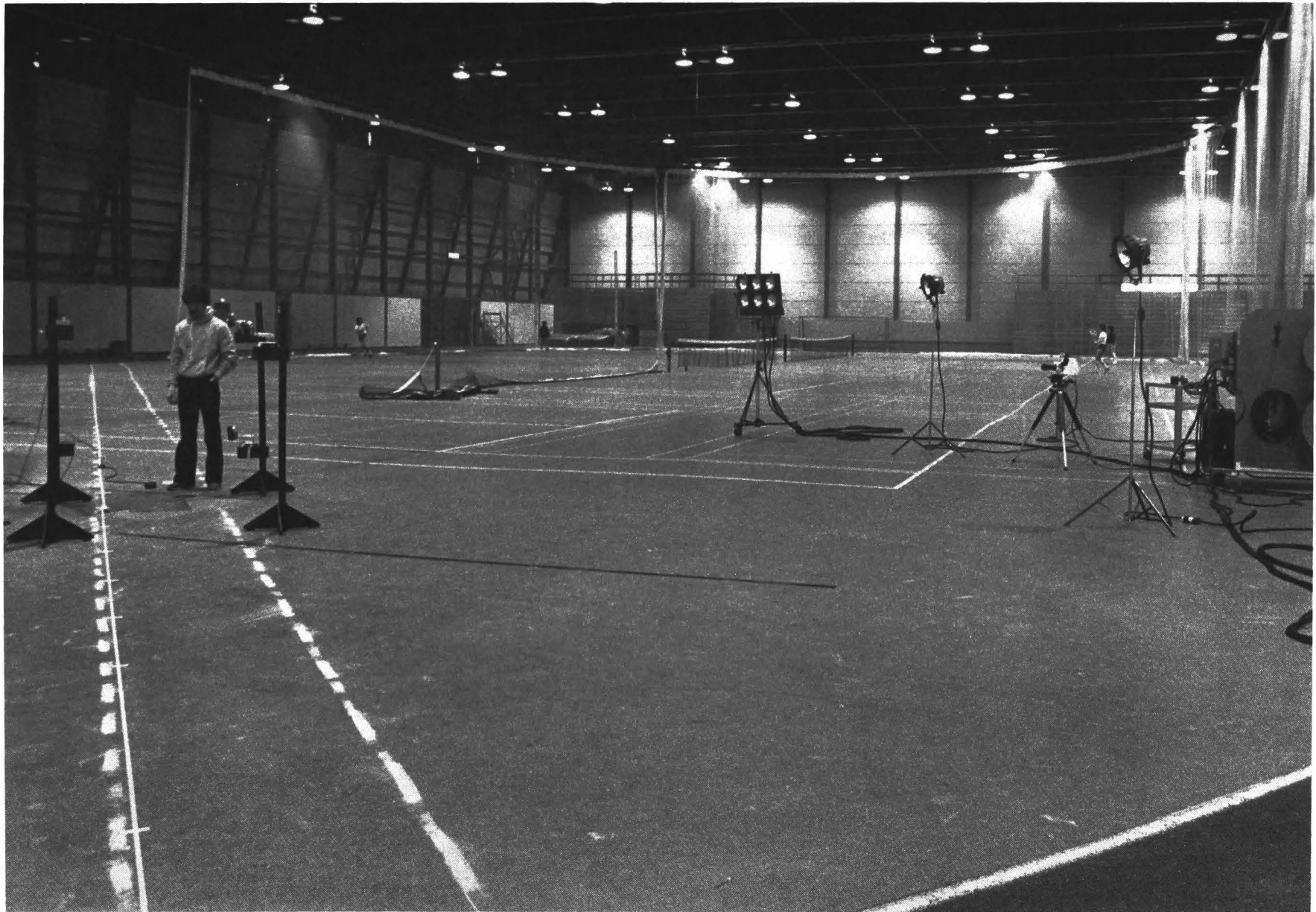


Figure 3 - Illustration de l'aire de prélèvement des données.



Figure 4 - Illustration des instruments cinématographiques.

Le film utilisé était de marque Kodak "4X-Reversal-film" type 7277. La caméra fonctionnait à une vitesse de 100 images/s. La vitesse de déroulement du film était contrôlée grâce à un néon placé dans le champ visuel et dont la fréquence était de 10 Hertz (figure 1). Des rideaux étaient placés à l'arrière plan et un support de bois servait à indiquer le numéro du sujet et de l'essai, en plus de servir de mesure étalon (1 mètre) lors de l'analyse des données (figure 1).

Un écran digitalisé X-Y de 0,83 m² de marque Graf-Pen GP-3, un projecteur 16 mm de marque Vanguard Motion Analyzer, ainsi qu'un ordinateur de marque Apple II ont été utilisés dans le traitement des données cinématographiques.

Le film était projeté image par image sur l'écran. Le centre articulaire proximal et distal de chacun des segments du corps (figure 5) était enregistré sous forme de coordonnées X-Y. Un programme (appendice B) a été spécialement conçu pour calculer la localisation du centre de gravité¹ du coureur pour chaque image analysée. Ce programme permettait de calculer également l'angle compris entre l'horizontale et une droite joignant le centre de gravité du pied et celui du coureur, de même que l'angle du tronc et la longueur d'enjambée.

¹Le centre de gravité a été calculé selon la méthode segmentaire décrite par Hay (1979). Biomechanics of Sports Techniques, p. 136-138.

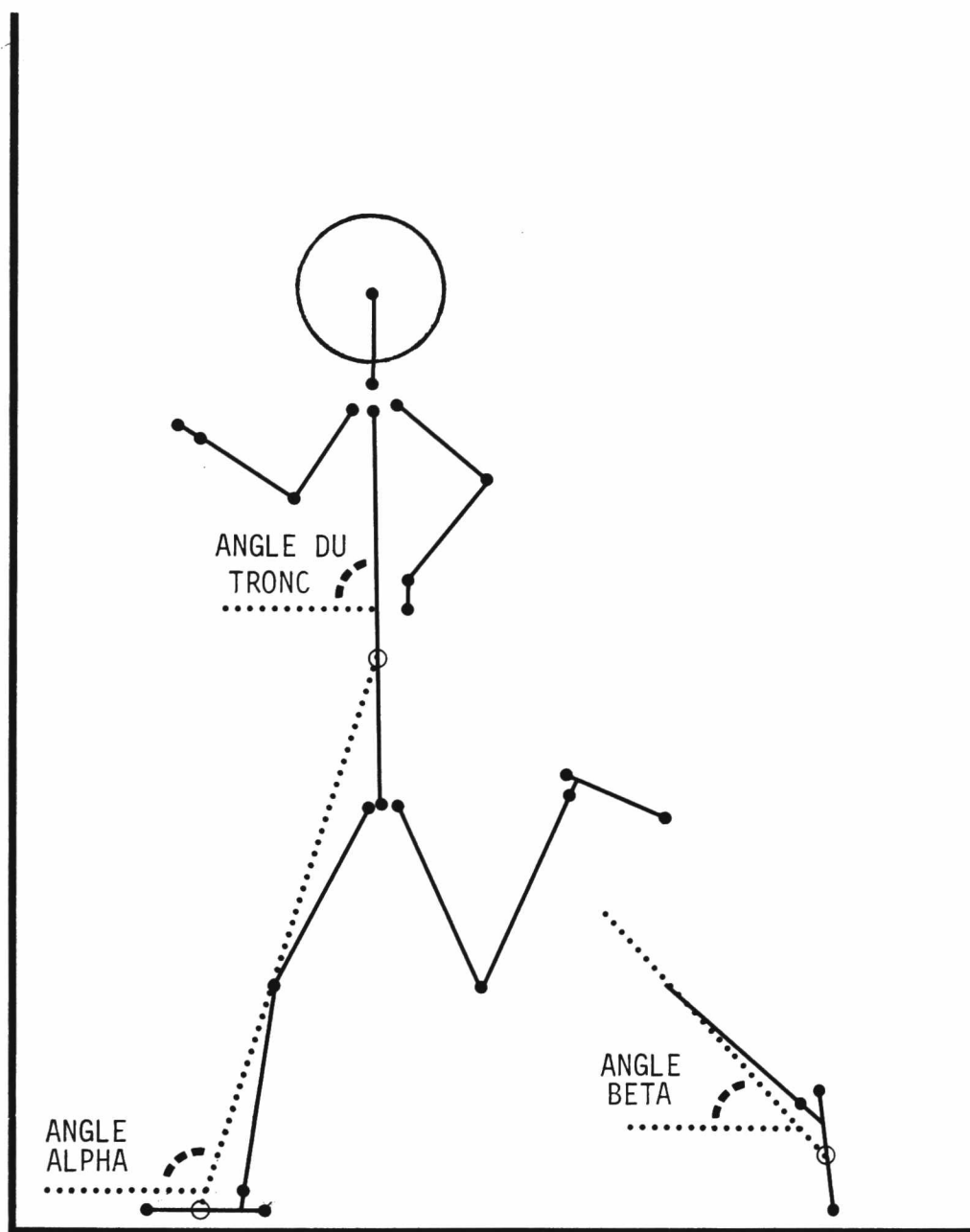


Figure 5 - Modèle de prélèvement des données cinématographiques.

Les traitements statistiques

Toutes les données anthropométriques, cinématographiques et dynamographiques furent perforées sur carte pour être traitées à l'aide de programmes "SAS" (Statistical Analysis System) et "SPSS" (Statistical Package for the Social Science).

Trois traitements statistiques furent utilisés à partir des programmes SAS:

- 1) la moyenne et l'écart-type pour chacune des 42 variables,
- 2) une matrice de corrélations impliquant les 42 variables de l'étude,
- 3) une analyse factorielle dans le but d'identifier les ensembles de variables expliquant la plus grande part de variance.

L'analyse de régression tirée du système SPSS fut utilisée dans le but de trouver les variables qui influençaient le plus significativement les deux variables dépendantes suivantes: la vitesse et l'accélération du coureur.

Les définitions opérationnelles des différentes variables mesurées

A) Variables anthropométriques

- 1) Masse: La masse était enregistrée sur une balance Detecto. Le sujet était vêtu uniquement d'une culotte de gymnastique. La masse fut enregistrée au dixième de kilogramme près. Cette mesure est exprimée en kilogrammes, kg.
- 2) Taille: La taille était mesurée avec le stadiomètre fixé à la balance Detecto. Le sujet se tenait debout, pieds nus sur la balance, talons collés. Le bras du stadiomètre était appuyé sur le sommet de la tête. L'épaisseur des cheveux était éliminée dans la mesure

du possible. Les données furent enregistrées au 0,5 cm près. Cette mesure est exprimée en mètres, m.

B) Variables cinématographiques

- 1) **Vélocité horizontale:** Elle représente la rapidité à laquelle se meut horizontalement le coureur. Elle est calculée en déterminant le déplacement du centre de gravité du coureur entre le début et la fin de la phase d'envol d'une enjambée donnée. Cette mesure est exprimée en m/s.

$$\text{Vélocité horizontale}_n = \frac{X_{f \text{ C G}} - X_{s \text{ C G}}}{T_n}$$

où X C G = Position horizontale du centre de gravité au début (s) et à la fin (f) de la phase d'envol.

T_n = Temps écoulé pour chaque enjambée (n) mesurée.

- 2) **Accélération:** Elle est le rapport dans lequel la vélocité horizontale du coureur varie entre deux phases successives d'envol. Cette mesure est exprimée en m/s^2 .

$$\text{Accélération horizontale}_n = \frac{\text{Vélocité horiz.}_n - \text{Vélocité horiz.}_{(n-1)}}{\text{Temps}}$$

- 3) **Longueur d'enjambée:** Elle représente la distance linéaire entre deux contacts successifs des pieds au sol; cette distance est mesurée depuis l'avant des orteils d'un pied à l'avant des orteils du pied opposé. Cette mesure est exprimée en mètres, m.

$$\text{Longueur d'enjambée}_n = X_{n+1} - X_n$$

où X_{n+1} = Position horizontale de l'avant des orteils du pied avant.

X_n = Position horizontale de l'avant des orteils du pied arrière.

- 4) **Longueur relative d'enjambée:** Elle est le rapport de la longueur d'enjambée (n) sur la taille du coureur. Cette mesure est un quotient.

$$\text{Longueur relative d'enjambée} = \frac{\text{Longueur d'enjambée (m)}}{\text{Taille (m)}}$$

- 5) Fréquence d'enjambée: Elle est trouvée en calculant le nombre d'enjambées exécutées par unité de temps (s). Cette mesure est exprimée en enjambées/s.
Fréquence = 1 seconde ÷ temps d'une enjambée
- 6) Durée d'envol: Elle correspond au temps écoulé entre le moment où un pied quitte le sol et l'autre l'atteint. Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.
- 7) Durée totale du cycle de course: Elle est la somme de la durée d'envol et de la durée de support (voir définition plus loin). Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.
Durée du cycle d'enjambée = Durée de support + Durée d'envol
- 8) Durée relative d'envol: Elle représente le pourcentage de la durée du cycle d'enjambée où le corps n'est pas en contact avec le sol. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.
- 9) Durée relative de support: Elle représente le pourcentage de la durée du cycle d'enjambée où le corps est en contact avec le sol. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.
- 10) Angle α : Il représente l'angle compris entre un plan horizontal et une droite joignant le centre de gravité du pied et celui du coureur au début de la phase de support (figure 5). Cette mesure est exprimée en degrés ($^{\circ}$).
- 11) Angle β : Il représente l'angle compris entre un plan horizontal et une droite joignant le centre de gravité du pied et celui du coureur à la fin de la phase de support (figure 5). Cette mesure est exprimée en degrés ($^{\circ}$).
- 12) Angle du tronc: Il représente l'angle compris entre un plan horizontal et une droite joignant le noeud jugulaire et le centre de l'axe articulaire de la hanche (figure 5). Cette mesure est exprimée en degrés ($^{\circ}$).

C) Variables dynamographiques

1) Composantes verticales:

- 1.1 Les forces verticales: trois points importants sont prélevés sur la courbe de force verticale présentée à la figure 6:

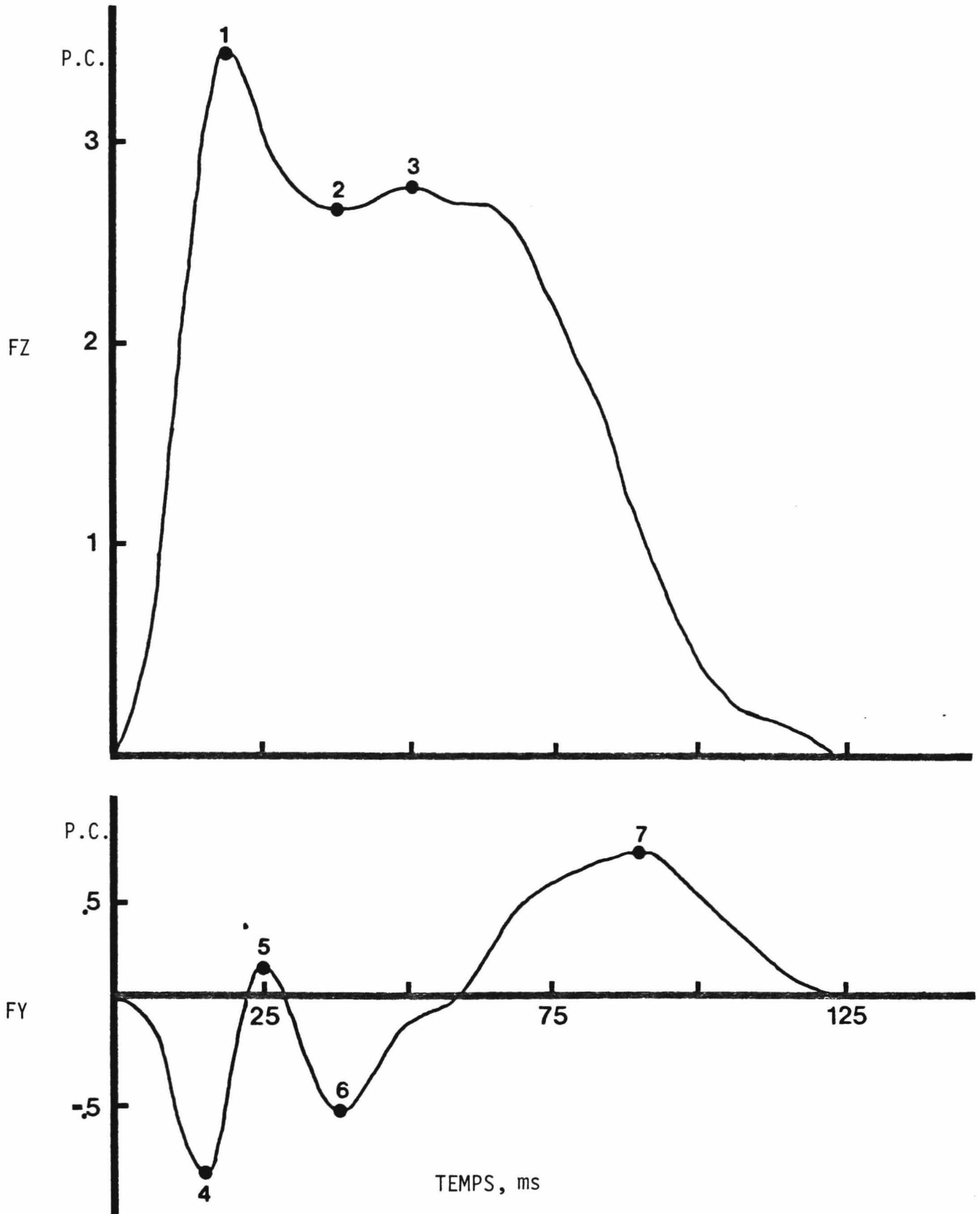


Figure 6 - Courbe typique des forces FZ et FY de la 18e enjambée (sujet P.R.).

- (1) Le point 1 correspond au premier sommet de la force verticale et est nommé force verticale maximale d'impact. C'est la force verticale produite par la réception du pied au sol. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.
- (2) Le point 2 correspond au creux qui suit le premier sommet et est nommé force verticale d'absorption. C'est la force verticale produite à la suite de la stabilisation du pied et du centre de gravité dans les premiers moments de la phase de support. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.
- (3) Le point 3 correspond au second sommet d'importance et est nommé force verticale maximale de propulsion. C'est la force verticale produite lors de l'extension des membres inférieurs en fin de phase de support. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.

1.2 Les durées des phases verticales: la courbe verticale présentée sur la figure 7 est divisée en trois phases:

- (1) La phase d'absorption correspond à la période de temps où le coureur, en contact avec le sol, amortit le choc de l'impact en abaissant son centre de gravité. Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.
- (2) La phase de transition correspond à la période de temps où le coureur passe de l'absorption à la propulsion. Cette phase a été arbitrairement située (figure 7) entre le point 2 qui correspond à la force d'absorption et le point 3 qui correspond à la force verticale maximale de propulsion. Une fois cette étape terminée, on vérifiait à l'aide de la cinématographie si effectivement le centre de gravité arrivait bien à son point le plus bas dans la phase de transition; il n'était techniquement pas possible, dû surtout à la faible vitesse du déroulement du film (100 im./s) de déterminer un point précis délimitant sur la courbe de force verticale la fin réelle de la phase d'absorption et le début de la phase de propulsion. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.
- (3) La phase de propulsion correspond à la période de temps où le coureur élève son centre de gravité. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.

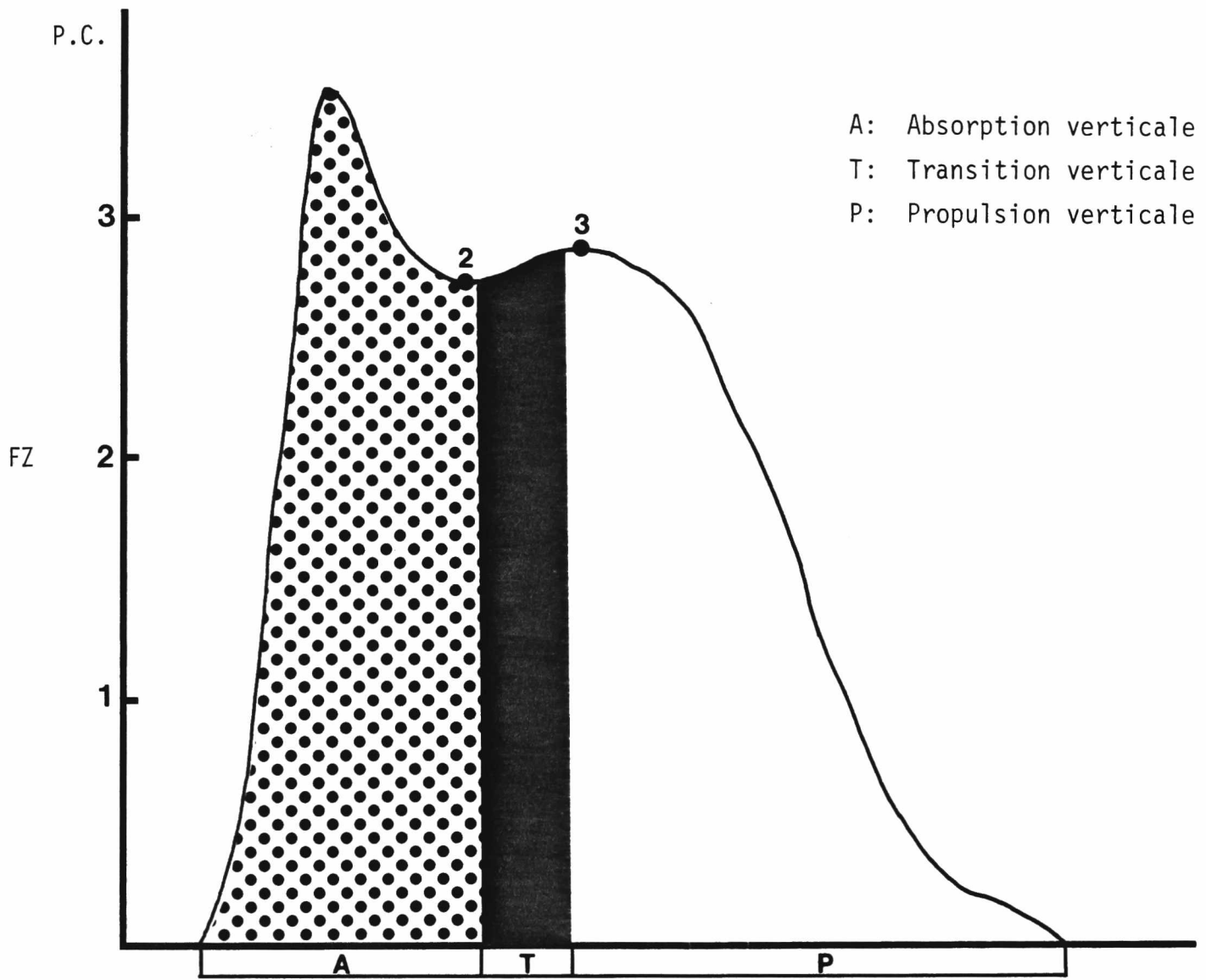


Figure 7 - Phases d'absorption, de transition et de propulsion verticale de la 18e enjambée (sujet P.R.).

1.3 Durées relatives des phases verticales.

- (1) Durée relative d'absorption verticale: Elle représente le pourcentage de la durée de support en phase d'absorption verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\text{Durée relative d'absorption verticale} = \left(\frac{\text{Durée absorption vert.}}{\text{Durée de support}} \right) \times 100$$

- (2) Durée relative de transition verticale: Elle représente le pourcentage de la durée de support en phase de transition verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\text{Durée relative de transition verticale} = \left(\frac{\text{Durée transition vert.}}{\text{Durée de support}} \right) \times 100$$

- (3) Durée relative de propulsion verticale: Elle représente le pourcentage de la durée de support en phase de propulsion verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\text{Durée relative de propulsion verticale} = \left(\frac{\text{Durée propulsion vert.}}{\text{Durée de support}} \right) \times 100$$

- 1.4 La durée de support: Calculée à partir de la courbe de force verticale présentée à la figure 6; elle correspond à la période de temps où le pied est en contact avec le sol. Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.

- 1.5 L'impulsion verticale nette: Elle représente l'aire totale sous la courbe verticale de la figure 3 moins l'aire due à l'influence du poids. Elle se définit mathématiquement de la façon suivante:

$$\int_{T_i}^{T_f} FZ \, dt - \int_{T_i}^{T_f} \text{poids} \, dt = \text{impulsion verticale nette}$$

où T_f = Temps final
 T_i = Temps initial
 FZ = forces verticales

Cette mesure est exprimée en Newtons.seconde, N.s

2) Composantes horizontales:

2.1 Les forces horizontales: quatre points importants sont prélevés sur la courbe de force horizontale présentée à la figure 6:

- (1) Le point 4 correspond au premier sommet de la courbe horizontale et est nommé force horizontale maximale d'impact. C'est la force horizontale produite par la réception du pied au sol. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.
- (2) Les points 5 et 6 correspondent respectivement aux deuxième et troisième sommets et sont appelés forces horizontales d'absorption. Ces forces horizontales sont produites à la suite de la stabilisation du pied et du centre de gravité dans les premiers moments de la phase de support. Ces mesures sont exprimées en multiples du poids corporel, X P.C.
- (3) Le point 7 correspond au dernier sommet et est appelé force horizontale maximale de propulsion. C'est la force horizontale produite lors de l'extension des membres inférieurs au cours de la seconde moitié de la phase de support. Cette mesure est exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.

2.2 Les durées des phases horizontales: la courbe horizontale présentée à la figure 8 est divisée en deux:

- (1) La phase de freinage correspond aux sections négatives de la courbe. C'est la période de temps où le coureur produit des forces qui freinent sa progression vers l'avant. Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.
- (2) La phase de propulsion correspond aux sections positives de la courbe. C'est la période de temps où le coureur produit des forces qui accélèrent sa progression vers l'avant. Cette mesure est exprimée en millisecondes, ms.

2.3 Les durées relatives des phases horizontales:

- (1) La durée relative de freinage horizontal: Elle représente le pourcentage de la durée de support en phase de freinage horizontal. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\text{Durée relative de freinage horizontal} = \left(\frac{\text{Durée de freinage horiz.}}{\text{Durée de support}} \right) \times 100$$

F: FREINAGE HORIZONTAL

P: PROPULSION HORIZONTALE

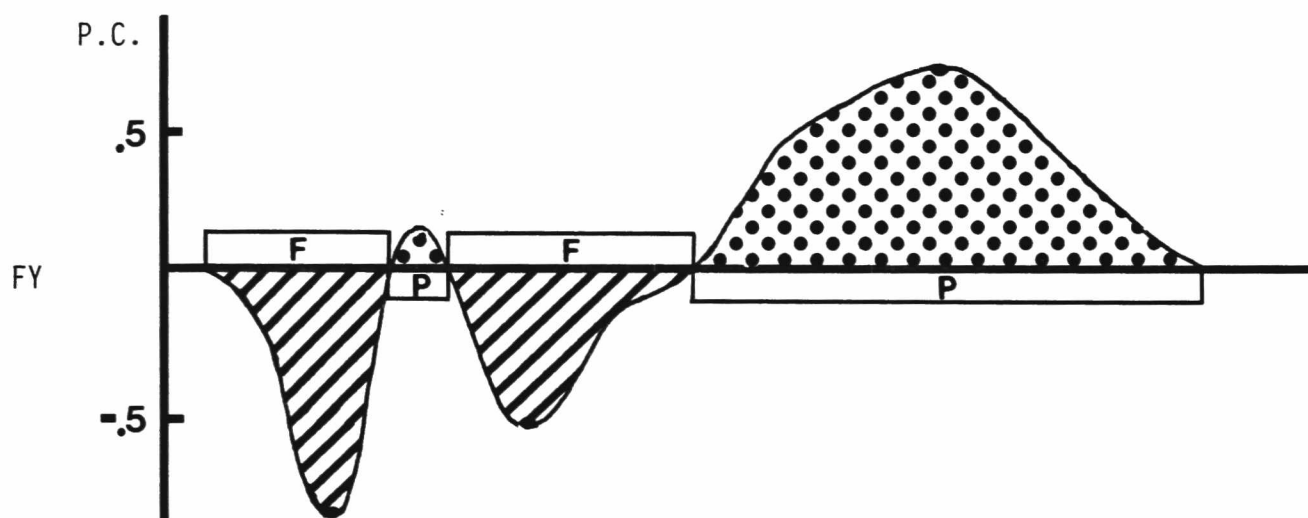


Figure 8 - Phases de freinage et de propulsion horizontale de la 18e enjambée (sujet P.R.).

- (2) La durée relative de propulsion horizontale: Elle représente le pourcentage de la durée de support en phase de propulsion horizontale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\text{Durée relative de propulsion horizontale} = \left(\frac{\text{Durée de propulsion horiz.}}{\text{Durée de support}} \right) \times 100$$

2.4 Les impulsions horizontales:

- (1) Impulsion horizontale de freinage: Elle représente l'aire sous la courbe de freinage sur la figure 8. Elle se définit mathématiquement de la façon suivante:

$$\int_{T_i}^{T_f} F_Y \text{ freinage } dt = \text{Impulsion freinage}$$

Cette mesure est exprimée en Newtons.seconde, N . s.

- (2) Impulsion horizontale de propulsion: Elle représente l'aire sous la courbe de propulsion sur la figure 8. Elle se définit mathématiquement de la façon suivante:

$$\int_{T_i}^{T_f} F_Y \text{ propulsion } dt = \text{Impulsion propulsion}$$

Cette mesure est exprimée en Newtons.seconde, N . s.

- (3) Impulsion horizontale nette: Elle est la somme de l'impulsion horizontale de freinage et de propulsion. Cette mesure est exprimée en Newtons.seconde, N . s.

$$\text{Impulsion horiz. nette} = \text{impuls. horiz. de freinage} + \text{impuls. horiz. de propulsion}$$

3) Composantes verticales et horizontales:

- 3.1 Pourcentage de freinage horizontal pendant la phase d'absorption verticale: C'est le pourcentage de temps de freinage en phase d'absorption verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\% \text{ freinage pendant phase d'absorption verticale} = \left(\frac{\text{Durée de freinage horiz.}}{\text{Durée d'absorption vert.}} \right) \times 100$$

- 3.2 Pourcentage de freinage horizontal pendant la phase de transition verticale: C'est le pourcentage de temps de freinage en phase de transition verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\% \text{ frein. pendant phase de transition vert.} = \left(\frac{\text{Durée frein. horiz.} - \text{Durée frein. pendant phase d'absorption}}{\text{Durée de transition verticale}} \right) \times 100$$

- 3.3 Pourcentage de propulsion horizontale pendant la phase d'absorption verticale: C'est le pourcentage de temps de propulsion en phase d'absorption verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\% \text{ propulsion pendant phase d'absorption verticale} = \left(100 - \% \text{ freinage pendant phase d'absorption verticale} \right)$$

- 3.4 Pourcentage de propulsion horizontale pendant la phase de transition verticale. C'est le pourcentage de temps de propulsion en phase de transition verticale. Cette mesure est exprimée en pourcentage, %.

$$\% \text{ propulsion pendant phase de transition verticale} = \left(100 - \% \text{ freinage pendant phase de transition verticale} \right)$$

CHAPITRE IV

RESULTATS

L'analyse des données

Les résultats de l'étude sont présentés dans ce chapitre. Une première partie fait état des variations dans les paramètres cinématiques et dynamiques; la seconde partie porte sur les analyses de corrélation, les analyses factorielles et de régression multiple auxquelles furent soumis les résultats.

1) Variations dans les paramètres cinématiques

Les mesures obtenues à partir des données cinématographiques décrivent les changements survenant dans les variables cinématiques au cours des dix-huit premières enjambées d'une course en phase d'accélération.

A) Vitesse et accélération

La figure 9 illustre la courbe de vitesse et d'accélération des sprinters¹. L'accélération est relativement élevée ($4,56 \text{ m/s}^2$) lors des premières enjambées; elle diminue progressivement pour se stabiliser à moins de $0,6 \text{ m/s}^2$ vers la 14e enjambée. Bien qu'elle soit négative pour certains de nos sujets, l'accélération moyenne est encore positive à la 18e enjambée.

La courbe de vitesse croît en fonction du nombre d'enjambées. De $2,9 \text{ m/s}$ au départ (0), elle atteint un sommet de $9,1 \text{ m/s}$ à l'enjambée finale (18e). Comme on peut le constater l'augmentation est plus importante au cours des premières que des dernières enjambées.

B) Variables temporelles: longueur, fréquence, durée

La figure 10 présente les modifications survenant à la longueur absolue et relative d'enjambée et à la fréquence d'enjambée. La longueur absolue d'enjambée passe de $0,95$ à $2,17 \text{ m}$, et la longueur relative augmente de $0,53$ à $1,21$ en fonction du nombre d'enjambées (18e). La fréquence d'enjambée s'accroît de 88% entre le départ et la première enjambée ($1,6$ à $3,0 \text{ enj./s}$); par contre elle n'augmente que de 30% entre la première et la 18e enjambées.

Comme on peut le constater à la figure 11, la durée totale du cycle passe de 640 ms au départ à 330 ms lors de la première enjambée;

¹L'appendice C présente les moyennes et les écarts-types de toutes les variables de l'étude illustrées dans le présent chapitre.

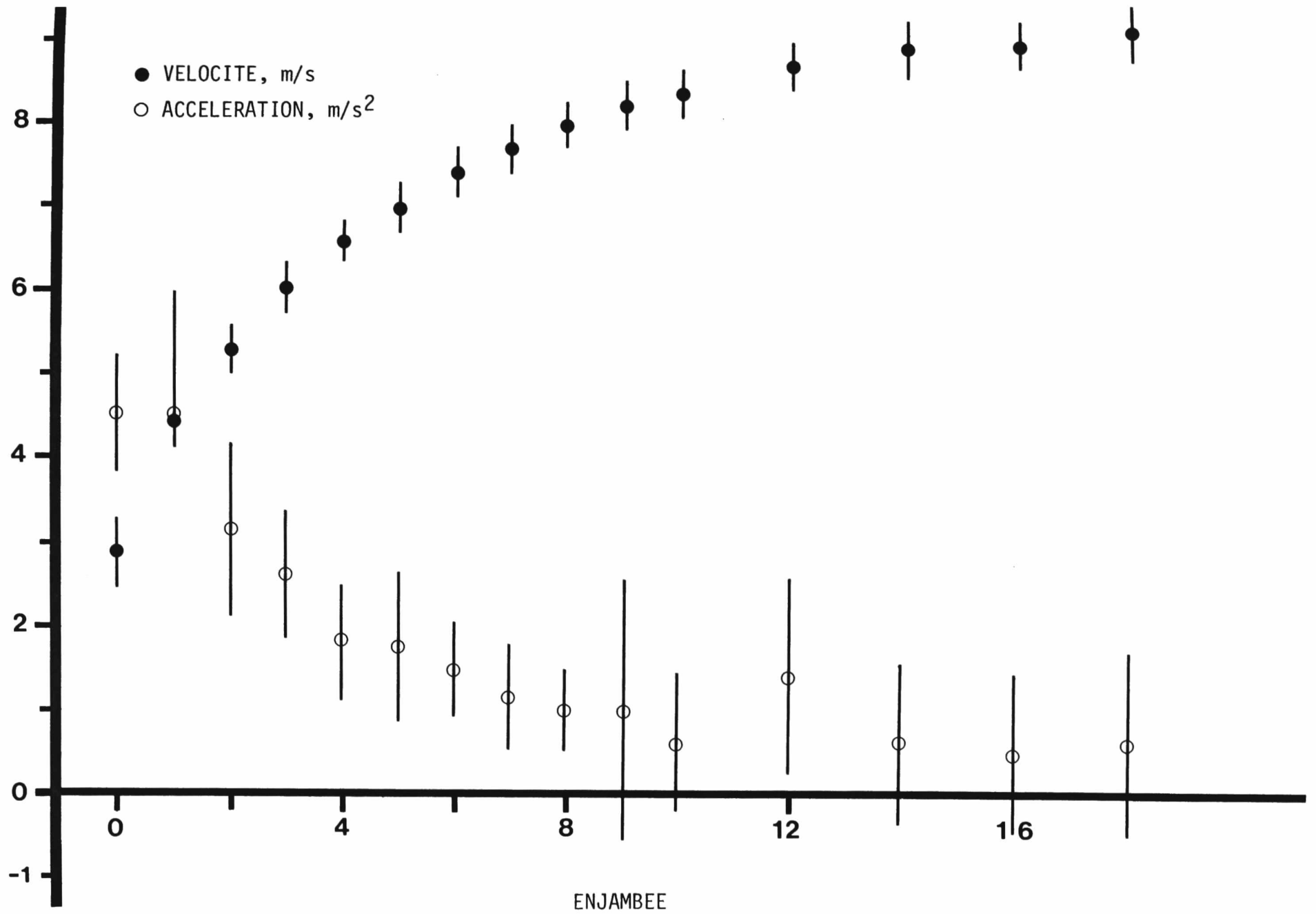


Figure 9 - Vélocité (± 1 E.T.) et accélération (± 1 E.T.) au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

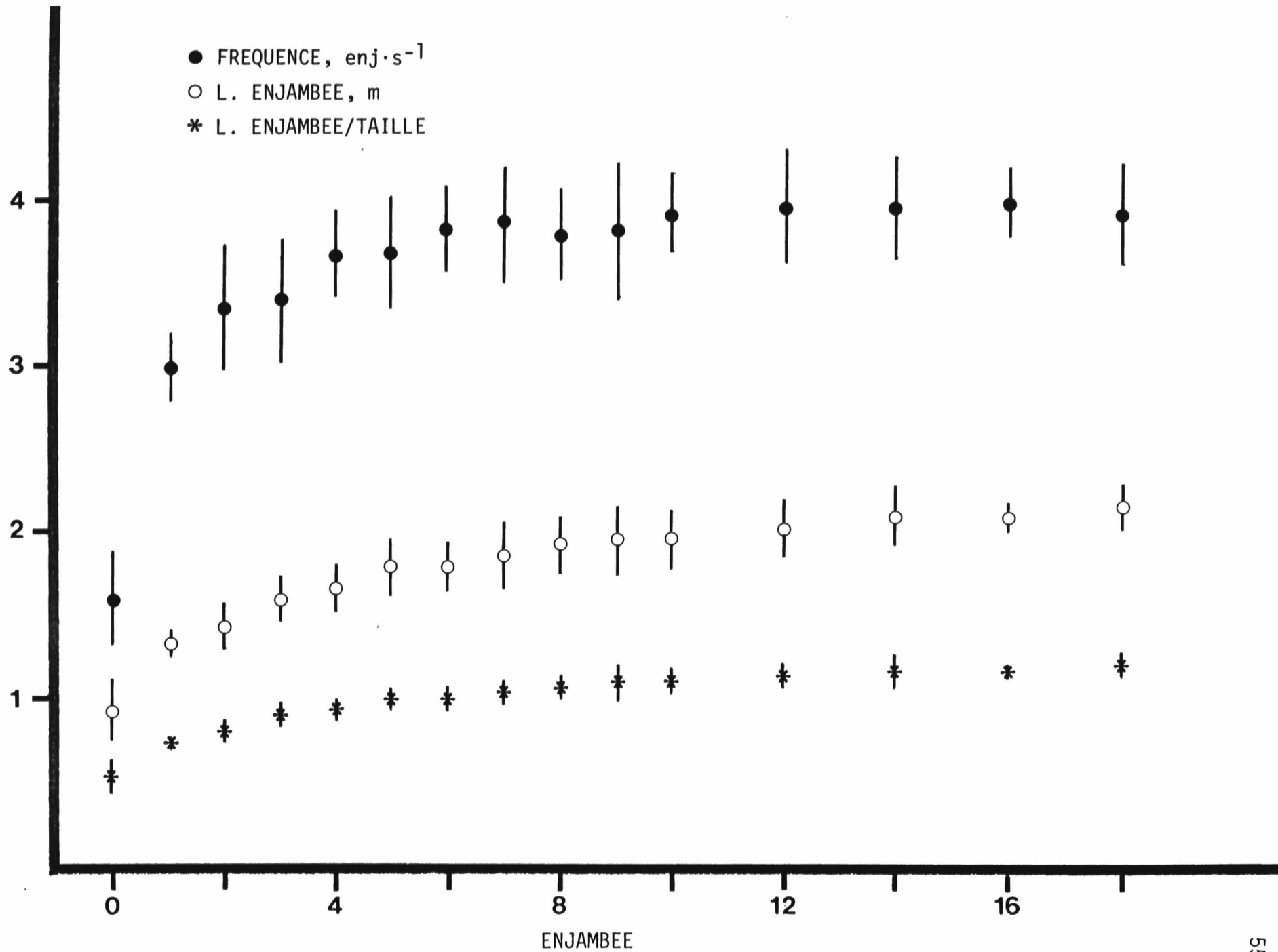


Figure 10 - Longueur (± 1 E.T.) absolue et relative d'enjambée; fréquence d'enjambée (± 1 E.T.) en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

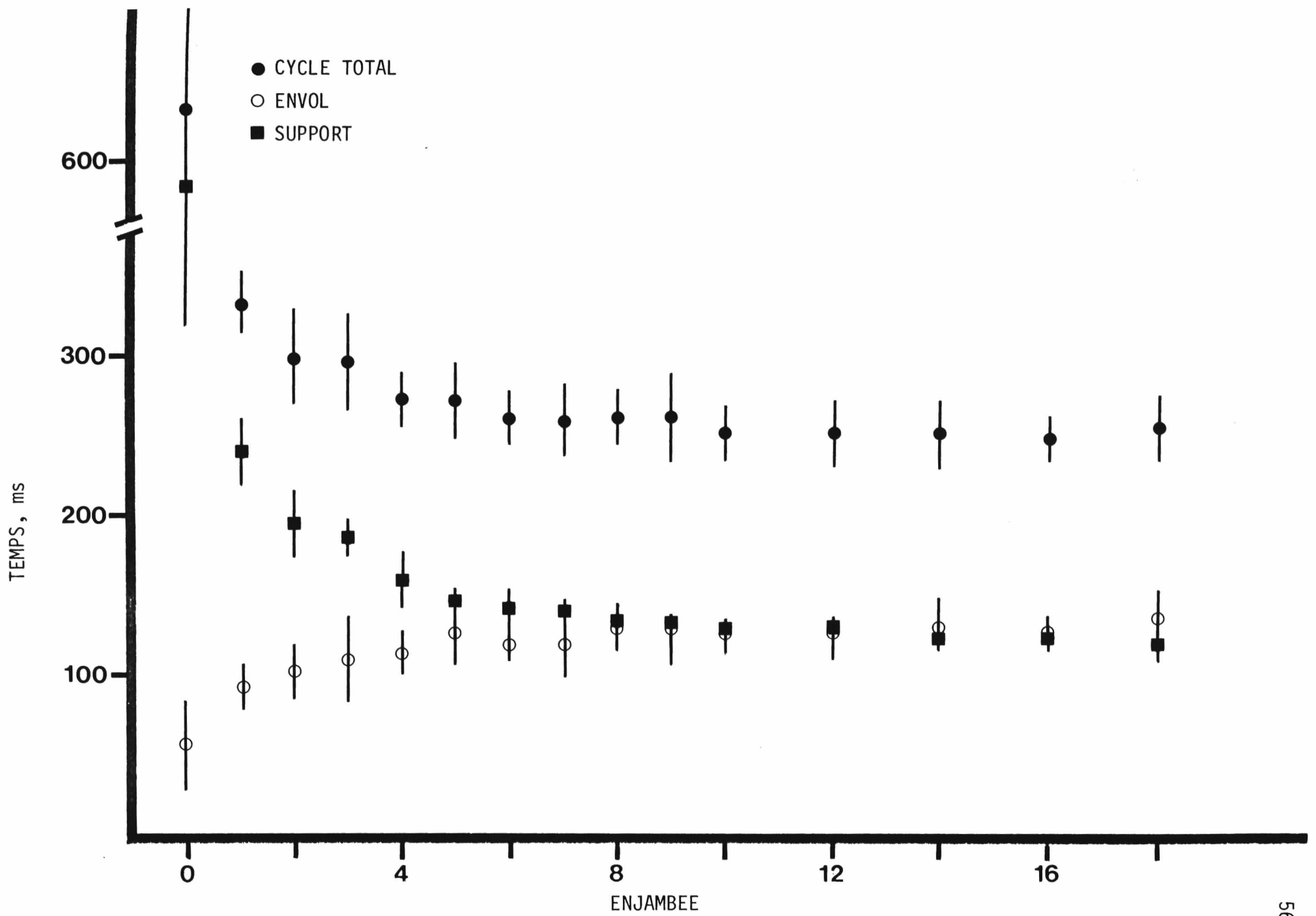


Figure 11 - Durée (± 1 E.T.) de la phase de support, d'envol et du cycle total en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

la durée de support qui est de 580 ms au départ n'est plus que de 240 ms à la première enjambée. Pour ces deux variables cela représente une diminution de près de 100% qui s'explique par le type de départ employé. En effet, l'athlète debout, pieds joints, devait se laisser tomber de façon à se mettre en position idéale pour se propulser vers l'avant. Cette position est différente de celle du départ conventionnel où le coureur est déjà placé au commandement "prêt". Il est donc normal que la durée du cycle soit considérablement élevée au départ et que la fréquence varie de la façon décrite précédemment. De la première à la 18e enjambées, la durée du cycle décroît de 330 à 240 ms (21%); la durée de support diminue de 240 à 120 ms (50%). Quant à la durée d'envol, elle s'accroît entre le départ et la 8e enjambée, de 60 à 132 ms (125%), pour ensuite se stabiliser à environ 130 ms.

La durée relative de la phase de support telle qu'illustrée à la figure 12 diminue au cours des premières enjambées. Au départ, la phase de support occupe 91% du temps total d'enjambée; par contre, à la 18e enjambée, la durée de support ne représente plus que 47% de la durée totale du cycle.

C) Variables angulaires

La figure 13 illustre le changement angulaire des angles α et β et de l'angle du tronc depuis le départ jusqu'à la 18e enjambée.

L'angle α , qui n'est que de 41 degrés au départ, subit une forte augmentation surtout lors des premières enjambées. Il se stabilise à

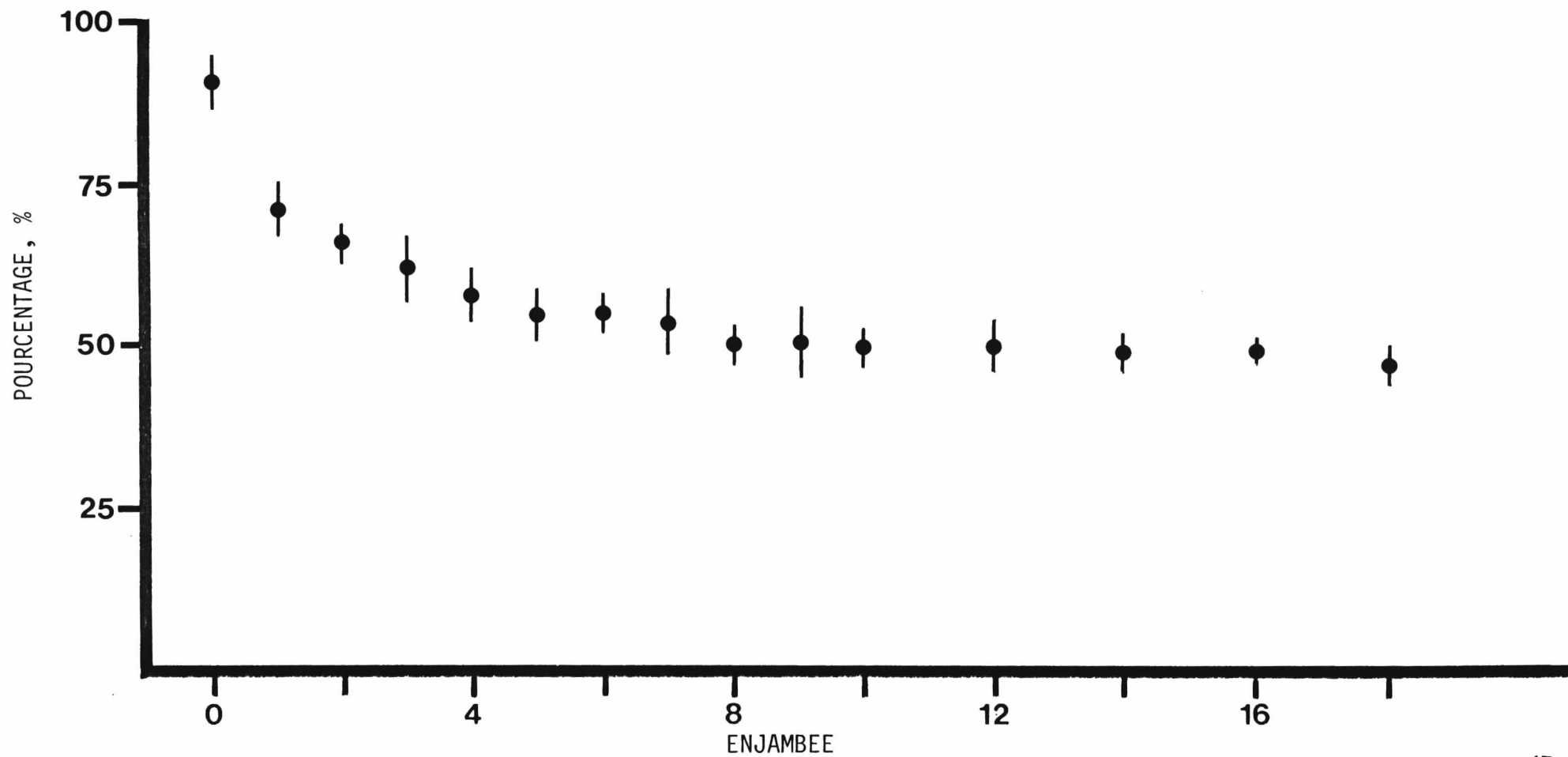


Figure 12 - Durée relative (± 1 E.T.) de support en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

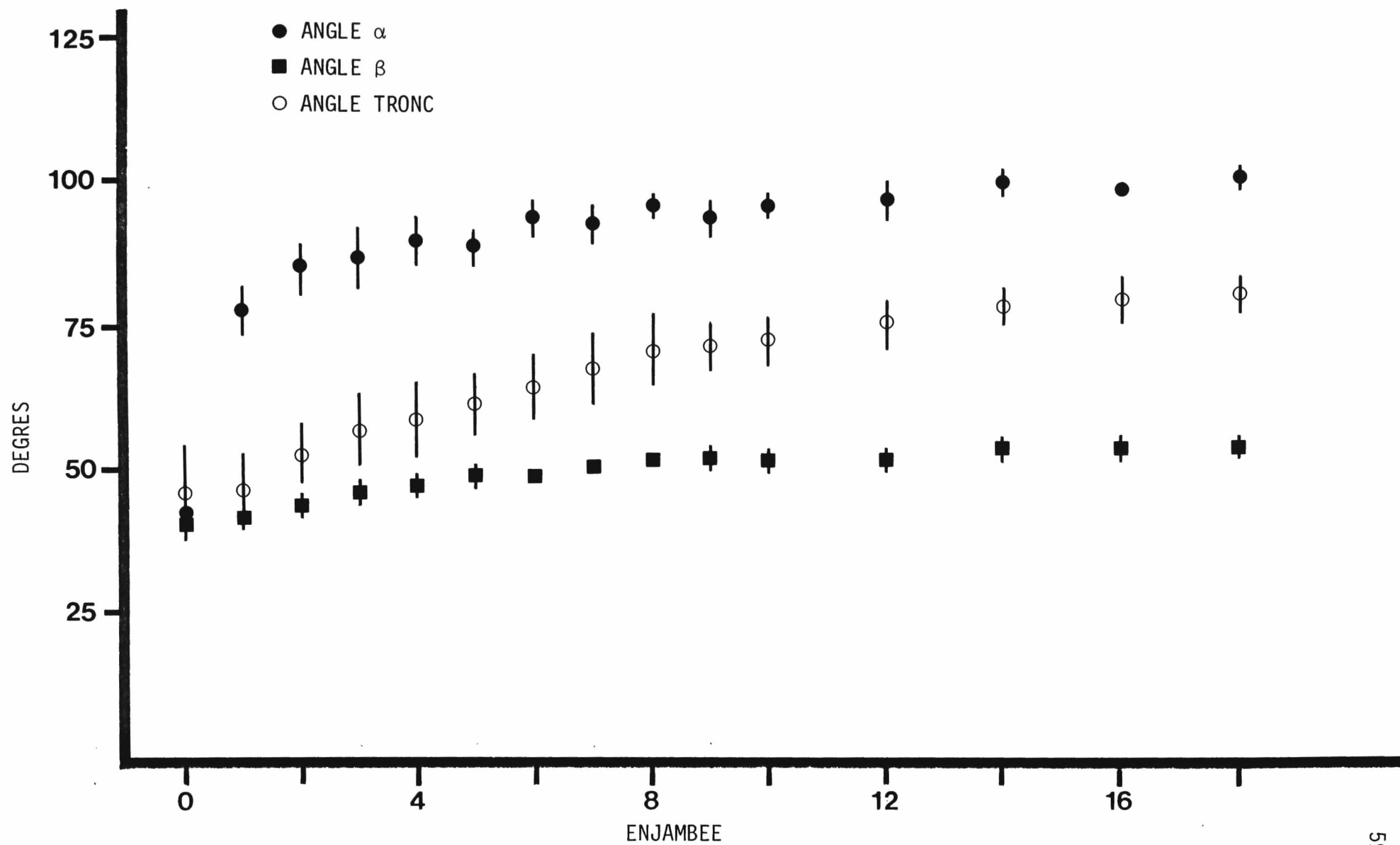


Figure 13 - Angles (± 1 E.T.) α et β et angle du tronc (± 1 E.T.) en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

environ 101 degrés autour de la 14e enjambée. L'angle β ne varie que de 38% (41 à 54 degrés) entre le départ et la 18e enjambée.

L'angle du tronc est de 46° au départ et reste inférieur à 90° , même lorsque le coureur atteint la 18e enjambée (81°).

2) Variations dans les paramètres dynamiques

Les mesures suivantes obtenues à partir de courbes dynamographiques décrivent les changements survenant dans les forces, les impulsions et les durées d'application des forces au cours des différentes enjambées de la course.

A) Forces et impulsions

Les figures 14 à 18 illustrent l'allure typique des forces verticales (FZ) et horizontales (FY) lors de la phase de support au cours de la 1e, 5e, 9e, 12e et 18e enjambées d'une course en phase d'accélération sur une distance maximale de 40 mètres. Les points 1 et 4 sur les figures 14 à 18 représentent les forces verticales (1) et horizontales (4) maximales d'impact enregistrées lors du contact du pied au sol. Les points 2, 5 et 6 illustrent les forces verticales^{ce} (2) et horizontales (5 et 6) maximales d'absorption. Finalement les points 3 et 7 représentent les forces verticales (3) et horizontales (7) maximales de propulsion.

Tel qu'illustré à la figure 19, la force verticale maximale d'impact augmente de 1,0 à 3,5 X P.C. entre le départ et la 18e enjambée; la

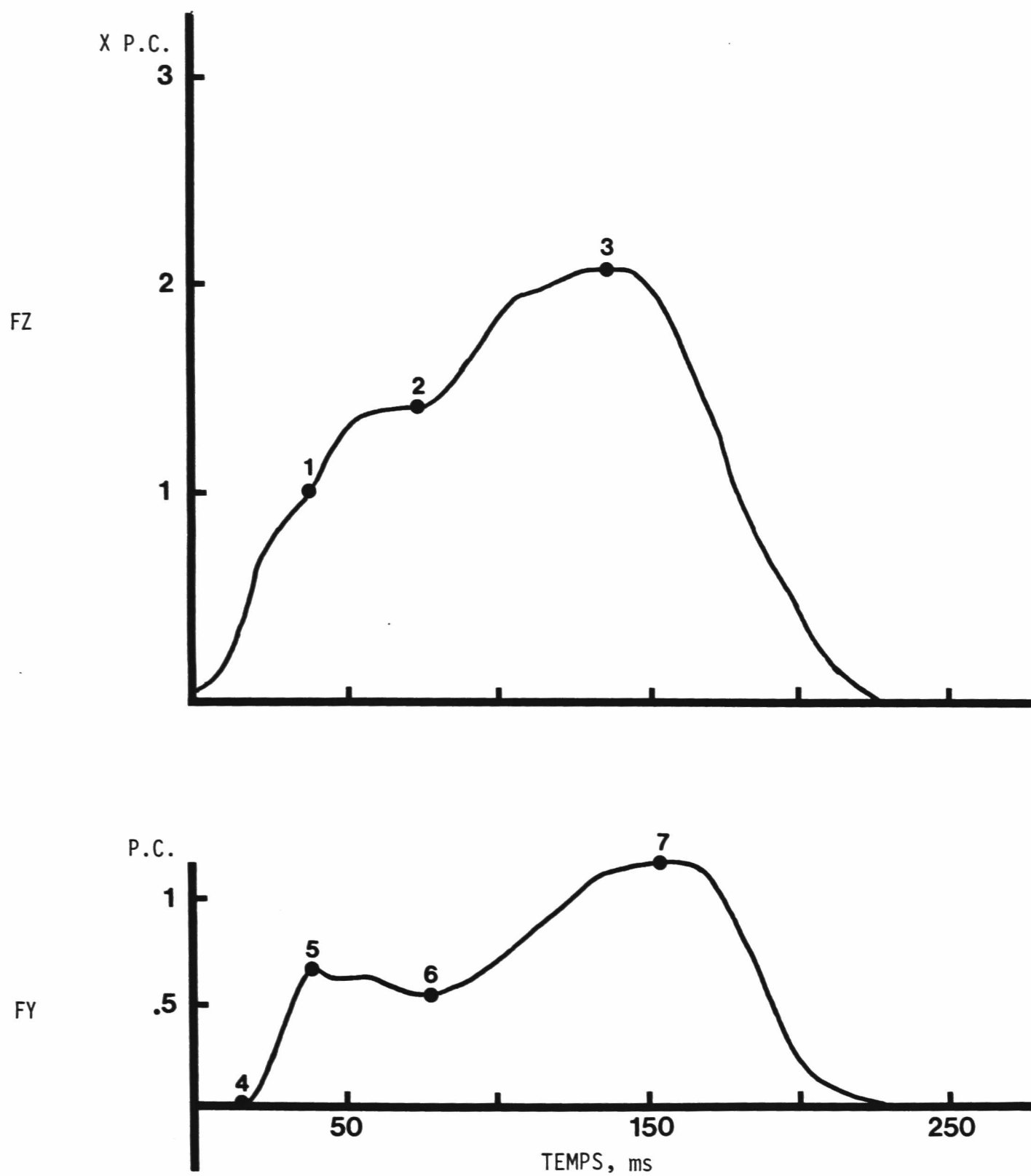


Figure 14 - Courbe typique (sujet C.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la première enjambée.

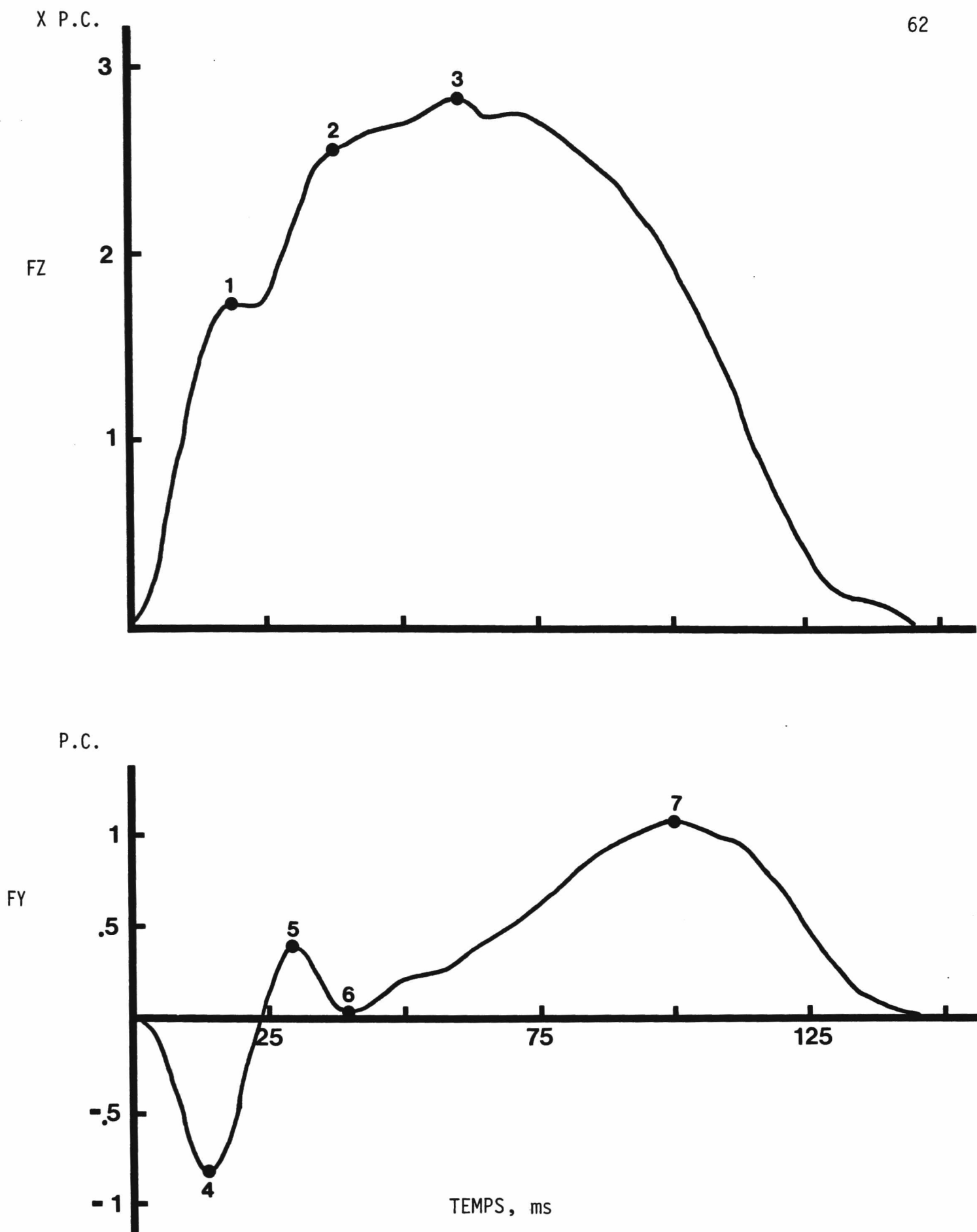


Figure 15 - Courbe typique (sujet C.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 5e enjambée.

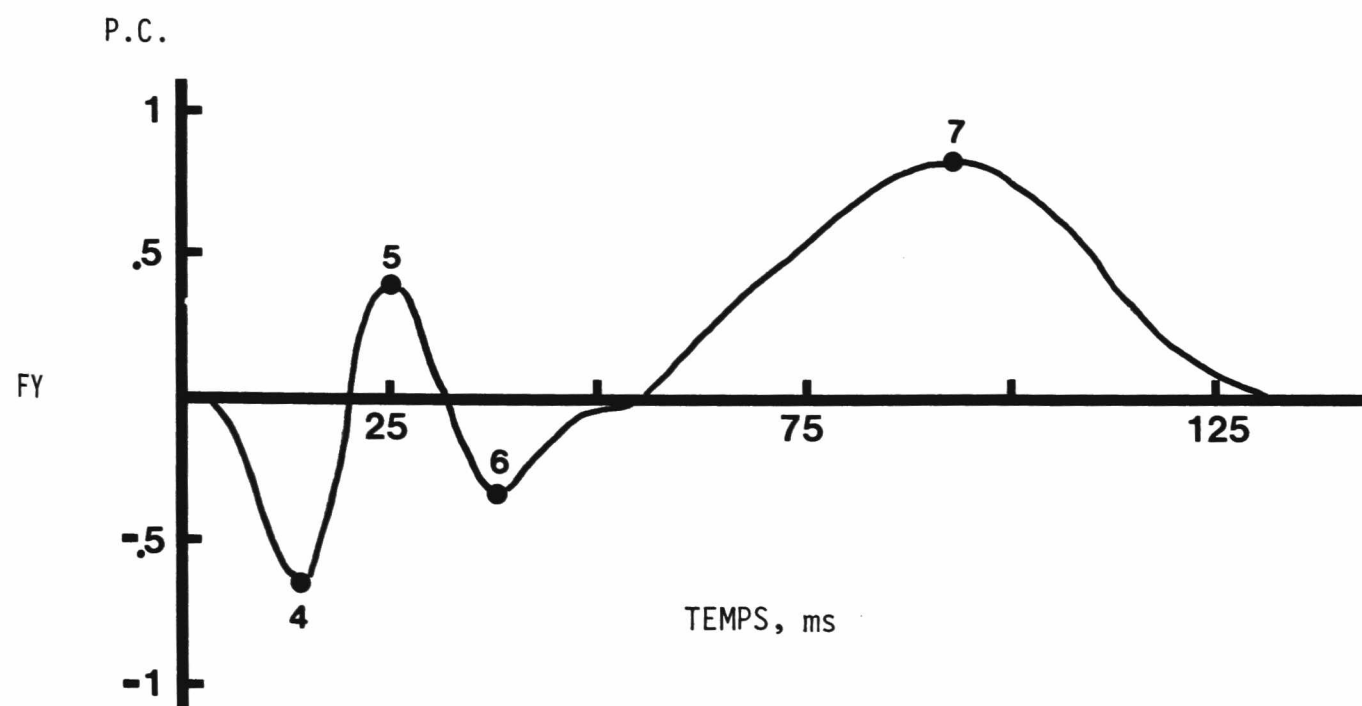
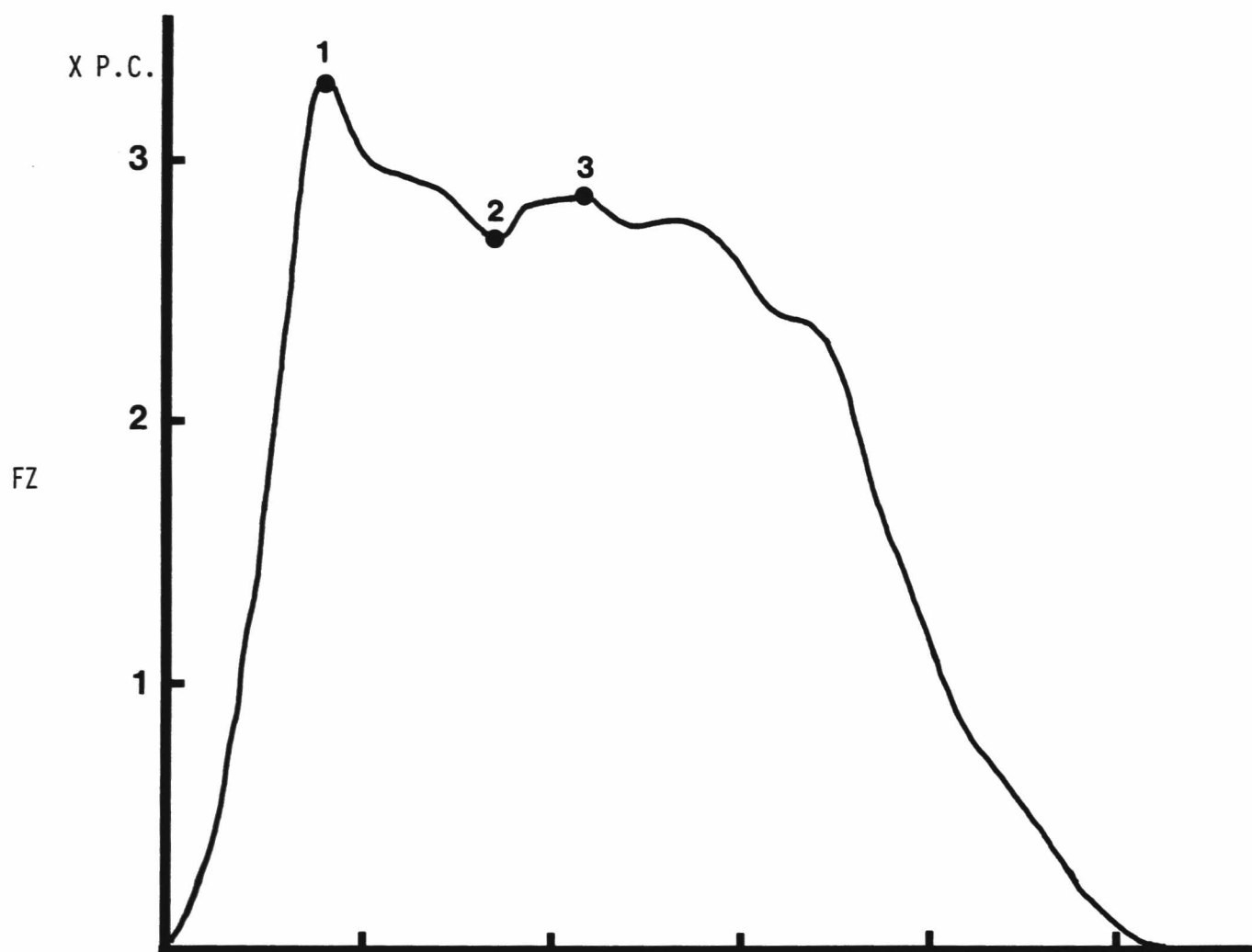


Figure 16 - Courbe typique (sujet P.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 9e enjambée.

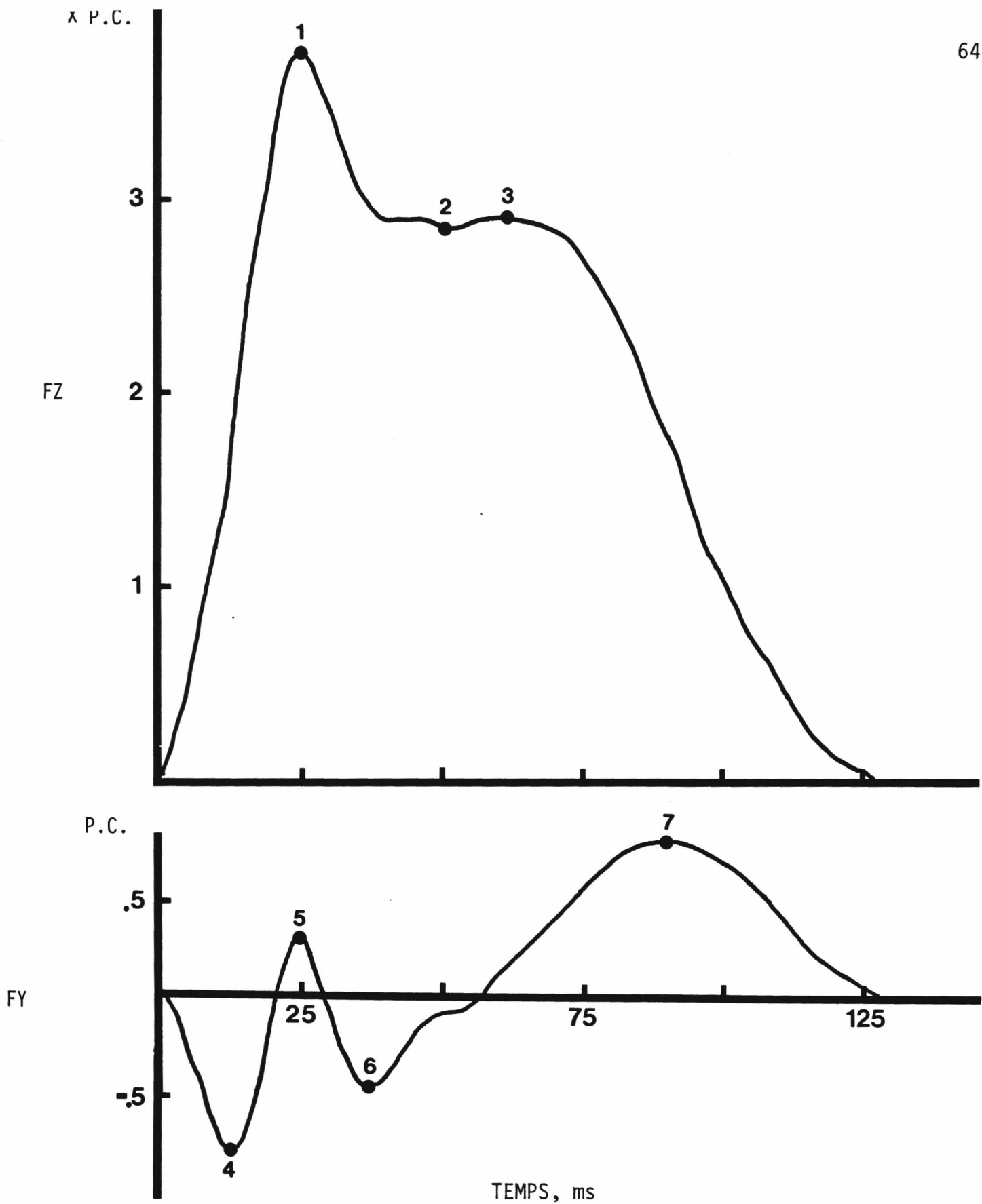


Figure 17 - Courbe typique (sujet P.R.) de la force exprimée en multiples du poids corporel; X P.C.) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 12e enjambée.

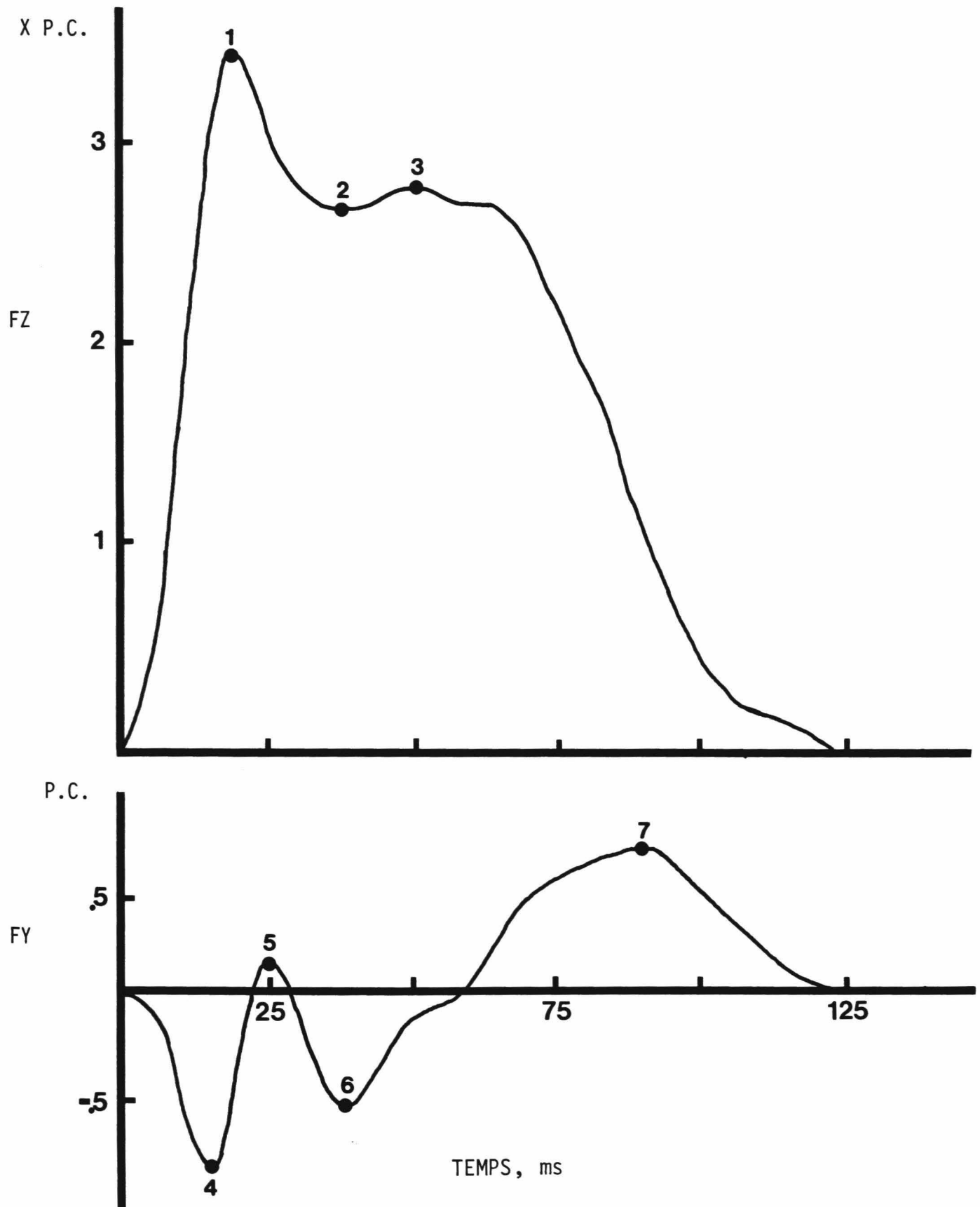


Figure 18 - Courbe typique (sujet P.R.) de la force (exprimée en multiples du poids corporel, X P.C.) verticale (FZ) et horizontale (FY) au cours de la 18e enjambée.

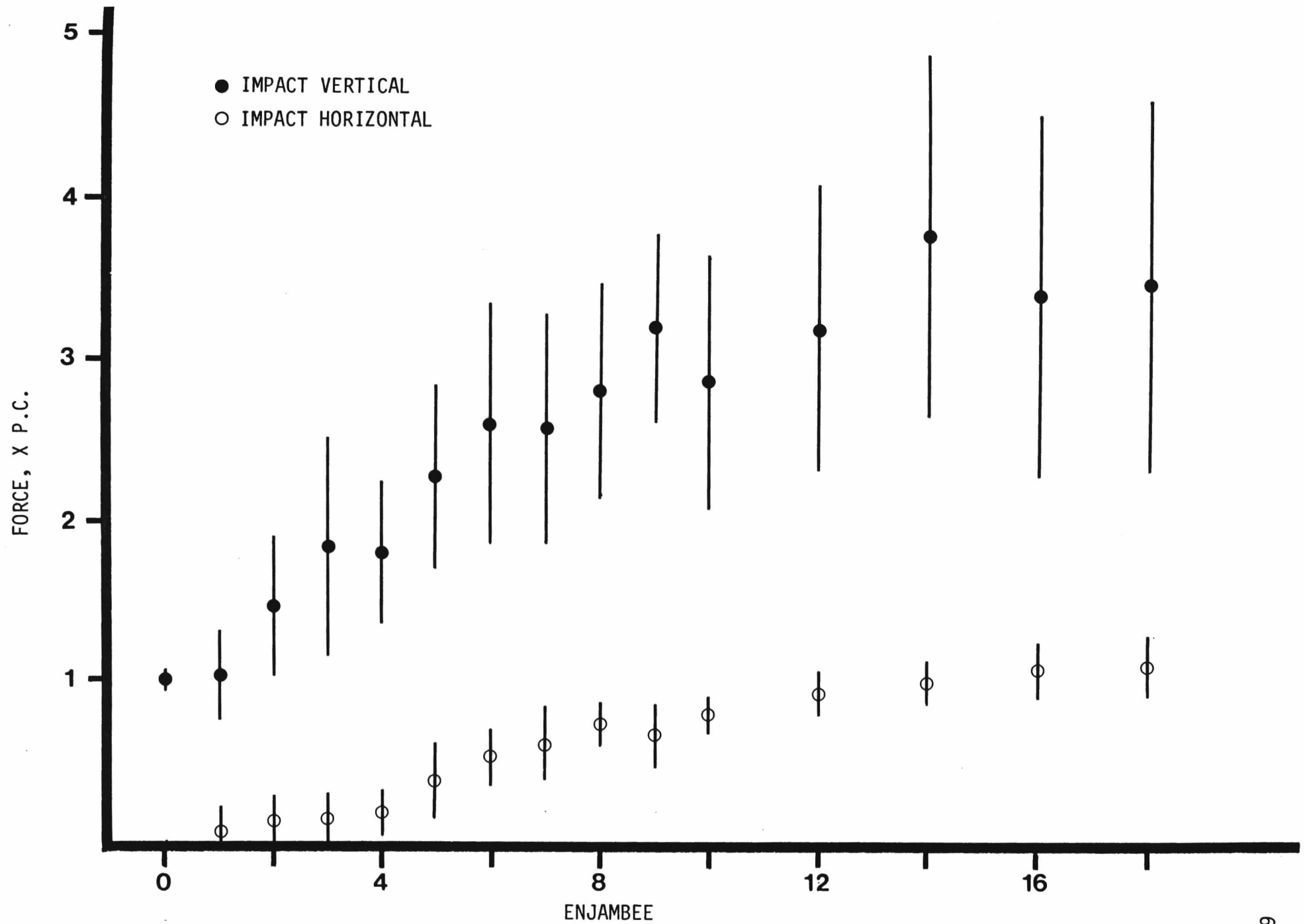


Figure 19 - Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale d'impact au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

force horizontale maximale d'impact qui est nulle au début, devient négative (force de direction contraire au déplacement du coureur) et équivaut à $1,1 \times \text{P.C.}$ lors des dernières enjambées (16e et 18e).

La figure 20 démontre que la force verticale et horizontale maximale d'absorption varie entre le départ et la 18e enjambée de la façon suivante: la force verticale d'absorption (point 2, sur la figure 18) s'accroît de $0,6$ à $3,3 \times \text{P.C.}$; le premier sommet de la force horizontale d'absorption (point 5 sur la figure 18) passe de $0,26$ à $-0,10 \times \text{P.C.}$; d'autre part le second sommet (point 6 sur la figure 18) passe de $0,26$ à $-0,44 \times \text{P.C.}$ entre le départ et la 18e enjambée.

La figure 21 nous indique que la force verticale maximale de propulsion (point 3 sur la figure 18) s'accroît en fonction du nombre d'enjambées, soit de $2,11$ à $3,35 \times \text{P.C.}$ pendant que la force horizontale de propulsion (point 7 sur la figure 18) diminue, passant de $1,27$ au départ à $0,87 \times \text{P.C.}$ à la 18e enjambée.

Finalement, la figure 22 démontre que l'impulsion verticale nette est faible au départ ($15 \text{ N} \cdot \text{s}$) puis augmente rapidement pour se stabiliser à environ $80 \text{ N} \cdot \text{s}$ entre la 6e et la 18e enjambées.

L'impulsion horizontale de freinage, qui est pratiquement nulle au cours des premières enjambées, augmente à $13,9 \text{ N} \cdot \text{s}$ à la 18e enjambée. L'impulsion horizontale de propulsion est d'environ $200 \text{ N} \cdot \text{s}$ au départ puis diminue pour n'être plus que de $20 \text{ N} \cdot \text{s}$ à la 18e enjambée.

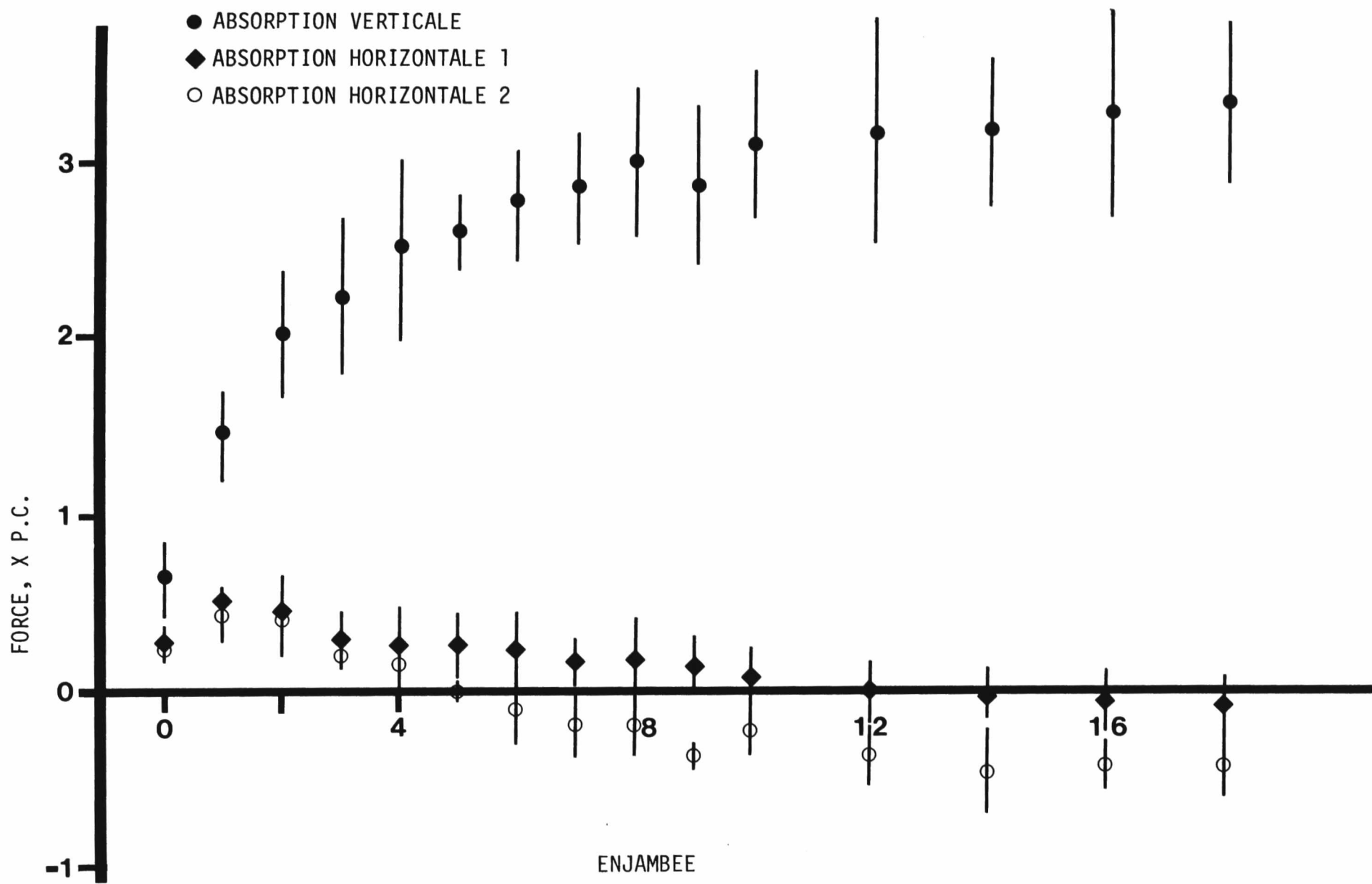


Figure 20 - Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale d'absorption au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

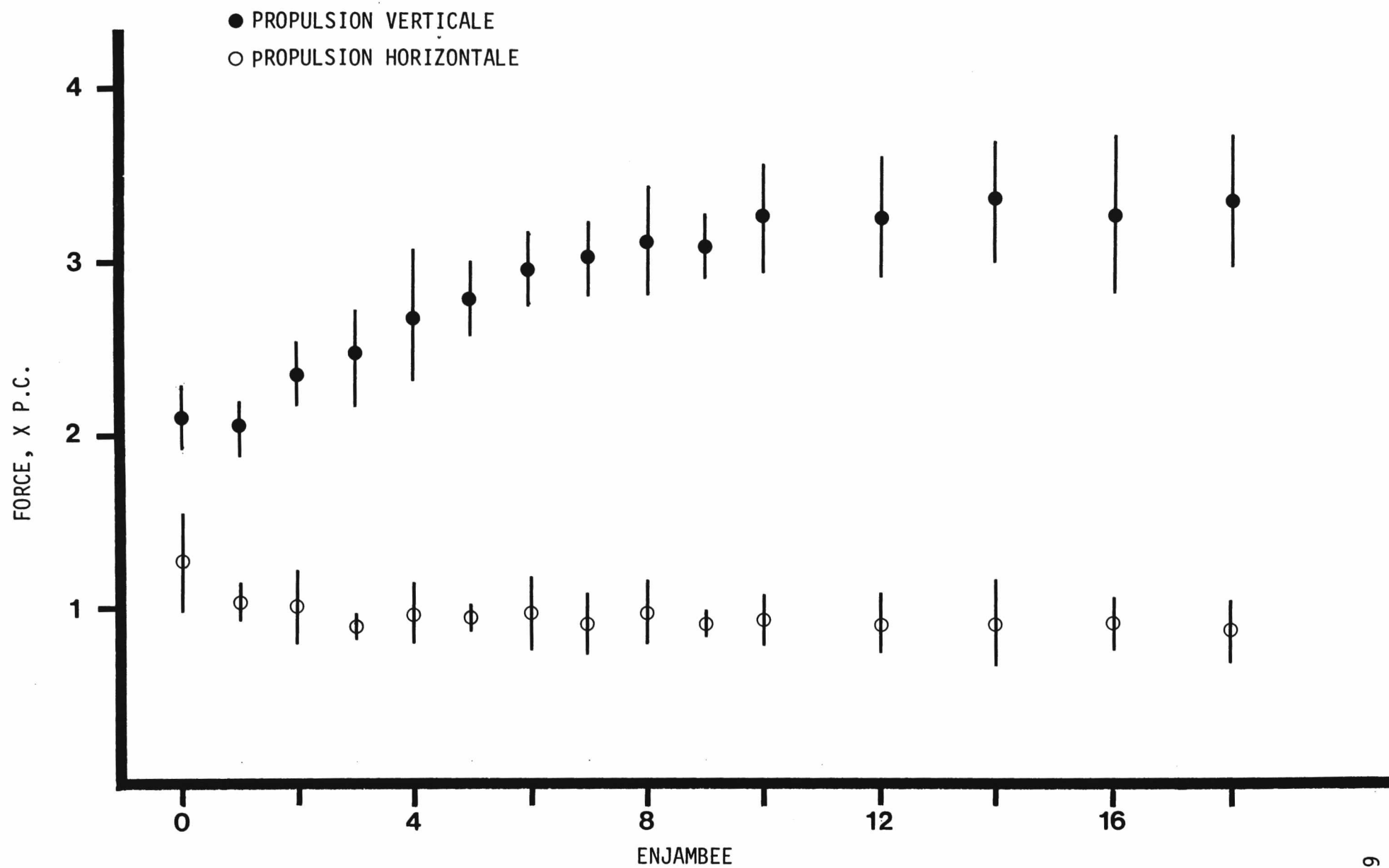


Figure 21 - Force (± 1 E.T.) verticale et horizontale maximale de propulsion au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

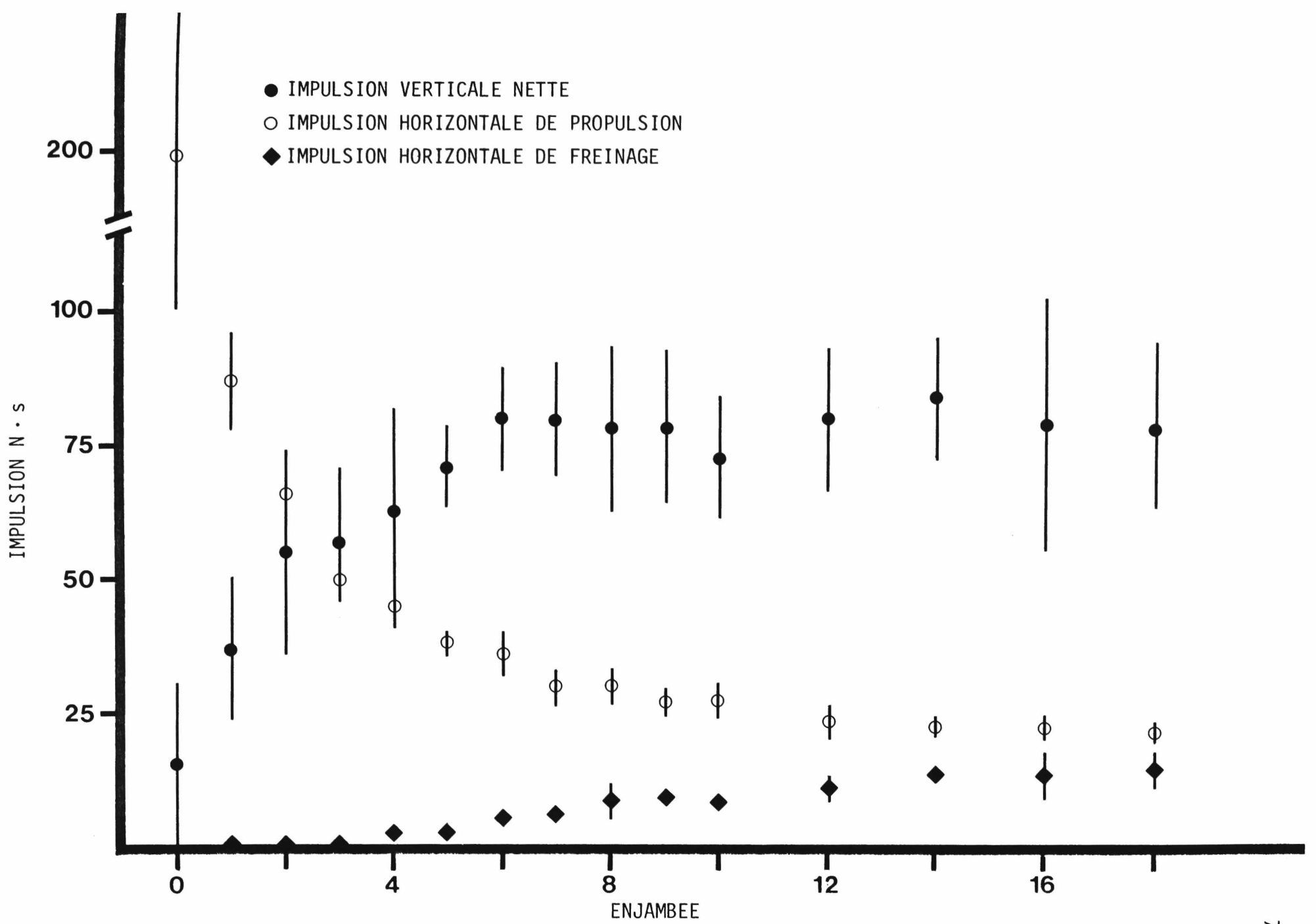


Figure 22 - Impulsion verticale nette (± 1 E.T.); impulsion horizontale (± 1 E.T.) de freinage et de propulsion au cours des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

B) Phases de support: absorption, transition, propulsion, freinage

Les durées absolues des phases de support sont illustrées au tableau 9. La durée d'absorption verticale passe de 350 à 43 ms, la durée de transition verticale décroît de 72 à 15 ms et finalement la durée de propulsion verticale diminue de 160 à 63 ms en fonction du nombre d'enjambées. La durée absolue de freinage horizontal augmente de 0 à 51 ms pendant que la durée de propulsion horizontale décroît de 582 à 70 ms.

La figure 23 illustre la répartition relative de ces différentes phases. Ainsi au départ la valeur relative d'absorption verticale est de l'ordre de 60%. Cela permet au coureur de se mettre dans une position assez basse, ce qui entraîne une meilleure propulsion vers l'avant.

Cependant, de la deuxième à la 18e enjambées, les phases relatives d'absorption, de transition et de propulsion verticale gardent à peu près le même pourcentage de la phase de support, soit: 35% pour l'absorption verticale, 14% pour la phase de transition verticale et 51% pour la propulsion verticale.

Quant aux phases horizontales, nous remarquons qu'au départ, il n'y a que de la propulsion horizontale parallèlement aux phases verticales d'absorption, de transition et de propulsion; à compter de la première enjambée, la proportion de freinage horizontal augmente progressivement pour atteindre environ 40% de la phase de support, au cours de la 18e enjambée.

Tableau 9

Durée de la phase d'absorption, de transition, de propulsion verticale ainsi que de freinage et de propulsion horizontale en fonction des 18 premières enjambées d'une course en phase d'accélération

Enjambée	Durée (msec) absorp. vert.		Durée (msec) trans. vert.		Durée (msec) prop. vert.		Durée (msec) frein. horiz.		Durée (msec) prop. horiz.	
	\bar{X}	E.T.	\bar{X}	E.T.	\bar{X}	E.T.	\bar{X}	E.T.	\bar{X}	E.T.
0	350	81	72	14	160	25	0	0	582	92
1	94	12	41	7	104	11	6	11	233	22
2	71	12	31	6	95	12	16	11	182	22
3	59	7	31	8	95	10	17	12	169	15
4	54	9	19	3	88	15	22	10	138	14
5	49	5	19	3	81	4	21	4	127	6
6	46	5	20	3	79	10	33	10	111	6
7	45	3	20	3	75	6	40	10	101	7
8	45	4	19	2	69	9	38	10	94	5
9	46	3	18	3	71	5	47	5	88	2
10	40	3	18	3	69	5	41	8	86	5
12	43	4	16	3	67	6	47	5	78	7
14	44	3	17	4	63	5	52	5	72	5
16	44	5	15	3	65	3	49	8	75	6
18	43	4	15	3	63	7	51	8	70	6

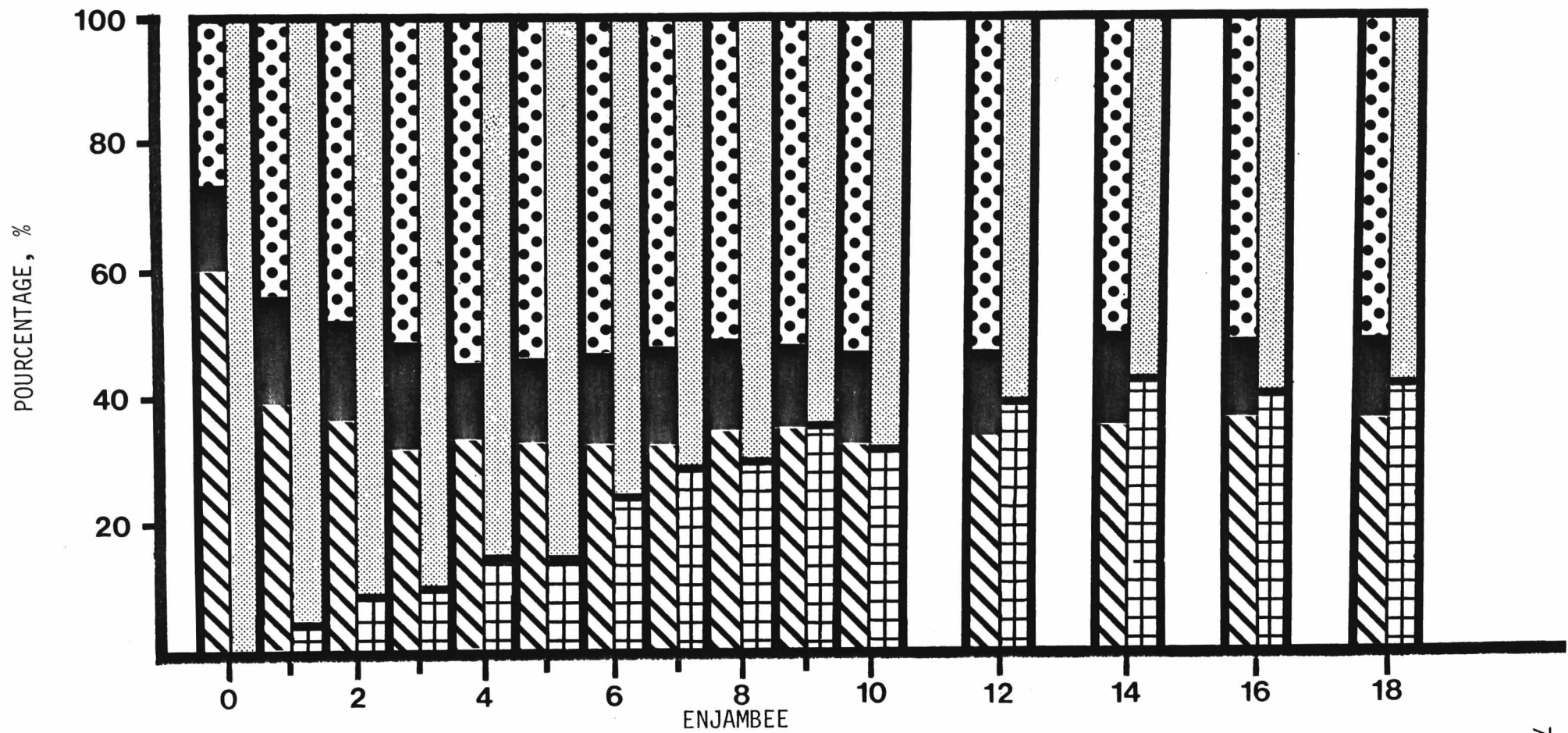


Figure 23 - Durée relative de la phase d'absorption, de transition, de propulsion verticale, ainsi que de freinage et de propulsion horizontale en fonction des 18 premières enjambées d'une course accélérée.

3) Corrélations, analyses factorielle et de régression multiple des données

Le tableau 10 présente tous les coefficients de corrélation significatifs entre la vitesse et l'accélération de course et les variables cinématiques et dynamiques. Les coefficients entre les variables cinématiques et la vitesse se situent entre 0,66 et 0,92 alors que pour l'accélération, ils se situent entre 0,50 et 0,75.

Les coefficients entre les variables dynamiques et la vitesse sont, sauf pour la durée relative de la phase de transition (0,24) un peu plus faibles, soit de 0,53 et 0,90 tandis que pour l'accélération, ils se situent entre 0,46 et 0,77.

L'analyse factorielle permet d'identifier les ensembles de variables qui expliquent la plus grande part de variance de la vitesse de course. Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 11. La matrice de saturation "varimax" identifie trois facteurs qui expliquent 87% de la variance commune. Le facteur 1 est fortement saturé de variables reliées au freinage horizontal. Le facteur 2 est par contre saturé surtout de variables spécifiques aux durées de support et de propulsion. Ces deux premiers facteurs s'approprient 80% de la variance totale soit environ 40% chacun. Les variables morphologiques s'accaparent de 6,3% de la variance et composent le troisième facteur.

Finalement, une analyse de régression multiple a été utilisée afin d'identifier les variables de l'étude qui contribuent le plus au changement de la vitesse et de l'accélération de la course.

Tableau 10

Coefficients de corrélation entre la vitesse de course,
l'accélération et certaines variables biomécaniques
(N = 150)

Variables cinématiques	Vélocité	Accélération
Longueur relative d'enjambée	0,92	-0,75
Longueur d'enjambée	0,90	-0,74
Fréquence d'enjambée	0,83	-0,59
Durée du cycle	-0,66	0,50
Durée d'envol	0,69	-0,62
Durée de support	-0,80	0,61
Durée relative d'envol	0,92	-0,75
Durée relative de support	-0,92	0,75
Angle α	0,86	-0,68
Angle β	0,89	-0,74
Angle du tronc	0,87	-0,71
Variables dynamiques	Vélocité	Accélération
Durée absorption verticale	-0,72	0,54
Durée relative d'absorption verticale	-0,59	0,47
Durée de transition verticale	-0,85	0,68
Durée relative de transition verticale	-0,24	0,25
Durée de propulsion verticale	-0,87	0,66
Durée relative de propulsion verticale	0,68	-0,56
Durée de freinage horizontal	0,85	-0,73
Durée relative de freinage horizontal	0,89	-0,74
Durée de propulsion horizontale	-0,85	0,66
Durée relative de propulsion horizontale	-0,89	0,74
Pourcentage de freinage pendant absorption verticale	0,90	-0,74

.../

Tableau 10 (suite)

Variables dynamiques (suite)	Vélocité	Accélération
Pourcentage de freinage pendant transition verticale	0,66	-0,55
Pourcentage de propulsion horizontale pendant absorption verticale	-0,90	0,74
Pourcentage de propulsion horizontale pendant transition verticale	-0,66	0,55
Impulsion verticale nette	0,77	-0,65
Impulsion horizontale de freinage	0,80	-0,65
Impulsion horizontale de propulsion	-0,85	0,69
Impulsion horizontale nette	-0,88	0,71
Force verticale d'impact	0,74	-0,57
Force verticale d'absorption	0,87	-0,77
Force verticale de propulsion	0,82	-0,67
Force horizontale d'impact	-0,84	0,69
Force horizontale d'absorption (1)	-0,60	0,52
Force horizontale d'absorption (2)	-0,81	0,67
Force horizontale de propulsion	-0,53	0,46

$r = 0,21$ pour ≤ 0.01

$r = 0,16$ pour $\leq 0,05$

Tableau 11
Matrice de saturation "Varimax"

Facteur 1		Facteur 2		Facteur 3	
1) Impulsion horizontale de freinage	(0,92)	1) Impulsion horizontale de propulsion	(0,91)	1) Age	(-0,77)
2) Angle du tronc	(0,80)	2) Impulsion horizontale nette	(0,87)	2) Masse	(0,88)
3) Durée de freinage horizontal	(0,86)	3) Durée du cycle	(0,86)	3) Taille	(0,89)
4) Durée relative de freinage horizontal	(0,91)	4) Durée de support	(0,94)		
5) Pourcentage de freinage pendant absorption verticale	(0,84)	5) Angle α	(-0,85)		
6) Pourcentage de freinage pendant transition verticale	(0,88)	6) Durée d'absorption verticale	(0,96)		
7) Force horizontale d'impact	(-0,85)	7) Durée relative d'absorption verticale	(0,91)		
8) Force horizontale d'absorption (2)	(-0,89)	8) Durée de transition verticale	(0,83)		
		9) Durée relative de propulsion verticale	(0,87)		
		10) Durée de propulsion horizontale	(0,91)		
		11) Fréquence d'enjambée	(-0,84)		
Pourcentage de la variance attribuable à chaque facteur					
41,1%		39,6%		6,3%	
Pourcentage total de la variance = 87%					

Comme on peut le voir au tableau 12, c'est la longueur relative d'enjambée qui entraîne le plus de modifications à la vitesse en s'accapant 85% de la variance commune. Viennent ensuite la fréquence d'enjambée et la durée relative de freinage qui ne contribuent qu'à 8% et 3% respectivement à la variance commune.

Quant à l'accélération, la durée relative de support contribue à 57%. La durée de freinage horizontal et la force verticale d'absorption ne s'accaparent que 6% et 2% respectivement de la variance commune.

Les analyses statistiques des variables étudiées sont présentées à l'appendice D.

Tableau 12

Régression multiple de certaines variables en fonction de la
vitesse (A) et de l'accélération (B)

	R Multiple	R ²	ΔR^2	R
A)				
1) Longueur relative d'enjambée	0,92	0,85	0,85	0,92
2) Fréquence d'enjambée	0,97	0,93	0,08	0,83
3) Durée relative de freinage	0,98	0,96	0,03	0,89
B)				
1) Durée relative de support	0,75	0,57	0,57	0,75
2) Durée de freinage horizontal	0,80	0,63	0,06	-0,74
3) Force verticale d'absorption	0,80	0,65	0,02	-0,72

CHAPITRE V

DISCUSSION

Variables cinématiques

1) Vélocité et accélération

La courbe de vélocité (figure 9) se compare avantageusement à celles présentées par Henry et Trafton (1951), Page (1969), Volkov et Lapin (1979), Zatsiorskii et Primakov (1970), Ikai (1968). On observe en effet une forte augmentation de la vélocité lors des premières secondes (enjambées) de course, puis une diminution dans le taux d'accroissement jusqu'à ce que la vélocité se stabilise aux alentours de 10 m/s, soit entre le 30e et le 40e mètres. La vélocité des coureurs au départ (2,87 m/s) est équivalente à celle rapportée par Gagnon (1978), Page (1969), Zatsiorskii et Primakov (1970), mais inférieure à celle de Ward (1973), Delhez et Loverius (1981), Atwater (1979) (tableau 5).

L'accélération au départ et au cours de la première enjambée est plus faible ($4,56 \text{ m/s}^2$) que celle rapportée dans les études de Delhez et Loverius (1980), Gagnon (1978), Page (1969), Vaughan et Matravers (1977), Ikai (1968) (tableau 5). Cette différence pourrait être attribuable au départ utilisé lors de cette étude. En effet le coureur, debout pieds joints, devait se laisser tomber de façon à être capable de se propulser vers l'avant. Normalement un coureur est déjà en position de départ lorsqu'au commandement "prêt" il exécute un départ debout ou accroupi. En conséquence, le temps pris par les coureurs de cette étude pour se mettre en position diminue considérablement la valeur de l'accélération. En revanche, Zatsiorskii et Primakov (1970) rapportent une accélération de $3,4 \text{ m/s}^2$ qui par la suite décroît sans toutefois devenir nulle au 30e mètre. Par ailleurs, le départ utilisé dans cette recherche a été choisi de manière à éliminer tout aspect technique qui aurait pu influencer, tel que le souligne Gagnon (1978), les phases subséquentes de la course.

2) Variables temporelles: longueur, fréquence, durée

Les longueurs absolue et relative d'enjambée (figure 10) confirment les travaux d'Atwater (1979), Ward (1973), Cavagna (1965) (tableau 2).

En ce qui concerne la fréquence d'enjambée (figure 10), la durée totale du cycle, les phases de support et d'envol (figure 11), on remarque qu'elles varient quelque peu en regard du travail d'Atwater (1979). Ainsi les données spécifiques à la durée de support au cours des cinq premières enjambées sont de deux à trois dixièmes de seconde supérieures

à celles rapportées par Atwater (1979) (tableau 2); les durées d'envol sont plus élevées d'environ trois dixièmes de seconde et augmentent plus rapidement; les durées totales du cycle sont par contre plus grandes et diminuent en fonction du nombre d'enjambées, ce qui a pour effet d'accroître la fréquence. Ces écarts sont probablement dus à la technique de départ utilisée ainsi qu'au niveau des athlètes de l'étude d'Atwater (1979; calibre international) comparativement à ceux de cette étude-ci (calibre régional).

Etant donné qu'un départ debout place le centre de gravité dans une position plus élevée que le départ accroupi et que les angles β (angle compris entre l'horizontale et une droite joignant le pied et le centre de gravité du coureur à la fin de la phase de support) sont plus grands que dans un départ accroupi (Gagnon, 1978), il est possible que cela influence le temps d'envol; par conséquent, la durée du cycle et la fréquence au cours des premières enjambées s'en trouvent affectées.

Le niveau des athlètes est cet autre facteur qui peut changer les résultats. Une plus grande vitesse développée influence des variables comme la durée de support, la fréquence d'enjambée et la durée du cycle (Dillman, 1975; Gagnon, 1973; Atwater, 1979).

Si on compare les données de cette étude avec celles portant sur la course à vitesse constante (tableau 1), il semble qu'à faible vitesse, en phase d'accélération (ce qui correspond aux premières enjambées dans cette étude) la longueur d'enjambée, la durée du cycle,

les durées absolues et relatives d'envol sont inférieures; la fréquence d'enjambée est plus élevée; la durée de support est à peu près équivalente. Il apparaît donc qu'en phase d'accélération, la durée d'envol doit être minimale pour favoriser une reprise rapide du contact au sol et contribuer ainsi à augmenter la fréquence d'enjambée et la durée relative de support. Ce dernier facteur contribue significativement ($r = 0,91$) avec l'impulsion de propulsion horizontale à propulser le corps.

3) Variables angulaires

Les résultats de notre étude confirment les données antérieures de Gagnon (1978), Ward (1973), Atwater (1979), Dowell et al. (1975) (tableau 4) en ce qui a trait aux mesures angulaires. En effet, les mesures angulaires suivantes augmentent toutes en fonction de la vitesse: l'angle du tronc par rapport à l'horizontale s'accroît de 46 à 81° ; les angles α et β passent respectivement de 41 à 101° et de 41 à 54° .

Variables dynamiques

1) Forces et impulsions

Les forces verticales maximales d'impact et d'absorption augmentent avec la vitesse tel qu'illustré aux figures 19 et 20. A notre connaissance, aucune étude antérieure n'a mis en évidence ce phénomène lors de la course en phase d'accélération.

L'écart-type de la force verticale maximale d'impact est relativement élevé (coefficient de variation, σ/\bar{x} de 44%); ceci confirme les

travaux de Cavanagh et Lafortune (1980) et de Mason (1980) qui allèguent une grande variabilité inter-individuelle dans le type de réception du pied au sol. En effet, ces auteurs ont démontré que l'impact vertical est modifié selon que le coureur prend contact au sol avec le talon ou l'avant-pied. Or, comme illustré à la figure 24 pour certains de nos sujets, la phase d'impact est difficilement identifiable, tandis que pour d'autres, elle est très marquée.

Les forces horizontales maximales d'impact et d'absorption ne sont ordinairement pas étudiées séparément par les différents auteurs (Cavagna, 1971; Roy, 1982; Fukunaga et al., 1978). Ces derniers se contentent généralement de parler de force de freinage. Peu d'auteurs à part Cavanagh et Lafortune (1980) et Mason (1980) soulignent la présence d'un double pic dans la phase de freinage horizontal (figures 14 à 18) mais personne ne les explique.

Le tableau 7 nous permet de constater que les différents auteurs rapportent des forces de freinage qui sont pratiquement nulles au cours des premières enjambées. Les résultats de la présente étude se rapprochent de ces valeurs; en effet, en période de forte accélération, les forces de freinage sont faibles lors de l'impact de la première enjambée ($0,06 \times P.C.$). Cependant à vitesse élevée, elles sont inférieures à celles rapportées par Tsujino (1966) à la 18e enjambée.

Les forces horizontales et verticales maximales de propulsion calculées dans cette étude sont légèrement inférieures à celles rapportées par Cavagna et al. (1971) et Tsujino (1966) pour des vitesses de course comparables.

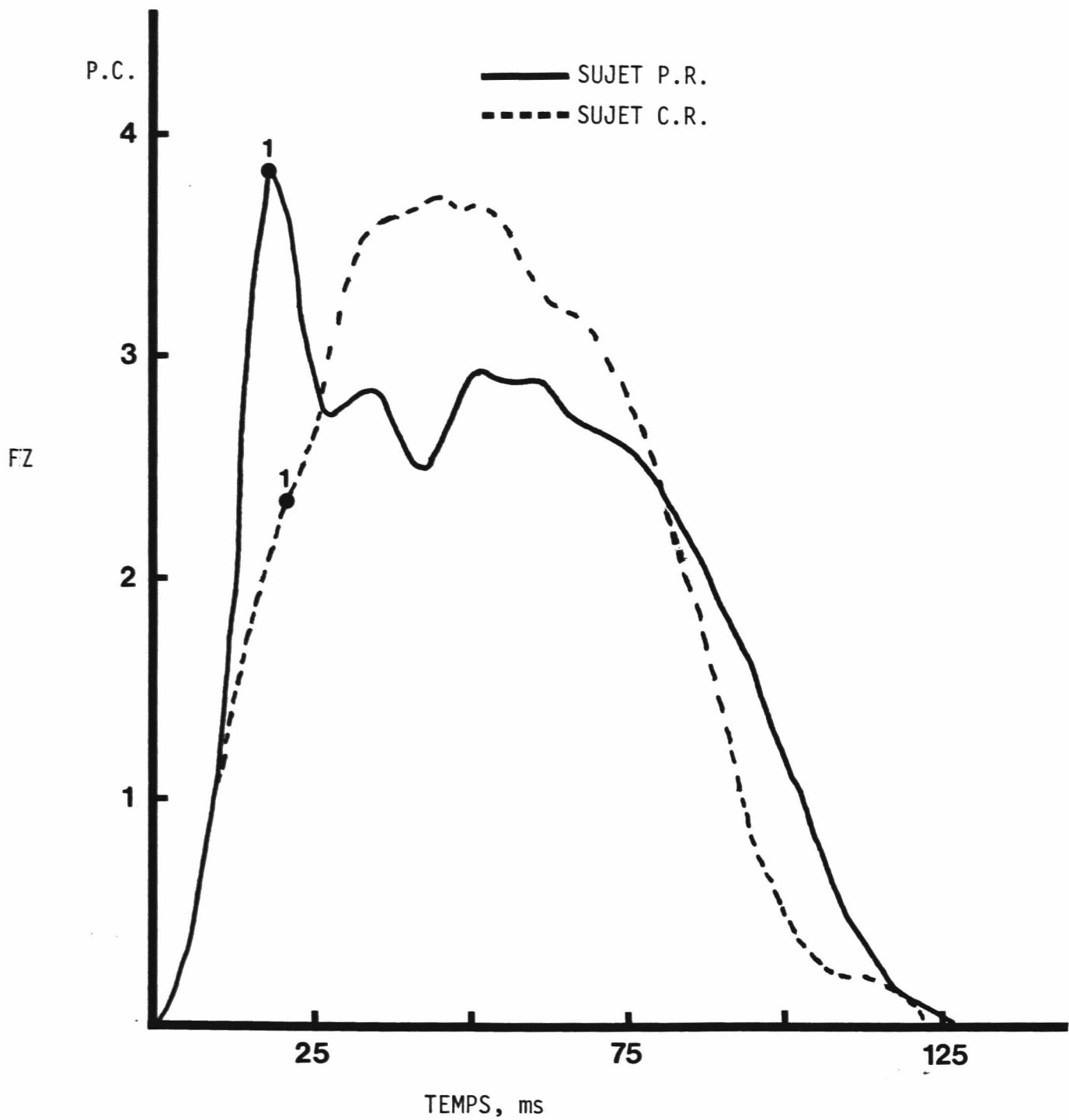


Figure 24 - Courbes typiques de la force verticale de deux sujets (P.R. et C.R.) à la 10e enjambée.

La force horizontale maximale de propulsion diminue de 1,27 à 0,87 X P.C. dans notre recherche. Ceci confirme assez bien les données rapportées par Cavagna et al. (1971) et Tsujino (1966). La force verticale maximale de propulsion augmente de 1,91 X P.C. (Cavagna et al., 1971) à 4,06 X P.C. (Tsujino, 1966); elle s'échelonne dans la présente étude de 2,11 à 3,35 X P.C.

Il y a peu de travaux portant sur les mesures d'impulsion (Gagnon, 1978; Ward, 1973; Delhez et Loverius, 1980; Baumann, 1976). Ces auteurs rapportent des impulsions horizontales de propulsion au départ de 200 à 300 N · s, ce qui est légèrement supérieur aux 199 N · s de cette étude-ci. Lorsque la vitesse augmente, l'impulsion horizontale de propulsion diminue passant de 198,9 à 20,6 N · s (18e enjambée).

L'impulsion horizontale de freinage qui est nulle au départ augmente jusqu'à 13,9 N · s à la 18e enjambée. Cela confirme les énoncés de Payne (1968) et Cavagna et al. (1971) lorsqu'ils soutiennent que la propulsion horizontale est plus grande que le freinage horizontal en début de course.

En fin de course, la vitesse étant presque constante, l'impulsion horizontale de freinage est encore légèrement inférieure à l'impulsion horizontale de propulsion (respectivement 14 et 20 N · s). Ces données se rapprochent de l'étude de Roy (1982) et de la recherche de Tsujino (1966), deux études portant sur la course à vitesse constante.

Quant à l'impulsion verticale nette, elle est de 15 N · s au départ et ne représente à ce moment que 8% de la valeur de l'impulsion horizontale

de propulsion ($199 \text{ N} \cdot \text{s}$). Par contre, à la 18e enjambée, elle est de $78 \text{ N} \cdot \text{s}$ alors que l'impulsion horizontale de propulsion n'est plus que de $20,7 \text{ N} \cdot \text{s}$, ce qui correspond à 26% de la valeur de l'impulsion verticale nette.

2) Phases de support: absorption, transition, propulsion, freinage

Luhtanen et Komi (1978, 1980) démontrent qu'avec une augmentation de la vitesse, la durée relative de la phase excentrique (absorption) conserve la même valeur, c'est-à-dire environ 35% de la phase totale de support alors que la phase concentrique (propulsion) correspond à 65%. Nos résultats révèlent que les durées relatives d'absorption, de transition et de propulsion composent respectivement 35%, 15% et 50% de la phase totale de support de la 2e à la 18e enjambée.

Si on sépare la phase de transition (période de temps où le coureur passe de l'absorption à la propulsion verticale) en parts égales et que l'on en intègre une partie à l'absorption et une autre à la propulsion (absorption = 42%; propulsion = 58%), on se rapproche sensiblement des données de Luhtanen et Komi (1978) et encore plus de celles de Beck (1966) qui rapporte des temps relatifs de 40% en phase d'absorption et de 60% en propulsion.

Il faut souligner, néanmoins, qu'au départ, la durée relative d'absorption est beaucoup plus importante (60%); en effet, l'athlète qui est en position debout doit tout d'abord s'affaisser de façon à

placer son centre de gravité de telle sorte qu'il puisse diriger les forces horizontales propulsives de façon optimale.

Conformément aux données rapportées par Tsujino (1966), la durée relative de propulsion horizontale diminue avec l'augmentation de la vitesse; elle passe de 100% au départ à un peu moins de 60% à la 18e enjambée. Cette diminution relative de la propulsion horizontale se fait au profit de la phase de freinage. Notons enfin que la durée relative de propulsion horizontale se rapproche des valeurs (environ 50%) trouvées par Roy (1982), Cavanagh et Lafortune (1980), Bates et al. (1979), lors d'études de courses à vitesse constante.

Analyses statistiques

1) Coefficients de corrélation

Tous les coefficients de corrélation entre la vitesse et les variables cinématiques et dynamiques sont hautement significatifs. Malheureusement, peu d'études en phase d'accélération ont couvert cet aspect. Néanmoins, si on compare nos résultats à ceux de Roy (1982), alors que les sujets (20) couraient à des vitesses constantes variant de 3,35 à 5,36 m/s, on remarque que les coefficients entre la vitesse et les variables temporelles sont à peu près de même grandeur, sauf pour la fréquence d'enjambée où le coefficient est de 0,83 dans cette étude comparativement à 0,52 dans l'étude de Roy (1982).

Par contre, au niveau des coefficients de corrélation entre la vitesse et les variables dynamiques, les résultats de cette étude

se démarquent de ceux de Roy (1982). Ce dernier rapporte des coefficients de corrélation opposés ou très inférieurs à ceux de notre étude (tableau 13). Il est clair que les variables dynamiques sont plus étroitement associées à la vitesse en période d'accélération qu'en phase de vitesse constante.

Quant aux variables anthropométriques, les résultats de notre étude confirment les données de Zatsiorskii et Primakov (1970) qui démontrent que les variables du poids et de la taille n'influencent pas les indices de vitesse et d'accélération en course. Ainsi, on obtient des coefficients de corrélation de 0,02 entre la vitesse et le poids et la taille; des coefficients de corrélation de 0,01 entre l'accélération et le poids, de -0,03 avec la taille.

En ce qui a trait au coefficient de corrélation entre la vitesse et l'accélération on note qu'il est assez élevé (-0,75). Il fallait d'ailleurs s'y attendre puisque l'accroissement de la vitesse s'accompagne d'une diminution de la courbe d'accélération (figure 9).

2) Analyse factorielle

Deux facteurs principaux ressortent de l'analyse factorielle: le premier est relié au freinage et l'autre aux durées de support et de propulsion.

Zatsiorskii et Primakov (1970), dans leur analyse factorielle portant sur la dynamique de l'accélération de départ en course, démontrent que le premier facteur influençant la course est constitué principalement

Tableau 13
Coefficients de corrélation entre la vélocité et
certaines variables dynamiques

	Roy (1982)	Présente étude
Force verticale maximale d'impact	0,65	0,74
Force horizontale de freinage	0,54	0,84
Force verticale maximale de propulsion	0,29	0,82
Force horizontale maximale de propulsion	0,65	-0,53
Durée de freinage horizontal	-0,57	0,85
Durée de propulsion horizontale	-0,22	-0,85
Impulsion verticale nette	0,21	0,77
Impulsion horizontale de propulsion	0,25	-0,86

des variables reliées à la longueur d'enjambée; quant aux variables du second facteur, elles sont surtout associées à la fréquence d'enjambée.

Il est intéressant de constater que l'angle du tronc avec un coefficient de saturation de 0,80 s'associe au freinage et que l'angle α avec un coefficient de saturation de -0,85 est lié aux durées de support et de propulsion. Cela démontre donc l'importance de l'angle α et de l'angle du tronc sur la vitesse de course comme le soutiennent de nombreux auteurs (Fenn, 1930; Deshon et Nelson, 1964; Slocum et Bowerman, 1968; Broer, 1979; Mann, 1980; Hay, 1978; Gagnon, 1978; Atwater, 1973, 1979; Slocum et James, 1968; Dowell et al., 1975; Ward, 1973; Dillman, 1971).

3) Analyse de régression multiple

L'analyse de régression multiple vise à identifier les variables contribuant le plus significativement aux variations de vitesse et d'accélération de course.

Tout comme dans l'étude de Roy (1982), la longueur relative d'enjambée (enjambée/taille) se révèle être le facteur le plus hautement relié à la vitesse de course. Il est suivi de la fréquence d'enjambée.

Le tableau 14 permet de mettre en valeur les variables les plus étroitement associées ($r \geq 0,80$) à la longueur relative d'enjambée, à la fréquence d'enjambée et à la durée relative de support.

Tableau 14

Coefficients de corrélation entre la longueur relative d'enjambée, la fréquence d'enjambée et la durée relative de support et certaines variables cinétiques et cinématiques. Ces coefficients sont tous significatifs à $p \leq 0,01$.

	Longueur relative d'enjambée	Fréquence d'enjambée	Durée relative de support
Durée absolue d'envol	0,86		
Durée relative d'envol	0,94		-1*
Angle α	0,86	0,85	-0,91
Angle β	0,86		-0,87
Angle du tronc	0,87		-0,80
Impulsion horizontale nette	-0,85	-0,89	0,91
Impulsion horizontale de propulsion		-0,89	0,92
Durée de support		-0,90	
Durée du cycle		-0,84	
Longueur relative d'enjambée	-		-0,94

* Relation mathématique

Il est intéressant d'autre part de constater l'importance de la longueur relative d'enjambée et de la fréquence d'enjambée dans l'analyse de régression multiple. Cela confirme en quelque sorte l'équation de la course de Dillman (1975) (longueur \times fréquence = vitesse). Cependant, pour Zatsiorskii et Primakov (1970), un coureur de vitesse obtient de meilleurs résultats s'il augmente la fréquence au détriment de la longueur d'enjambée. En d'autres mots, selon ces auteurs, le temps de course est en relation positive avec la longueur d'enjambée (0,55) mais en relation négative avec la fréquence (-0,65).

En ce qui a trait au développement de l'accélération, la durée relative de support, selon l'analyse de régression multiple, est la variable qui contribue le plus à l'accélération de course. Ainsi, on note que pour accélérer de façon optimale, il faut augmenter la durée relative de support. Maintenant, à la lumière des coefficients de corrélation obtenus au tableau 14 entre la durée relative de support et certaines variables, on pourrait ajouter qu'en phase d'accélération il est important de réduire la longueur relative d'enjambée, les angles α et β et l'angle du tronc. En somme, le coureur doit chercher à optimiser sa propulsion; pour cela il augmente sa durée relative de support en se laissant tomber vers le bas et l'avant au départ, réduisant du même coup ses angles α , β et l'angle du tronc.

Enfin, dans l'étude d'Atwater (1979), on observe de faibles durées d'envol et de support pour des athlètes de niveau international. Dès lors, on peut supposer que si nos athlètes, de niveau régional, réduisaient leur temps relatif d'envol et leur temps absolu de

support, ils augmenteraient la fréquence d'enjambée (diminution du temps du cycle) pour finalement accroître leur vitesse et leur accélération. Toutefois, trop réduire la durée de support aurait comme conséquence de diminuer l'impulsion horizontale de propulsion, ce qui entraînerait une baisse de la vitesse horizontale. En effet, le coefficient de corrélation entre la durée de support et l'impulsion horizontale de propulsion est de 0,97.

Conclusions

Deux objectifs étaient visés dans ce travail: mesurer les variations biomécaniques associées à une course en phase d'accélération et identifier les facteurs mécaniques les plus significativement responsables d'une course accélérée.

- La majorité des paramètres temporels, angulaires et dynamiques sont associés aux variations de vitesse et d'accélération.
- Deux facteurs principaux ressortent de l'analyse factorielle: l'un relié au freinage, l'autre aux durées de support et de propulsion.
- Enfin, l'analyse de régression multiple confirme que les variables spécifiques à la longueur et à la fréquence de l'enjambée sont celles qui influencent le plus significativement les modifications de la vitesse de course tandis que les variables reliées à la durée relative de support sont responsables des modifications de l'accélération de course.

REFERENCES

- Atwater, A.E. Cinematographic analysis of human movement. Exercise and Sports Sciences Reviews 1: 217-246, Academic Press, 1973.
- Atwater, A.E. Kinematic analysis of striding during the sprint start and mid-race sprint. Communication présentée au 26th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine, Honolulu, Hawaii, May 23-26, 1979.
- Bates, B.T., Haven, B.H. Analyses of the mechanics of highly skilled female runners. Dans Bleustein, J.L. (ed.), Mechanics and Sports, New York, American Society of Mechanical Engineers, 1973, p. 237-245.
- Bates, B.T., Mason, B.R., Osternig, L.R. Variations of velocity within the support phase of running. Sciences in Athletics. Academic Publishers, California, 1979, pp. 51-59. J. Térauds, éditeur.
- Bates, B.T., James, S.L., Osternig, L.R., Sawhell, J.A. Effects of running shoes on ground reaction forces and their relationship to selected aspect of lower extremity function. Abstracts of the VII International Congress of Biomechanics, 18-21 sept. 1979. Palace of Culture and Science, Warsaw, Poland.
- Baumann, W. Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start. Dans Komi, P.V. (ed.), Biomechanics V-B, Baltimore, Md., University Park Press, 1976, pp. 194-199.
- Beck, M.C. The path of the center of gravity during running in boys grade one to six. Thèse de doctorat, University of Wisconsin, Madison, 1966.
- Boccardi, S., Frigo, C., Ronado, R., Pedotti, A. Analysis of some athletics activities by means of vector diagrams. Dans Térauds, J. et Dale, G.G. (eds.), Science in Athletics, Academic Publishers, California, 1979, pp. 183-192.
- Broer, M.R., Zernicke, R.F. Efficiency of human movement. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1979 (4e édition), 427 p.
- Buchanan, C.W. The effects of time and velocity on studies of experienced middle distance runners. Thèse de maîtrise, Pennsylvania State University, 1971.

- Cavagna, G.A., Margaria, R., Acelli, E. A high speed motion analysis of the work performed in sprint running. Res. Film 5: 309-319, 1965.
- Cavagna, G.A., Komarek, L., Mazzolini, S. The mechanics of sprint running. Journal of Physiology 217: 709-721, sept. 1971.
- Cavagna, G.A., Thys, H., Zamboni, A. The sources of external work in level walking and running. Journal of Physiology (London) 262(3): 636-657, 1976.
- Cavagna, G.A., Heglund, N.C., Taylor, C.R. Walking, running and galloping: mechanical similarities between different animals. Scale effects in animal locomotion, Academic Press 1977, pp. 111-125, T.J. Pedley, éditeur.
- Cavanagh, P.R., Lafortune, M.A. Ground reaction forces in distance running. Jour. Biomechanics 13(4): 397-406, 1980.
- Delhez, L., Loverius, J.P., Timmermans, J.M. Dynamique du mouvement horizontal lors du départ du sprint. Sport: Communauté culturelle française de Belgique 23(2): 81-90, 1980.
- Deshon, D.E., Nelson, R.C. A cinematographical analysis of sprint running. Research Quarterly 35: 451-455, déc. 1964.
- Dillman, C.J. A kinetic analysis of the recovery leg during sprint running. Dans Cooper, J.M. (ed.), Selected Topics on Biomechanics, Chicago, Athletic Institute, 1971, pp. 127-165.
- Dillman, C.J. Kinematic analysis of running. Exercise and Sports Sciences Reviews 3: 193-218, Academic Press, 1975.
- Dittmer, J.A. A kinematic analysis of the development of the running pattern of grade school girls and certain factors which distinguish good from poor performance at the observed ages. Thèse de maîtrise, University of Wisconsin, Madison, 1962.
- Dowell, L.J., Jubela, R., Mamaliga, E. A cinematographical analysis of the 100 yard dash during acceleration and at optimum velocity, acceleration zero. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness 15(1): 20-25, 1971.
- Dyson, G.M. Principes de mécanique en athlétisme. Vigot Frères éditeurs, Paris, 1971, 238 p.
- Ecker, T. The sprinter's acceleration and forward lean. Athletic Journal 50(8): 28, 1970.

- Elliott, B.C., Blansky, B.A. Optimal stride length consideration for male and female recreational runners. British Journal of Sports Medicine 13(10): 15-18, 1979.
- Fenn, W.O. Work against gravity and work due to velocity changes in running. American Journal Physiology 93: 433-462, 1930.
- Fukunaga, T., Matsuo, A., Yuasa, K., Fujimatsu, H., Asakina, K. Mechanical power output in running. Biomechanics VI-B. International Series on Biomechanics, Volume 2-B, University Park, Baltimore, 1978, pp. 17-23. E. Asmussen et K. Jorgensen, éditeurs.
- Gagnon, M. Implications de la biomécanique sur les procédés d'entraînement en course. Mouvement 8(3): 165-175, 1973.
- Gagnon, M. Biomechanical comparison of the standing and kneeling sprint start. In Proceedings - International Congress on Physical Activity Sciences, Quebec City, juil. 11-16, 1976, Volume 6, pp. 115-122.
- Gregor, R.J., Rozenck, R., Brown, C.H., Garhammer, J. Variations in running stride mechanics as a function of velocity in elite distance runners. Abstract of the 1979 American College of Sports Medicine annual meeting and Pan Pacific conference. Medicine and Sciences in sports 11(1), spring 1979.
- Hay, J.G. The Biomechanics of Sports Techniques. Englewood Cliffs N.J.: Prentice-Hall, inc., 1978, Second edition.
- Henry, F.M., Trafton, I.R. The velocity curve of spring running. Research Quarterly 22: 412, 1951, pp. 409-421.
- Hoffmann, K. Stature, leg length, and stride frequency. Kult. Fiz. 9: (1964). Translated in Track Technique (F. Wilt, ed.), Vol. 46, pp. 1463-1469, 1971.
- Hogberg, P. Length of stride, stride frequency, flight period, and maximum distance between the feet during running with different speeds. Arbeitsphysiologie 14: 431-436, 1952.
- Hopper, B.J. Rotation - A vital factor in athletic technique. Track Technique no 10, déc. 1962, pp. 306-310.
- Hopper, B.J. The mechanics of Human Movement. New York: American Elsevier Publishing Co., Inc., 1973.

- Hoshikawa, T., Matsui, H., Miyashita, M. Analysis of running pattern in relation to speed. Dans Cerguiglini, S. (et al.), Biomechanics III, Basel, S. Karger, 1973, pp. 342-348.
- Ikai, M. Biomechanics of sprint running with respect to the speed curve. Dans Wartenweiler, J. (et al.), Biomechanics I, Basel, Switzerland: S. Karger Ag., 1968.
- James, S.L., Brubaker, C.E. Biomechanical and neuromuscular aspects of running. Exercise and Sport Sciences Review 1: 189-216, 1973.
- Laananen, D.H., Brooks, C.M. Determination of critical parameters for spiked track shoe design through analysis of sprinter motion. Dans Asmussen, E. et Jorgensen, K. (eds.), Biomechanics VI-A, Baltimore, Md., University Park Press, 1978, pp. 310-316.
- Luhtanen, P., Komi, P.V. Mechanical factors influencing running speed. Dans Asmussen, E. et Jorgensen, K. (eds.), Biomechanics VI-B, Baltimore, Md., University Park Press, 1977, C 1978, pp. 23-29.
- Luhtanen, P., Komi, P.V. Force, power and elasticity velocity relationships in walking, running, and jumping. European Journal Applied Physiology 44: 279-289, 1980.
- Mann, R.A., Hagy, J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. The American Journal of Sports Medicine 8(5): 345-350, 1980.
- Mann, R.V., Sprague, P. A kinetic analysis of the ground leg during spring running. Research Quarterly for Exercise and Sport 51(2): 334-348, 1980.
- Mason, B.R. A kinematic and kinetic analysis of selected parameter during the support phase of running. Thèse de doctorat, Université d'Orégon, 1980.
- Matsui, H., Miyashita, M., Miura, M. Transducer for measurement of pressure distribution in the foot. Dans Copies of our researchers, 1960-1970 (H. Matsui, ed.), pp. 21-27. Department of Physical Education, University of Nagoya, Japan, 1970.
- Miller, D.I. Biomechanics of running: What should the future hold? Canadian Journal of Applied Sport Sciences 3(4): 229-236, déc. 1978.

- Muir, M., Kobayashi, K., Miyashita, M., Matsui, J., Sodeyama, H. Experimental studies on biomechanics in long distance runners. First International Symposium on Problems of Biomechanics in Track and Field, Budapest, 1973.
- Murase, Y., Kamei, S., Hoshikawa, T., Miyashita, M., Matsui, H. Differences in the foot speed during running between trained runners and untrained runners. Dans Review of our researchers, 1970-1973 (H. Matsui, ed.), pp. 65-67, 1972.
- Nelson, R.C., Osterhoudt, R.G. Effects of altered slope and speed on biomechanics of running. Dans Vredenbregt, J. et Wartenweiller, J. (eds.) Biomechanics II, Baltimore, Md., University Park Press, 1971, pp. 220-224.
- Nelson, R.C., Gregor, R.J. Biomechanics of distance running: a longitudinal study. Research Quarterly 47(3): 417-428, 1976.
- Nelson, R.C., Brooks, C.M., Pike, N.L. Biomechanical comparison of male and female distance runners. Dans Milvy, P. (ed.), Marathon: Physiological, Medical, Epidemiological and Psychological Studies, New York, New York Academy of Sciences, 1977, part 8, pp. 793-807.
- Page, R.L. Velocity analysis of human movement. Physical Education (England 61(183): 40-47, 1969.
- Payne, A.H., Slater, W.J., Telford, T. The use of a force platform in the study of athletic activities: a preliminary investigation. Ergonomics 11(2): 123-143, 1968.
- Payne, A.H. A comparison of the ground forces in race walking with those in normal walking and running. Dans Asmussen, E. et Jorgensen, K. (eds.), Biomechanics VI-A, University Park Press, 1978, pp. 293-302.
- Roy, B. Caractéristiques biomécaniques de la course d'endurance. Communication personnelle, Journal Canadien des Sciences Appliquées aux Sports 7(2): 104-115, 1982.
- Saito, M., Kabayaski, K., Miyashita, M., Hoshikawa, T. Temporal patterns in running. Dans Nelson, R.C. et Morehouse, C.A. (eds.), Biomechanics IV, Baltimore, Md., University Park Press, 1974, pp. 106-111.

- Scholich, M. East German study of the distance stride. Track Technique 74: 2355-2359, hiv. 1978.
- Singh, M., Irwin, D., Gutoski, F.P. Effect of high speed treadmill and sprint training on stride length and rate. Dans Proceedings - International Congress of Physical Activity Sciences, Quebec City, juil. 11-16, 1976, Vol. 6, pp. 123-134.
- Sinning, W.E., Forsyth, H.L. Lower-limb actions while running at different velocities. Medicine and Science in Sports 2: 28-34, 1970.
- Slocum, D.B., Bowerman, W. The biomechanics of running. Clinical orthopaedics 23: 39-45, 1962.
- Slocum, B., James, S.L. Biomechanics of running. Journal of the American Medical Association 205: 721-728, 1968.
- Stoner, L.J., Ben-Sira, D. Sprinting on the curve. Dans Terauds, J. et Dales, G.G. (eds.), Science in Athletics, Academic Publishers, California, 1979, pp. 167-173.
- Taylor, P. The relationship among mechanical characteristics, running efficiency, and performance of varsity track men. Thèse de doctorat, University of Indiana, 1971.
- Teeple, J.B. A biomechanical analysis of running patterns of college women. Thèse de maîtrise, University of Pennsylvania, 1968.
- Tsujino, A. The kick in sprint running: an analysis of forces activity to the foot. Kobe J. Med. Sci. 12: 1-26, 1966.
- Vaughan, C.L., Matravers, D.R. Biomechanical model of the sprinter. Journal of Human Movement Studies 3(4): 207-213, dec. 1977.
- Volkov, N.I., Lapin, V.I. Analysis of the velocity curve in sprint running. Medicine and Science in Sports 11(4): 332-337, 1979.
- Ward, P. An analysis of the kinetic and kinematic factors of standup and the preferred crouch starting techniques with respect to sprint performance. Thèse de doctorat, University of Indiana, 1973.
- Yoneda, Y., Adrian, M., Walker, F., Dobie, D. Kinematic and kinetic analysis of sprinting and jogging, Dans Terauds, J. et Dales, G.G. (eds.), Science in Athletics, Academic Publishers, California, 1979, pp. 85-91.

Zatsiorskii, V.M., Primakov, I.N. Dynamique de l'accélération de départ en course et ses facteurs, leur détermination. Kinanthropologie 2(10): 69-81, 1970.

APPENDICE A

PROGRAMME POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES DYNAMOGRAPHIQUES

```

1  DIM A(127,5),B(127,5),S(127),D(127),F(127),C(127),V(127),T(127)
2  DIM H(5),J(5)
3  PRINT
4  LET B(1)=70
5  PRINT "SUBJECT NO....  J  ESSAY NO....  "
9  LET Q(1)=.2825
12 PRINT
22 CALL 4
21 CALL 2, 2,127,1,5,A( 2, 2)
22 CALL 3,5
23 IF B= 2 GOTO 22
24 CALL 12,758,A( 2, 2),A( 3, 2)
25 PRINT "OK"
26 LET Q(1)= 2
27 PRINT
28 IF Q(1)=1 GOTO 38
30 LET Q(2)=1
31 FOR L= 2 TO Q(2)
32   FOR M= 2 TO 5
33     FOR N=1 TO 126
34       LET A(N,L)=(A(N-1,L)+A(N+1,L)+(2*A(N,L)))/4
35     NEXT N
36   NEXT M
37 NEXT L
38 FOR I= 2 TO 127
39   LET T(1)=1
40   LET B(1, 2)=7.18586*(A(1, 2)-A( 2, 2))
41   LET B(1,1)=7.18586*(A(1,1)-A( 2,1))
42   LET B(1,2)=7.18586*(A(1,2)-A( 2,2))
43   LET B(1,3)=7.18586*(A(1,3)-A( 2,3))
44   LET S(1)=B(1, 2)+B(1,1)+B(1,2)+B(1,3)
45   LET D(1)=S(1)
46   LET B(1,4)=3.5953*(A(1,4)-2848)
47   LET F(1)=B(1,4)
48   LET B(1,5)=3.5953*(A(1,5)-A( 2,5))
49   LET G(1)=B(1,5)
50 NEXT I
51 PRINT
52 DIM C(127),H(127),V(12)
53 FOR J= 2 TO 127
54   LET C(J)=2*J
55 NEXT J
56 LET M=5
57 GOSUB 202
58 PRINT "FY(+)=";M(1);"FY(-)=";M( 2)
59 PRINT
60 GOSUB 1222
61 PRINT
62 LET M=4
64 GOSUB 222
65 PRINT "FX(+)=";M(1);"FX(-)=";M( 2)
70 PRINT

```



```

71 GOSUB 1000
72 LET X= 2
73 GOSUB 300
75 PRINT "FZ(+)=";M[1];"FZ(-)=";N[ 3]
76 PRINT
77 GOSUB 1000
82 PRINT "POINTS ET ANGLES D'APPLICATION : REGION ?"
83 INPUT R[2],R[3]
84 PRINT
85 GOSUB 400
86 PRINT
87 PRINT "TRANSVERSE.... SINDA 1 "
88 INPUT R[9]
89 IF R[9]> 0 GOTO 300
90 PRINT "POINTS          TEMPS(SEC)          FORCES(RES)          GAMMA          DELTA"
92 PRINT
94 FOR J=R[2] TO R[3] STEP 4
95   GOSUB 210
98   PRINT J, T[J], F[J], G[J], D[J]
100   PRINT S[J], B[J, 4], B[J, 5]
102   PRINT
104 NEXT J
105 PRINT "FZ=";S[R[2]]; "FX=";B[R[2], 4]; "FY=";B[R[2], 5]; "AU PT";R[2]
106 PRINT
108 PRINT
110 PRINT "REGION=0"
112 INPUT R[4]
114 PRINT
116 IF R[4]= 0 GOTO 82
118 END
200 LET M[1]= 0
201 LET N[ 3]= 0
202 FOR K= 0 TO 127
203   IF B[K, X]<M[1] GOTO 205
204   LET M[1]=B[K, X]
205   IF B[K, X]>N[ 3] GOTO 207
206   LET N[ 3]=B[K, X]
207 NEXT K
208 RETURN
210 LET T[J]=2[ 0]*J
211 LET F[J]= SQRT ((S[J]*S[J])+(B[J, 4]*B[J, 4])+(B[J, 5]*B[J, 5]))
212 LET P[J]= SQRT ((B[J, 4]*B[J, 4])+(B[J, 5]*B[J, 5]))
213 IF S[J]<> 0 GOTO 240
214 LET G[J]= 0
215 IF P[J]<> 0 GOTO 220
216 LET D[J]= 0
218 RETURN
220 IF B[J, 4]<> 0 GOTO 226
222 LET D[J]=90
224 RETURN
226 IF B[J, 5]<> 0 GOTO 232
228 LET D[J]= 0
230 RETURN
232 LET D[J]=57.2958* ATN (B[J, 5]/B[J, 4])
234 RETURN

```

```

234 RETURN
240 IF P[0] <> 0 GOTO 248
242 LET S[0]=90
244 LET D[0]= 0
246 RETURN
248 LET S[0]=57.2958* ATN (S[0]/P[0])
250 IF S[0,4] <> 0 GOTO 258
252 LET D[0]=90
254 RETURN
256 IF S[0,5] <> 0 GOTO 262
258 LET D[0]= 0
262 RETURN
262 LET D[0]=57.2958* ATN (S[0,5]/D[0,4])
264 RETURN
300 LET N[0]= 0
301 LET N[0]= 0
302 FOR K= 0 TO 127
303   IF S[K] < N[0] GOTO 305
304   LET N[0]=S[K]
305   IF S[K] > N[0] GOTO 307
306   LET N[0]=S[K]
307 NEXT K
308 RETURN
400 LET I= 0
401 FOR J=R[0] TO R[0] STEP 4
402   LET I=I+1
403   LET V[0]=(S[0,4]*(-.237))-(.132*(S[0,1]+S[0,2])-(S[0,0]+S[0,3]))
))
410   LET W[0]=(S[0,5]*(-.237))+(.22*(S[0,0]+S[0,1])-(S[0,2]+S[0,3]))
)
411 PRINT
412 PRINT J, 100*V[0]/S[0], 100*W[0]/S[0]
414 NEXT J
415 RETURN
500 PRINT "IMPULSION="
505 INPUT R[0], R[0]
506 PRINT
510 IF M= 0 GOTO 520
512 IF M=4 GOTO 565
515 IF M=5 GOTO 565
520 LET E= 0
525 FOR U=R[0]+1 TO R[0]-1 STEP 2
530   LET E=E+(4*S[U]+2*S[U+1])
531 NEXT U
533 LET E1=E-(S[R[0]]*2)
535 LET Z=(200/3)*(S[R[0]]+E1+S[R[0]])
540 PRINT
550 LET Z1=Z-((R[0]*9.81)*(R[0]-R[0])*100)
552 PRINT Z1

```

```

552 PRINT 21
553 PRINT
554 PRINT
555 PRINT "REGION=2"
556 INPUT R(7)
557 PRINT
558 PRINT
559 IF R(7)=0 GOTO 500
560 RETURN
565 LET M=0
566 PRINT
570 FOR U=R(5)+1 TO R(6)-1 STEP 2
575 LET M=M+(4*B(U,X)+2*B(U+1,X))
578 NEXT U
580 LET M1=M-(2*B(R(6),X))
585 LET Z2=(R(2)/3)*(B(R(5),X)+M1+B(R(6),X))
590 PRINT Z2
591 PRINT
592 PRINT "REGION=2"
593 INPUT R(8)
594 PRINT
595 PRINT
596 PRINT
597 IF R(8)=0 GOTO 500
598 RETURN
600 PRINT
603 PRINT "POINTS TEMPS FORCES (RES) GA.1.1A "
605 PRINT
609 FOR J=R(2) TO R(3) STEP 4
612 LET T(J)=R(2)*J
615 LET F(J)=SQR((S(J)*S(J))+ (B(J,5)*B(J,5)))
618 IF S(J)<>0 GOTO 624
619 GOTO 635
621 LET G(J)=0
624 IF (B(J,5))<>0 GOTO 630
627 LET G(J)=90
628 GOTO 635
630 LET G(J)=53.2958*ATN(S(J)/B(J,5))
635 PRINT J, T(J), F(J), G(J)
640 PRINT S(J), B(J,5)
645 PRINT
650 NEXT J
653 PRINT "FZ="; S(R(2)); "FY="; B(R(2),5); "AV PT"; R(2)
656 PRINT
659 GOTO 112
1000 LET L1=4.79004
1005 LET S1=ABS(R(2))
1010 FOR N=0 TO 127
1012 IF N=0 GOTO 1017
1015 LET H(N)=(B(N,X)+S1)/L1
1016 GOTO 1020
1017 LET H(N)=(S(N)+S1)/L1
1020 NEXT N
1025 PRINT
1026 PRINT "PLOT"
1028 PRINT
1033 CALL 21,1,127,0,00,0,R(2)
1035 GOSUB 520
1045 RETURN

```

APPENDICE B

PROGRAMME POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES CINEMATOGRAPHIQUES

```

LIST
0 SLOT = 2
5 LET Z = 0
6 DIM A(50),B(50)
9 FOR S = 1 TO 23
0 D109 = - 16384 + SLOT * 256
1 Z = PEEK (D109 + 13)
2 IF Z > 0 THEN 24
3 GOTO 21
4 FOR I = 0 TO 25: SOUND = PEEK
  ( - 16336): NEXT I
5 POKE D109 + 1,0
0 POKE D109 + 11,0
0 POKE D109 + 0,0
0 POKE D109 + 11,0
0 POKE D109 + 17,0
0 POKE D109 + 27,0
1 POKE D109 + 16,0
2 POKE D109 + 27,0
5 B = PEEK (D109 + 1)
0 Y = PEEK (D109 + 0)
0 M = PEEK (D109 + 17)
00 N = PEEK (D109 + 16)
58 LET TL = 1
70 LET X = B: GOSUB 1000
78 LET TL = 2
00 LET X = Y: GOSUB 1000
38 LET TL = 3
10 LET X = M: GOSUB 1000
18 LET TL = 4
20 LET X = N: GOSUB 1000
21 IF B < 10 THEN 950
22 GOTO 930
23 IF M < 10 THEN 960
24 GOTO 940
30 PRINT "X=";Y;B: GOTO 923
40 PRINT "Y=";N;M: GOTO 970
50 PRINT "X=";Y;"0";B: GOTO 923

50 PRINT "Y=";N;"0";M
70 LET Q = (Y * 100) + B
71 LET A(S) = Q
72 LET Z = (N * 100) + M
74 LET B(S) = Z
78 NEXT S
80 GOSUB 3010
100 IF X - 128 < 0 THEN 1009
101 LET A = 0: LET A1 = 0: LET
  A2 = 0: LET A3 = 0
102 LET A4 = 0: LET A5 = 0: LET
  A6 = 0: LET A7 = 0
103 LET D = 0
105 LET A = 80: LET X = X - 128
  : GOTO 1010

```

```
1008 LET X = X - 128
1009 LET A = 0
1010 IF X - 64 < 0 THEN 1019
1015 LET A1 = 40: LET X = X - 64
      : GOTO 1020
1018 LET X = X - 64
1019 LET A1 = 0
1020 IF X - 52 < 0 THEN 1029
1025 LET A2 = 20: LET X = X - 32
      : GOTO 1030
1028 LET X = X - 32
1029 LET A2 = 0
1030 IF X - 16 < 0 THEN 1039
1035 LET A3 = 10: LET X = X - 16
      : GOTO 1040
1038 LET X = X - 16
1039 LET A3 = 0
1040 IF X - 8 < 0 THEN 1049
1045 LET A4 = 08: LET X = X - 8:
      GOTO 1050
1048 LET X = X - 8
1049 LET A4 = 0
1050 IF X - 4 < 0 THEN 1059
1055 LET A5 = 04: LET X = X - 4:
      GOTO 1060
1058 LET X = X - 4
1059 LET A5 = 0
1060 IF X - 2 < 0 THEN 1069
1065 LET A6 = 02: LET X = X - 2:
      GOTO 1070
1068 LET X = X - 2
1069 LET A6 = 0
1070 IF X - 1 < 0 THEN 1079
1075 LET A7 = 01: GOTO 1080
1079 LET A7 = 0
1080 LET D = A1 + A + A2 + A3 +
      A4 + A5 + A6 + A7
1100 IF TL = 1 THEN 1140
1110 IF TL = 2 THEN 1150
1120 IF TL = 3 THEN 1160
1130 IF TL = 4 THEN 1170
1135 GOTO 1100
1140 LET B = D: GOTO 1180
1150 LET Y = D: GOTO 1180
1160 LET M = D: GOTO 1180
1170 LET N = D: GOTO 1180
1180 RETURN
1110 LET N1 = A(2) - A(1)
1115 LET N2 = A(4) - A(3)
1120 LET N3 = A(5) - A(4)
1125 LET N4 = A(7) - A(6)
1130 LET N5 = A(8) - A(9)
1135 LET N6 = A(10) - A(11)
1140 LET N7 = A(13) - A(6)
1145 LET P1 = A(12) - A(15)
1150 LET P2 = A(15) - A(16)
1155 LET P3 = A(17) - A(16)
```

```

060 LET P4 = A(14) - A(18)
065 LET P5 = A(18) - A(19)
070 LET P6 = A(20) - A(19)
075 LET P7 = A(22) - A(21)
080 LET R1 = ((N1 * .551) + A(1
)) * .015
085 LET R2 = ((N2 * .629) + A(3
)) * .043
090 LET R3 = ((N3 * .628) + A(4
)) * .103
095 LET R4 = ((N4 * .628) + A(8
)) * .103
100 LET R5 = ((N5 * .629) + A(9
)) * .043
105 LET R6 = ((N6 * .551) + A(1
1)) * .015
110 LET R7 = ((N7 * .62) + A(6)
) * .507
120 LET S1 = ((P1 * .487) + A(1
5)) * .026
125 LET S2 = ((P2 * .61) + A(16
)) * .016
130 LET S3 = ((P3 * .82) + A(16
)) * .007
135 LET S4 = ((P4 * .487) + A(1
8)) * .026
140 LET S5 = ((P5 * .61) + A(19
)) * .016
145 LET S6 = ((P6 * .82) + A(19
)) * .007
150 LET S7 = ((P7 * .536) + A(2
1)) * .073
160 PRE 1
165 PRINT "S=...;E=...;I=...;"
167 PRINT " "
168 PRINT " "
170 LET T1 = R1 + R2 + R3 + R4 +
R5 + R6 + R7 + S1 + S2 + S3 +
S4 + S5 + S6 + S7
171 LET U1 = (T1 - A(23)) / (4.
33 * 100)
173 PRINT "COORDONNEE X=";U1
175 PRINT " "
176 PRINT " "
010 LET C1 = B(2) - B(1)
015 LET C2 = B(4) - B(3)
020 LET C3 = B(5) - B(4)
025 LET C4 = B(7) - B(8)
030 LET C5 = B(8) - B(9)
035 LET C6 = B(10) - B(11)
040 LET C7 = B(13) - B(6)
045 LET F1 = B(12) - B(15)
050 LET F2 = B(15) - B(16)
055 LET F3 = B(17) - B(16)
060 LET F4 = B(14) - B(18)

```

```

1065 LET F5 = B(18) - B(19)
1070 LET F6 = B(20) - B(19)
1075 LET F7 = B(22) - B(21)
1080 LET G1 = ((C1 * .551) + B(1
)) * .015
1085 LET G2 = ((C2 * .629) + B(3
)) * .043
1090 LET G3 = ((C3 * .628) + B(4
)) * .103
1095 LET G4 = ((C4 * .628) + B(8
)) * .103
1100 LET G5 = ((C5 * .629) + B(9
)) * .043
1105 LET G6 = ((C6 * .551) + B(1
1)) * .015
1110 LET G7 = ((C7 * .62) + B(6)
) * .507
120 LET K1 = ((F1 * .487) + B(1
5)) * .026
125 LET K2 = ((F2 * .61) + B(16
)) * .016
130 LET K3 = ((F3 * .82) + B(16
)) * .007
135 LET K4 = ((F4 * .487) + B(1
8)) * .026
140 LET K5 = ((F5 * .61) + B(19
)) * .016
145 LET K6 = ((F6 * .82) + B(19
)) * .007
150 LET K7 = ((F7 * .536) + B(2
1)) * .073
170 LET T2 = G1 + G2 + G3 + G4 +
G5 + G6 + G7 + K1 + K2 + K3 +
K4 + K5 + K6 + K7
171 LET U2 = (T2 - B(23)) / (4.
33 * 100)
172 PRINT
175 PRINT "COORDONNEE Y=";U2
180 PRINT " "
185 PRINT " "
500 LET J1 = T1 - ((N1 * .551) +
A(1))
505 LET J2 = T2 - ((C1 * .551) +
B(1))
510 LET E1 = ATN (J2 / J1) * 5
7.3
515 PRINT "ANGLE P-CG=";E1
520 LET E2 = ATN (C7 / N7) * 5
7.3
522 PRINT " "
525 PRINT "ANGLE TRONC=";E2
530 PRINT " "
535 PRINT "....."
*****"
540 PRINT " "
550 PRINT " "

```


APPENDICE C

MOYENNE ET ECART-TYPE DES VARIABLES

LISTE DES VARIABLES

V ou X

3	Temps sur 20 mètres
4	Numéro de la foulée
5	Impulsion verticale nette
6	Impulsion horizontale de freinage
7	Impulsion horizontale de propulsion
8	Impulsion horizontale nette
9	Longueur relative d'enjambée
10	Longueur d'enjambée
12	Durée totale du cycle
13	Durée d'envol
14	Durée de support
15	Durée relative d'envol
16	Durée relative de support
17	Vélocité
18	Accélération
19	Angle α
20	Angle β
21	Angle du tronc
22	Durée de la phase d'absorption verticale
23	Durée relative de la phase d'absorption verticale
24	Durée de la phase de transition verticale
25	Durée relative de la phase de transition verticale
26	Durée de la phase de propulsion verticale
27	Durée relative de la phase de propulsion verticale
28	Durée de freinage horizontal
29	Durée relative de freinage horizontal
30	Durée de propulsion horizontale
31	Durée relative de propulsion horizontale
32	Age
33	Masse

Liste des variables (suite)

V ou X

34	Taille
35	Pourcentage freinage pendant la phase d'absorption verticale
36	Pourcentage freinage pendant la phase de transition verticale
37	Pourcentage propulsion pendant la phase d'absorption verticale
38	Pourcentage propulsion pendant la phase de transition verticale
39	Force verticale maximale d'impact
40	Force verticale maximale d'absorption
41	Force verticale maximale de propulsion
42	Force horizontale maximale d'impact
43	Force horizontale maximale d'absorption 1
44	Force horizontale maximale d'absorption 2
45	Force horizontale maximale de propulsion
48	Fréquence d'enjambée

URS	V40	V41	V42	V43	V44	V45	V48
1	0.6177	2.222	0.011	2.588	0.256	1.269	1.601
2	1.4270	1.041	0.064	0.527	0.443	0.036	0.033
3	0.2355	3.463	1.104	0.453	0.497	0.007	0.372
4	2.4870	2.446	0.174	0.712	0.197	0.956	0.692
5	2.5974	2.693	0.517	0.208	0.165	0.945	0.692
6	2.7744	2.792	0.627	0.279	0.094	0.981	0.835
7	2.8842	2.981	0.591	0.155	0.096	0.896	0.893
8	2.9922	3.125	0.736	0.131	0.000	0.964	0.893
9	3.0884	3.257	0.817	0.151	0.000	0.803	0.893
10	3.1699	3.379	0.817	0.098	0.000	0.930	0.893
11	3.2333	3.500	0.938	0.013	0.000	0.890	0.956
12	3.2817	3.620	1.072	0.058	0.000	0.890	0.987
13	3.3170	3.750	1.209	0.099	0.000	0.890	0.987
14	3.3485	3.881	1.351	0.131	0.000	0.890	0.987
15	3.3759	4.013	1.500	0.155	0.000	0.890	0.987

S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
0.1352	0.000	16.152	0.000	27.918	27.918	0.092	0.160
0.1100	0.000	12.532	0.000	9.418	7.885	0.029	0.083
0.0977	0.000	19.229	0.000	7.566	8.036	0.070	0.146
0.0808	0.000	14.322	0.000	5.887	7.621	0.057	0.131
0.0949	0.000	17.941	0.000	6.874	8.507	0.063	0.127
0.0768	0.000	8.389	0.000	1.078	1.699	0.071	0.152
0.1096	0.000	7.877	0.000	3.348	4.632	0.057	0.122
0.0750	0.000	14.472	0.000	2.698	3.816	0.081	0.184
0.1110	0.000	10.672	0.000	5.240	7.940	0.072	0.164
0.0866	0.000	14.199	0.000	6.987	8.168	0.081	0.154
0.0936	0.000	10.672	0.000	5.240	7.940	0.072	0.164
0.0891	0.000	14.199	0.000	6.987	8.168	0.081	0.154
0.0753	0.000	10.672	0.000	5.240	7.940	0.072	0.164
0.0877	0.000	14.199	0.000	6.987	8.168	0.081	0.154
0.0933	0.000	10.672	0.000	5.240	7.940	0.072	0.164
0.0755	0.000	16.152	0.000	27.918	27.918	0.092	0.160
0.1295	0.000	15.633	0.000	9.183	8.851	0.029	0.083

URS
S12
S13
S14
S15
S16
S17
S18
S19
S20

URS	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
1	2.1223	0.279	0.922	2.111	2.246	4.280	6.577	2.495	5.495
2	2.0992	0.015	0.213	1.955	0.979	0.236	0.370	0.391	0.897
3	2.2999	0.025	0.544	1.977	3.399	0.688	0.020	0.241	0.020
4	2.6622	0.012	0.449	1.566	0.336	0.181	0.728	0.368	0.000
5	2.3067	0.020	0.110	2.315	0.623	0.560	0.637	0.124	0.000
6	2.3460	0.011	0.135	2.088	0.527	0.230	0.552	0.334	0.000
7	2.4751	0.020	0.207	1.761	0.962	0.276	0.573	0.460	0.000
8	2.2909	0.014	0.449	1.466	0.236	0.290	0.477	0.065	0.000
9	2.2223	0.011	0.333	1.444	0.991	0.480	0.536	0.520	0.000
10	2.5738	0.018	0.374	1.444	0.699	0.275	0.823	0.500	0.000
11	2.2403	0.019	0.444	1.406	0.991	0.591	0.338	0.520	0.000
12	2.2403	0.019	0.444	1.406	0.991	0.591	0.338	0.520	0.000
13	2.2403	0.019	0.444	1.406	0.991	0.591	0.338	0.520	0.000
14	2.2403	0.019	0.444	1.406	0.991	0.591	0.338	0.520	0.000
15	2.2403	0.019	0.444	1.406	0.991	0.591	0.338	0.520	0.000

	S21	S22	S23
7	51591	0812404	91044
5	81566	0115859	16228
5	25744	0120941	20185
5	53777	0077349	26534
5	73973	0085661	3422
4	63801	0048028	89824
4	87714	0044695	74314
5	82714	0033747	82843
5	66569	0033107	19026
4	47710	0003657	57377
3	94968	0003333	57377
4	34102	0003945	19026
3	14289	0002549	27058
3	25441	0002549	75119
3	33999	0003831	27058
3	33999	0003831	66643
3	33999	0003831	33358

OBS	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32
1	0139841	3202030	0219944	421769	0000430	0450017	0921110	000178	11656
2	0000001	282789	1099441	333207	0110431	541177	022056	541178	31656
3	0000001	957895	1888888	033207	0118391	577874	015240	577874	31656
4	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
5	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
6	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
7	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
8	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
9	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
10	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
11	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
12	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
13	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
14	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656
15	0000001	221099	1044504	086758	0104291	657874	001417	657874	31656

	S33	S34	S35
1	50278	0688396	09075
2	50278	0688396	90754
3	50278	0688396	17945
4	50278	0688396	17945
5	50278	0688396	18669
6	50278	0688396	18321
7	50278	0688396	166346
8	50278	0688396	166346
9	50278	0688396	13226
10	50278	0688396	13226
11	50278	0688396	13226
12	50278	0688396	13226
13	50278	0688396	13226
14	50278	0688396	13226
15	50278	0688396	13226

APPENDICE D

ANALYSES STATISTIQUES

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

CORRELATION MATRIX

	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X3	1.00000							
X4	0.11835	1.00000						
X5	0.04577	0.59505	1.00000					
X6	0.07689	0.64778	0.61366	1.00000				
X7	0.08812	0.83144	0.71007	0.57049	1.00000			
X8	0.12055	0.56004	0.66573	0.54028	0.38897	1.00000		
X9	0.13915	0.74858	0.78347	0.69963	0.47963	0.80556	1.00000	
X10	0.12651	0.74858	0.74347	0.64912	0.65467	0.85769	0.90997	1.00000
X11	0.20421	0.88381	0.76745	0.64912	0.80556	0.90997	0.92338	0.92338
X12	0.04659	0.84589	0.72310	0.67012	0.78705	0.96222	0.85693	0.85693
X13	0.01333	0.88162	0.67012	0.61928	0.77947	0.90997	0.92338	0.92338
X14	0.00445	0.84589	0.62941	0.40779	0.40779	0.84718	0.90997	0.90997
X15	0.10845	0.47609	0.51721	0.27301	0.27301	0.82106	0.82106	0.82106
X16	0.07216	0.31562	0.49779	0.27301	0.27301	0.90224	0.90224	0.90224
X17	0.14362	0.64079	0.77128	0.54979	0.54979	0.90224	0.90224	0.90224
X18	0.01410	0.28255	0.23461	0.23461	0.23461	0.85769	0.85769	0.85769
X19	0.00445	0.42084	0.39497	0.39497	0.39497	0.90224	0.90224	0.90224
X20	0.19962	0.70851	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X21	0.01172	0.42084	0.39497	0.39497	0.39497	0.90224	0.90224	0.90224
X22	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X23	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X24	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X25	0.19962	0.70851	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X26	0.01172	0.42084	0.39497	0.39497	0.39497	0.90224	0.90224	0.90224
X27	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X28	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X29	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X30	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X31	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X32	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X33	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X34	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X35	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X36	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X37	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X38	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X39	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X40	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X41	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X42	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X43	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X44	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X45	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X46	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X47	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X48	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224
X49	0.05422	0.90093	0.66520	0.66520	0.66520	0.90224	0.90224	0.90224
X50	0.12414	0.90093	0.72402	0.72402	0.72402	0.90224	0.90224	0.90224

CORRELATION MATRIX

	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25
X18	0.68773	0.46599	0.13313	0.04775	0.10845	0.72166	0.14362	0.14110
X19	0.68708	0.68428	0.84589	0.88162	0.47609	0.31562	0.64079	0.28255
X20	0.64912	0.74318	0.72310	0.77011	0.62294	0.51721	0.54979	0.23346
X21	0.65467	0.61928	0.78705	0.82626	0.40779	0.27301	0.54979	0.24477
X22	0.69355	0.96606	0.81335	0.69339	0.94594	0.82718	0.90224	0.06333
X23	0.71887	0.85690	0.85338	0.86755	0.67773	0.58965	0.79933	0.04411
X24	0.74968	0.84911	0.85402	0.48681	0.67397	0.56582	0.77544	0.22121
X25	0.50010	0.77894	0.71899	0.67503	0.86326	0.55167	0.73251	0.05165
X1	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X2	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X3	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X4	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X5	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X6	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X7	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X8	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X9	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X10	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X11	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X12	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X13	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X14	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X15	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X16	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X17	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X18	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X19	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X20	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X21	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X22	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341
X23	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X24	0.75392	0.90939	0.87187	0.80715	0.82377	0.70718	0.89751	0.16659
X25	0.61109	0.93524	0.69915	0.60415	0.98601	0.86351	0.89976	0.17341

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

CORRELATION MATRIX

	X26	X27	X28	X29	X30	X31	X32	X33
X34	0.199625	-0.420818	0.826544	-0.900932	0.635133	0.900932	0.156885	0.46446
X45	-0.770855	0.604447	0.660557	0.665220	-0.724022	-0.665220	0.000000	0.000000
X56	-0.623390	0.355553	0.871226	0.918523	0.571011	0.685230	0.114334	0.18488
X78	0.910432	0.857220	0.697379	0.685230	0.978011	0.739554	0.042325	0.033945
X89	0.903225	0.839440	0.808881	0.829777	0.806291	0.833369	0.010233	0.022919
X10	0.781994	0.649330	0.822206	0.491116	0.792241	0.833369	0.085563	0.017767
X11	0.768577	0.732886	0.496622	0.595770	0.849885	0.491116	0.017261	0.015990
X12	0.633188	0.613441	0.605880	0.604462	0.693357	0.604462	0.018889	0.061599
X13	0.917774	0.851999	0.615880	0.595770	0.844885	0.595770	0.011889	0.032280
X14	0.892261	0.765776	0.748311	0.770551	0.907332	0.770551	0.007331	0.032280
X15	0.871144	0.682447	0.850771	0.770551	0.907332	0.770551	0.060227	0.020055
X16	0.879114	0.568888	0.738442	0.859186	0.847998	0.891886	0.027715	0.020055
X17	0.791144	0.577844	0.801544	0.739669	0.748227	0.739669	0.027715	0.020055
X18	0.709443	0.475811	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.065513	0.101853
X19	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X20	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X21	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X22	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X23	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X24	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X25	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X26	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X27	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X28	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X29	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X30	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X31	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X32	0.646444	0.472011	0.800776	0.853224	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453
X33	0.848122	0.871118	0.551336	0.521599	0.971611	0.853224	0.037330	0.044453

ROTATION METHOD: VARIMAX

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

ROTATED FACTOR PATTERN

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3
X3	0.00599	0.10164	0.05630
X1	0.87660	-0.32001	-0.02847
X5	0.47038	-0.58576	0.19414
X6	0.92080	-0.22592	0.04366
X7	0.39575	0.90824	0.03242
X8	0.46951	0.87297	0.02564
X9	0.68514	-0.58952	-0.07434
X10	0.68362	-0.56875	-0.07287
X11	0.19984	0.86309	-0.03167
X12	-0.42825	-0.54499	-0.04498
X13	-0.28339	0.94160	-0.00725
X14	-0.53663	-0.75065	-0.03055
X15	-0.72187	-0.62203	0.02455
X16	-0.60787	0.47683	0.00820
X17	0.44738	-0.85012	0.01932
X18	0.71945	-0.51611	0.09046
X19	0.79574	-0.38448	0.00184
X20	0.19052	0.95936	0.00899
X21	-0.09794	0.82747	0.10039
X22	-0.36720	-0.07081	-0.02351
X23	-0.22115	0.78260	-0.02519
X24	-0.46322	-0.87213	-0.04427
X25	0.18260	-0.40016	-0.09050
X26	0.86075	-0.36117	0.11474
X27	0.90956	0.90961	0.08609
X28	0.38043	0.36117	-0.02260
X29	-0.90956	-0.03833	-0.08609
X30	-0.03028	-0.00022	-0.77322
X31	0.01521	0.04143	0.89110
X32	0.83938	-0.42986	0.08760
X33	0.05997	0.15009	0.06386
X34	0.87544	0.42998	-0.08763
X35	0.83938	0.15014	-0.06401
X36	0.87544	-0.37291	-0.01285
X37	0.87551	0.15014	0.06401
X38	0.64491	-0.64534	0.01285
X39	0.64491	-0.64534	0.01285
X40	0.53198	-0.40236	0.03571
X41	0.65732	0.30887	0.07221
X42	-0.85186	0.01837	-0.21349
X43	-0.69807	0.23438	0.10751
X44	-0.89069	0.62095	0.08673
X45	-0.28728	-0.84195	-0.01414
X46	0.33972	-0.84195	-0.01414

VARIANCE EXPLAINED

FACTOR1	15.572121	FACTOR2	15.003786	FACTOR3	2.386085
---------	-----------	---------	-----------	---------	----------

ATHLETISM SPRINT (LECTURE DES DONNEES)

FILE NONAME (CREATION DATE = 02/09/82)

DEPENDENT VARIABLE.. V17

SUMMARY TABLE

VARIABLE	MULTIPLE R	R SQUARE	RSQ CHANGE	SIMPLE R
V9	0.922317	0.852225	0.852225	0.922317
V48	0.96518	0.93158	0.079333	0.82504
V29	0.98169	0.963771	0.03213	0.89186
V22	0.98566	0.97153	0.00782	-0.71965
V20	0.98754	0.97524	0.00371	-0.89607
V3	0.98867	0.97747	0.00223	-0.20421
V10	0.98979	0.97969	0.00222	-0.90798
V44	0.99189	0.98304	0.00335	-0.80615
V16	0.99235	0.98476	0.00081	-0.91732
V4	0.99288	0.98581	0.00090	0.88381
V6	0.99324	0.98630	0.00105	0.80556
V26	0.99351	0.98685	0.00024	-0.87111
V32	0.99358	0.98727	0.00031	-0.6027
V40	0.99362	0.98742	0.00013	0.87390
V21	0.99366	0.98775	0.00008	0.84432
V42	0.99369	0.98775	0.00007	-0.59491
V23	0.99386	0.98782	0.00033	0.01918
V34	0.99389	0.98794	0.00007	0.02005
V37	0.99395	0.98802	0.00012	-0.89659
V38	0.99399	0.98814	0.00018	-0.66231
V30	0.99405	0.98827	0.00013	-0.84798
V41	0.99412	0.98842	0.00017	-0.82277
V7	0.99419	0.98854	0.00005	-0.53260
V24	0.99423	0.98859	0.00006	-0.85769
V39	0.99428	0.98862	0.00003	-0.74314
V25	0.99430	0.98864	0.00002	-0.23809
V19	0.99431	0.98865	0.00001	-0.86797
V12	0.99431	0.98865	0.00001	-0.65662
V43	0.99431	0.98865	0.00001	-0.60162
V13	0.99431	0.98865	0.00001	0.69409
(CONSTANT)				



