

Déterminer des niveaux d'habileté en course de vitesse chez les enfants : une démarche statistique

Jean Paul Gérard* & Daniel Tilmont**

*GREF, IUFM de la Réunion, Saint Denis, France.

**Laboratoire GREGEOI, IUFM de la réunion, St Denis, France.

Résumé

Pour déterminer rigoureusement les modélisations de niveaux d'habileté en course de vitesse, cet article propose une démarche statistique pour l'analyse des courses d'une population de 276 individus de 2 à 11 ans.

Le nombre de coureurs a considérablement augmenté au cours des dernières décennies du 20^e siècle. Cet engouement pour la course se manifeste aussi bien pour des courses de prestige (marathon de Paris ou de New York) que pour des courses de quartier. La recherche d'une meilleure santé physique a multiplié le nombre de joggeurs et cette augmentation du nombre de pratiquants a provoqué des recherches visant une meilleure compréhension du phénomène pour prévenir les accidents articulaires ou musculaires, permettre une adaptation du matériel (chaussures, vêtements, appareil de mesures...), accroître l'efficacité de l'entraînement.

Régulièrement le point sur les connaissances a été fait dans des revues scientifiques (Dillman, 1975 ; Mann, 1985 ; Cavanagh, 1990 ; Williams, 1992 ; Novacheck, 1998). Aujourd'hui, la puissance des ordinateurs, les moyens audiovisuels et le développement des plates formes de force facilitent les études. Si les études sur les courses lentes et concernant les adultes sont très nombreuses, les études sur les courses à vitesse maximale et concernant les enfants le sont moins. Ces études se font pour certaines sur un nombre limité d'individus : 15 garçons et 13 filles de 2, 4 et 6 ans (Fortney, 1983), 63 enfants de 6 à 12 ans (Marino et McDDonald 1987), 51 enfants de 2 à 16 ans et 6 adultes (Shepens et *al.*, 1998) ; d'autres portent sur un nombre plus élevé d'enfants du même âge et sur un petit nombre d'indicateurs morpho topologiques : 53 enfants du même âge suivis pendant 8 ans (Amano et *al.*, 1987), 89 garçons et 106 filles de 4 à 7 ans (Miyamaru et *al.*, 1987), 375 et 450 personnes de 5 à 65 ans (Balsevich, 1985, 1987).

Ces études visent la compréhension de l'évolution de la course à vitesse maximale avec l'âge et étudient les variations des paramètres temporeux de la course (vitesse, amplitude, fréquence), (Balsevich, 1987 ; Amano et al., 1987), les variations de l'organisation corporelle en particulier la position du centre de gravité (Miyamaru et al., 1987), ou les positions du centre de gravité et les positions relatives des différents segments au cours des différentes phases de la foulée (Fortney, 1983), les forces de réaction du sol (Fortney, 1983) ou le travail mécanique, la puissance (Shepens et al., 1998).

Toutes les études proposent des moyennes pour les paramètres temporeux, les paramètres cinématiques ou les paramètres cinétiques et caractérisent ainsi chaque âge. Les résultats sont proposés par âge, indépendamment des différents niveaux qui pourraient exister dans une tranche d'âge.

Nous savons depuis longtemps que l'âge physiologique et l'âge chronologique sont différents et que les enfants ne suivent pas tous le même rythme de développement. Les moyennes ne permettent pas d'atteindre les différences interindividuelles pour un âge donné.

1. Cadre théorique

A l'école, un enseignant est confronté à des enfants qui sont parfois d'âges différents, mais également dont l'expérience motrice diffère. Dans une même classe des comportements locomoteurs différents existent. Il est donc important de déterminer ces niveaux et d'en identifier d'une manière rigoureuse les caractéristiques.

L'habileté motrice est définie par Guthrie (1957) comme « *la capacité acquise par apprentissage d'atteindre des résultats fixés à l'avance, avec un maximum de réussite, et souvent un minimum de temps, d'énergie ou des deux* » ou par Leplat (1987) comme « *la possibilité acquise par un individu d'exécuter une classe de tâches à un niveau élevé d'efficacité et d'efficience* » et il souligne que cette notion « *est très voisine de celle de compétence, capacité, expertise, savoir-faire* ». Ils associent à habileté motrice un haut niveau de performance. Pour Famose (1985) l'habileté se définit comme « *le niveau de compétence ou de savoir-faire acquis par un pratiquant dans une tâche particulière ou dans un groupe de tâches très limité* ». Une habileté se caractérise par une compétence et une performance, celles-ci pouvant évoluer avec l'apprentissage mais aussi avec l'âge, en particulier pour les enfants entre 2 et 11 ans.

Nous prendrons comme définition pour une habileté la définition suivante : l'habileté est la possibilité acquise de réussite dans l'exécution d'une tâche ou d'une classe de tâches; elle manifeste une ou des aptitudes et se concrétise par une performance ; elle dépend de

conditions préalables parmi lesquelles jouent le degré de maturation (ou en sens inverse, d'involution) et les divers effets du milieu.

Chaque enfant en course présente donc un niveau d'habileté à partir du moment où il différencie la marche de la course, et qu'apparaît une phase de suspension (La marche se distingue de la course par l'existence d'une période de double appui et l'absence de temps de suspension). Nous chercherons à établir les niveaux d'habileté en course de vitesse pour des enfants de l'école primaire.

D'une manière empirique les enseignants distinguent des niveaux d'habileté chez leurs élèves, sans que les indicateurs morpho-topologiques proposés n'aient été validés.

L'objet de ce travail est de vérifier si dans une population il est possible d'identifier différents comportements locomoteurs, et de donner des valeurs aux différents indicateurs morpho topologiques indépendamment de l'âge des enfants.

2. Méthode

Pour valider notre hypothèse, nous proposons d'étudier une population d'âge scolaire (entre 2 et 11 ans), de comparer les foulées des enfants en course de vitesse dans la phase de vitesse stabilisée, et d'établir statistiquement les valeurs des différents indicateurs morpho topologiques.

2. 1. Les sujets

Tableau I. Population concernée par l'étude

Nombre de mois	Catégorie	Course de vitesse		
		Total	Filles	Garçons
24-36	2 ans	26	16	10
37-48	3 ans	34	14	20
49-60	4 ans	30	15	15
61-72	5 ans	30	16	14
73-84	6 ans	33	14	19
85-96	7 ans	28	13	15
97-108	8 ans	34	19	15
109-120	9 ans	32	15	17
121-132	10 ans	29	16	13
	Total	276	138	138

Les enfants qui ont participé à l'étude proviennent de deux écoles de centre ville de l'île de la Réunion. Les parents ont répondu favorablement à un questionnaire écrit autorisant la

recherche. Ce sont les enfants d'une école maternelle accueillant les enfants dès l'âge de deux ans, et d'une école élémentaire.

2. 2. Prise de vue et analyse du mouvement

Les enfants ont été filmés dans la phase de vitesse stabilisée de la course de vitesse. Pour obtenir les vitesses maximales en course nous avons fixé le départ différemment en fonction de l'âge. Le choix des distances nous est dicté par notre revue de littérature (Ikai, 1968 ; Fortney, 1983) et par nos essais : 10 m pour les enfants de 2-3 ans; 14 m pour les enfants de 4-5 ans, 18 m pour les enfants de 6 ans, 20 m pour les enfants de 7 ans, 25 m pour les enfants de 8 à 11 ans.

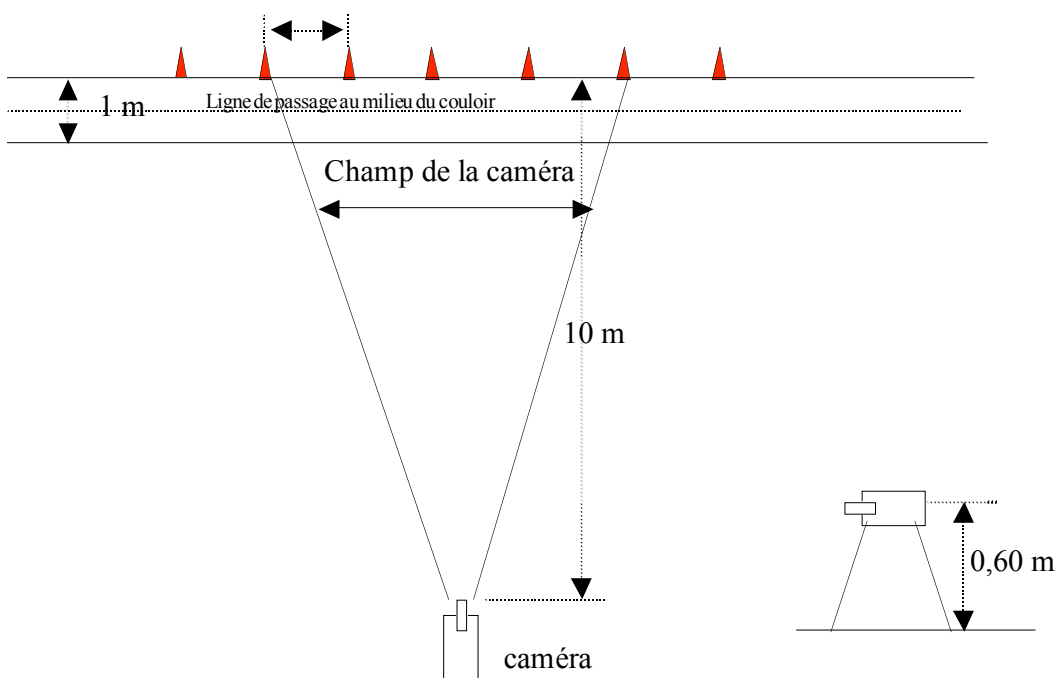


Figure 1. dispositif expérimental

L'analyse du mouvement, après numérisation des films, est faite avec le Logiciel 3D Vision 3.3 version 2000 de Gilles Dietrich, Snap pour la saisie manuelle d'une image toutes les 20 ms, et View 3D pour le recueil des valeurs angulaires.

2. 3. Les différents indicateurs cinématiques

La course de vitesse est une activité codifiée de performance motrice. La performance obtenue est le résultat d'interactions complexes dans un système de ressources et de contraintes, liées à l'environnement mais également à des facteurs physiques, psychologiques et techniques. En course de vitesse nous pouvons distinguer un départ, une phase de mise en action et une phase de vitesse stabilisée. Nous nous intéresserons

à cette dernière. Il est possible de décomposer le comportement locomoteur en course de vitesse en foulée (distance couverte par deux appuis successifs) ou des cycles (deux foulées successives). Dans chacune des foulées il est fréquent de distinguer plusieurs phases, délimitées par des moments caractéristiques :

- * **Le posé** se définit comme l'instant où une partie du pied touche le sol.
- * **Le quitté** est l'instant suivant une période d'appui où l'ensemble du pied a quitté le sol.
- * **La phase d'appui** est la période pendant laquelle un pied est en contact avec le sol. Elle se décompose en deux phases séparées par l'instant où le centre de gravité infléchit sa courbe et passe d'une phase descendante à une phase montante. Nous suivrons la terminologie de Hubiche et Pradet (1993) pour désigner cet instant, **le soutien**. Par contre nous utiliserons les termes de phase de **mise en tension** et phase de **renvoi** plus pertinents, car ils allient les conceptions mécaniques et le fonctionnement du muscle en étirement et détente.
- * **La phase de mise en tension** est la première partie de la phase d'appui. Elle commence au moment du posé et se termine au soutien.
- * **La phase de renvoi** commence au soutien et se termine au quitté.
- * **La phase de retour de la jambe libre** commence au quitté et se termine quand le pied revient en contact avec le sol. Pendant la phase de retour de la jambe libre, nous trouvons une première phase de suspension, un posé controlatéral, un quitté controlatéral et une nouvelle phase de suspension.

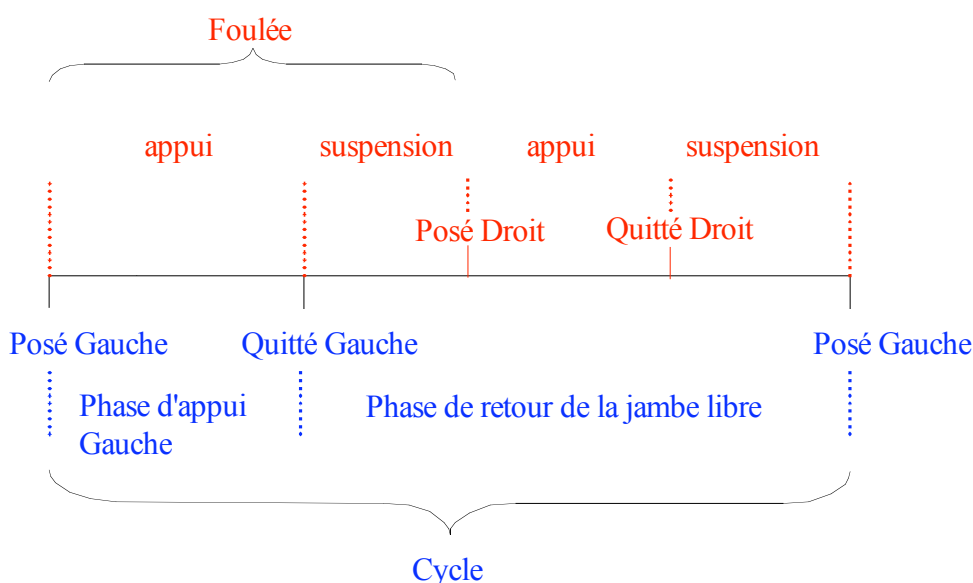


Figure 2. Décomposition en phases de la foulée et du cycle de course

Chaque course est alors décrite par des indicateurs d'identifications du sujet (i 1 à i 8), des indicateurs de performance (vitesse, amplitude, fréquence, durée des appuis, durée de la

suspension ...: i 9 à i 40) et des indicateurs morpho topologiques (angle de la cheville, du genou, de la hanche, du tronc et des bras à différents moments du cycle de course... (i41 à i74).

Une course peut être modélisée par une « poulaine », représentation paramétrique de la trajectoire de la pointe de pied, la hanche ou l'oreille étant pris comme point fixe (Durey, 1997 ; Gager, 1994 ; Gérard, 2003 ; Aubert, 1996). Chaque « poulaine » peut être définie par des mesures qui permettent des les décrire. Les différences de taille étant très importante chez les enfants, une normalisation par la taille permet de mieux comparer les poulaines des enfants aux différents âges.

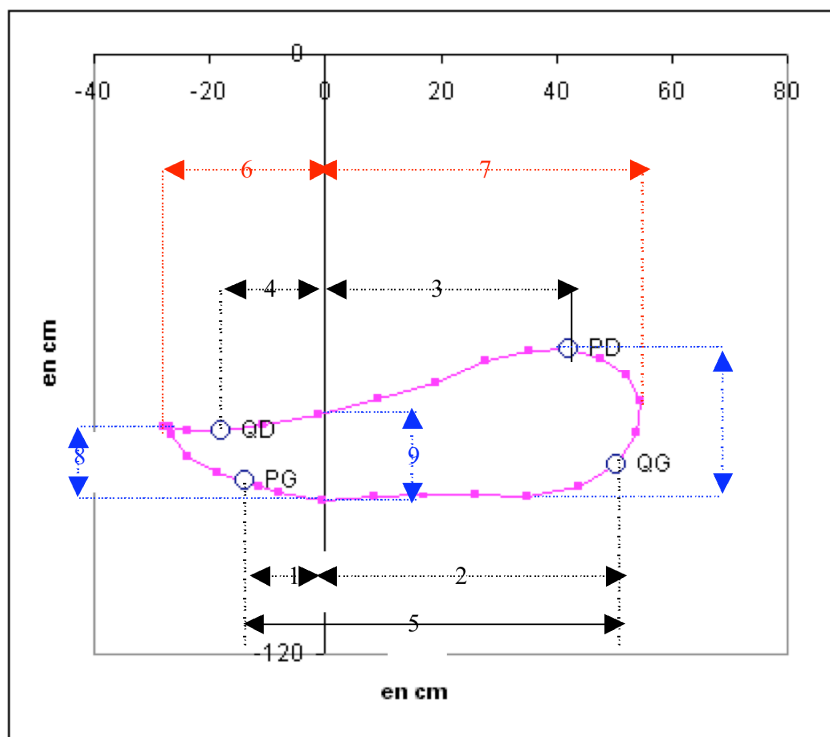


Figure 3. Mesures prises sur une poulaine

- Mesure 1 : Position du posé gauche sur l'axe des abscisses
- Mesure 2 : Position du quitté gauche sur l'axe des abscisses
- Mesure 3 : Position du posé droit sur l'axe des abscisses
- Mesure 4 : position du quitté droit sur l'axe des abscisses
- Mesure 5 : Longueur du segment PG/QG
- Mesure 6 : Longueur avant de la poulaine
- Mesure 7 : Longueur arrière de la poulaine
- Mesure 8 : Epaisseur de corne
- Mesure 9 : Epaisseur de ventre
- Mesure 10 : Epaisseur de bosse arrière

Nous avons relevé les caractéristiques de la modélisation de chaque course par 20 mesures (mesures réelles et pondérées) sur la poulaine de chaque enfant (M1 à M20).

Notre population est donc représentée par un tableau de 276 individus, avec pour chaque individu des valeurs pour 86 variables.

2. 4. Démarche statistique

Pour répondre à notre question, dans notre population, et à partir des indicateurs prélevés sur les courses des enfants, nous cherchons à identifier les niveaux d'habileté qui s'expriment par les différences d'organisation corporelle en course. Autrement dit, nous cherchons à savoir si notre population peut se caractériser par des ressemblances fortes ou s'il est possible dans notre population de distinguer des groupes d'individus qui présentent des ressemblances fortes.

Nous procéderons tout d'abord à la vérification de l'homogénéité de la population. Une population homogène est une population dans laquelle il est possible d'identifier, par une analyse des données recueillies sur cette population, 1, 2 ou 3 facteurs qui expriment la variance de cette population. S'il n'est pas possible d'identifier ces facteurs la population étudiée n'est pas homogène. Dans une population non homogène, il est alors possible de distinguer de grandes catégories d'individus qui présentent, entre eux, une ressemblance. Pour le traitement statistique de nos données, nous utiliserons le logiciel SPSS version 7.5 et les feuilles de calcul du logiciel Excel.

2. 4. 1. Vérification de l'homogénéité de la population (Test préliminaires à toute analyse de données).

Une analyse de données ne peut se faire que sur des variables indépendantes, bien distribuées et dans une population qui ne présente pas d'individus atypiques. Un tri hiérarchique de notre population permet d'identifier les individus atypiques dans notre panel.

Nous utilisons comme stratégie d'agrégation pour les distances entre sous-ensembles la méthode de la distance moyenne entre classes : les points sont regroupés de telle sorte que la distance entre deux classes soit égale à la plus petite distance possible entre deux points quelconques appartenant à chacune des classes. Cette méthode est sensible aux données atypiques et c'est ce que nous recherchons. Nous choisissons de porter au carré la distance euclidienne entre classes. Le fait de porter au carré accentue les écarts les plus grands.

Après de nombreux tris successifs qui ont permis de trouver des erreurs de signe, qui s'étaient glissées dans le tableau de résultat, le tri hiérarchique ne fait plus apparaître d'individu atypique.

Pour confirmation, nous faisons une tentative avec la méthode d'agrégation de la distance dans la classe qui favorise le regroupement en classes bien réparties autour de leur barycentre, il n'apparaît pas d'individu atypique.

2. 4. 2. Vérification de l'homogénéité de la population

Nous proposons de vérifier cette homogénéité par le biais d'une analyse factorielle. Nous choisissons d'utiliser l'analyse en composante principale (ACP) qui permet dans une population d'identifier les variables latentes, les « facteurs » qui expliquent la variance de la population étudiée (Ruby, Pontier et Tavernier 1997).

2. 5. Les principes

L'ACP a pour intérêt de résumer les variations dans une population donnée (Van Praagh et *al.*, 1985). L'ACP est une méthode statistique qui permet une réduction du nombre des variables, mais cette réduction «ne se fait pas par une simple sélection de certains d'entre eux mais par la construction de nouveaux caractères synthétiques obtenus en combinant les caractères initiaux au moyen de facteurs» (Bouroche et Saporta 1980). Il revient au chercheur d'analyser ces variables latentes en fonction des indicateurs qui les composent et des coefficients de ces indicateurs.

L'exigence pour qu'une ACP soit envisageable est que le nombre d'observations soit supérieur au nombre de variables et au moins égal à 30 ce qui est le cas : 276 individus, pour 84 variables.

2. 6. Les tests

Un examen de la qualité des variables est nécessaire pour une analyse en composante principale, celui-ci se fera par plusieurs tests sur :

- les variables : Il faut vérifier que les variables ne sont pas distribuées aléatoirement et qu'elles ont une structure commune pour pouvoir utilement chercher des dimensions par une ACP. Le caractère non aléatoire des données sera vérifié par le test de sphéricité de Bartlett. Il s'agit de tester un χ^2 calculé sur la différence entre les données étudiées et les données si elles avaient été distribuées de façon aléatoire. Le test de Bartlett est considéré comme satisfaisant quand sa probabilité est < 0.0001 . On considère que dans ce cas les données ne sont pas distribuées au hasard.

Un examen des anti-images (la corrélation entre la variable et sa valeur si elle avait été distribuée aléatoirement) dans le tableau des corrélations doit nous montrer des valeurs supérieures à 0.5.

- l'échantillonnage : Selon le principe de Gutman, les indicateurs d'une ACP doivent être tels qu'un indicateur ne doit être que faiblement prédit par une seule autre variable, c'est la corrélation partielle et doit être bien prédit par l'ensemble des autres indicateurs, c'est la

corrélation multiple. L'examen au niveau global sera mesuré par le test Measure of Sampling Adequacy (M.S.A.).

La valeur du test M.S.A. est évaluée comme suit : 0.9 = excellent, 0.8 = très bon, 0.7 = bon, 0.6 = médiocre, 0.5 = limite de l'acceptation. Au niveau local, nous utiliserons le test de Kaiser, Meyer et Olkin (K.M.O.).

- La structure de l'espace

Se pose alors pour le chercheur le problème du nombre de dimensions à conserver. Deux critères nous guident pour ce choix, un critère quantitatif et un critère qualitatif. Le critère quantitatif est le pourcentage de variance expliquée par le facteur. En deçà d'une certaine valeur, une dimension supplémentaire n'augmentera plus de façon significative la variance expliquée. Le critère qualitatif est le sens que le chercheur peut donner à la variable latente ainsi exprimée et qui est propre au problème.

Pour nous aider dans la détermination du nombre de dimensions, trois critères peuvent être utilisés (Aurifeuille et Jolibert, 1998) :

- le test de Kaiser : les dimensions retenues sont celles qui expliquent une variance au moins égale à 1 ;
- le test de Cattell : le graphique des valeurs propres représente graphiquement en fonction du nombre de dimensions le pourcentage de variance. Le point d'inflexion permet d'indiquer le nombre de dimensions à retenir (on retient le nombre de dimensions qui suit immédiatement ce point).

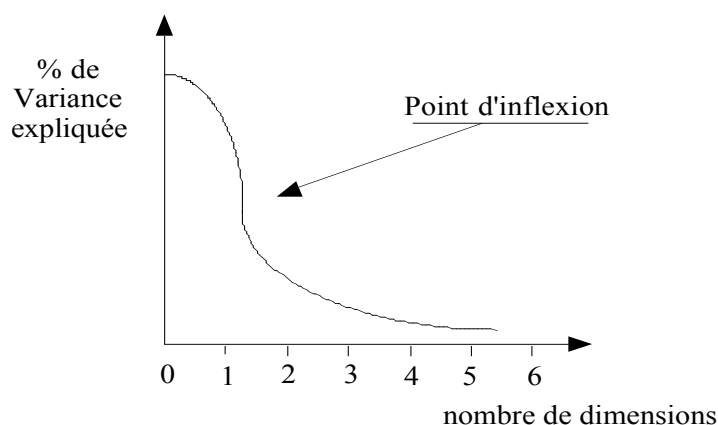


Figure 4. Graphiques des valeurs propres : test de Cattell

Le critère des 75 % : Le nombre de dimensions retenu est tel que le pourcentage de variance restituée est au moins de 75 % de la variance totale.

3. Les résultats

3. 1. Tests préliminaires : indépendance des variables

Nous présentons, dans le tableau ci-dessous, les variables qui ont une corrélation supérieure ou égale 0.8 et les variables retenues quand plusieurs sont corrélées.

L'analyse du tableau des corrélations nous conduit à éliminer de la liste des variables en course à vitesse maximale les variables suivantes : M1 à M5, M7, M12, M13, M16, M18 à M20, i9, i10, i12, i14, i32, i34 à 36, i38, i 39, i47, i49, i58, i66, i71, i73.

Il nous reste donc 57 variables non fortement corrélées entre elles après ce contrôle des corrélations.

3. 2. Distribution des variables : « t de student »

L'ensemble des valeurs se trouve en annexe 11. Le tableau ci-dessous regroupe les variables pour lesquelles le « t de student » est inférieur ou égal à 1.98.

Tableau II. Variables mal distribuées en course de vitesse

Variable	T de student	Variable	T de student
M14	- 1.88	i30	-0.05
i17	-0.03	i31	1.55
i18	1.09	i45	-1.05
i27	0.92	i68	-0.33
i28	-0.73	i69	1.42
i29	0.82	i72	-0.61

L'examen des résultats montre que 12 variables sont mal distribuées M14, i 17, i 18, i27, i28, i29, i30, i45, i68, i 69, i72. A l'issue de ces vérifications, les analyses en composantes principales se feront sur une population de 276 individus et sur 45 variables indépendantes et bien distribuées.

3. 3. Analyse en composante principale

L'étude sera menée en deux temps, en premier lieu il convient de se demander si tous les indicateurs retenus dans l'étude peuvent être utilisés ou s'il faut en éliminer, puis il nous faut déterminer le nombre de facteurs significatifs qui représentent nos variables latentes.

3. 3. 1. Premier temps : les variables

Une première ACP est faite, le test de Bartlett donne les résultats suivants : Test de sphéricité de Bartlett : 8802,99, Signification : 0,000. Le test de Bartlett peut être considéré comme satisfaisant.

La mesure de précision de l'échantillonnage de K.M.O. indique la valeur suivante : 0.743, la valeur trouvée est jugée satisfaisante. Le K.M.O. est réalisé, les valeurs de la diagonale doivent être supérieures à 0.5. Ce n'est pas le cas pour la variable « durée du cycle » ($i_{13} = .49$), « instant du posé droit » ($i_{15} = .25$) et pour la variable « instant de flexion maximale de la cheville pendant l'appui » ($i_{21} = .42$) que l'on peut donc enlever.

Nous procédons à une nouvelle analyse : l'ACP exploratoire 2. Les résultats sont les suivants : le test de sphéricité de Bartlett = 7660,57, Signification 0,000, la mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin. =, 781Le test de Bartlett et le KMO sont jugés satisfaisants. Toutes les valeurs de la diagonale de la matrice des corrélations sont supérieures à 0.5.

Nous pouvons conserver les variables à partir desquelles il est légitime de rechercher par ACP les dimensions significatives.

3. 3. 2. Deuxième temps : les facteurs

L'analyse factorielle nous permet de passer d'un espace à « x » dimensions correspondant aux variables conservées à un espace de taille réduite, dont la lisibilité est meilleure.

Trois critères sont pertinents pour choisir le nombre de facteurs. Pour le test de Kaiser, onze facteurs ont une variance supérieure à 1. Le test de Cattell ne donne pas d'indication précise et pour le test des 75 %, il n'est vérifié que pour 13 facteurs.

Le nombre de facteurs identifiés est trop important pour qu'ils puissent être analysés. La population étudiée ne se prête pas à une analyse en composante principale, la population étudiée ne semble pas être homogène.

Mais il est possible que le fait de regrouper l'ensemble des variables influence les résultats des ACP. Nous avons alors vérifié l'homogénéité sur les variables de performance, puis sur les variables de forme d'organisation corporelle. Deux analyses en composante principale effectuées sur les variables de performance seules puis sur les variables d'organisation corporelle seules n'ont pas permis d'identifier un nombre restreint de composantes ce qui confirme le fait que notre population n'est pas homogène.

3. 3. 3. Première conclusion

L'analyse en composante principale devait nous permettre de reconnaître l'homogénéité dans notre population et la possibilité de discerner une continuité dans l'évolution de la course de vitesse entre 2 et 11 ans. Les résultats montrent que cette homogénéité n'est pas manifeste qu'il nous faut donc chercher les discontinuités, et par voie de conséquence, les différents niveaux d'habileté en course de vitesse chez l'enfant entre 2

et 11 ans. Nous sommes en droit d'établir un tri pour déterminer les différentes classes dans notre population.

3. 4. Tri hiérarchique

3. 4. 1. Méthode

Il existe deux grandes catégories de classification, les classifications non hiérarchiques et les classifications hiérarchiques. Dans une classification non hiérarchique, le nombre de classes est fixé au départ par le chercheur, dans une classification hiérarchique, le nombre de classes n'est pas déterminé au départ, mais dépend de l'analyse du dendrogramme. Pour notre étude, nous ne savons pas combien de niveaux d'habileté différents sont identifiables, il est donc préférable d'utiliser le principe d'une classification hiérarchique. Par contre nous savons que pour que ces niveaux d'habileté soient utilisables par les enseignants, il ne faut pas que leur nombre soit trop important. Leur observation et leur différenciation, donc leur identification seraient trop difficiles pour les enseignants. Nous utiliserons les principes d'une classification hiérarchique puis nous procéderons par tâtonnement pour limiter le nombre de classes.

Le principe d'une classification hiérarchique est de construire une suite de partitions en n classes, $n-1$, $n-2$...emboîtées les unes dans les autres. Ensuite, il est recommandé de confirmer les résultats d'une classification par l'examen des plans factoriels (Bouroche et Saporta 1998).

Pour analyser les courses, il nous faut retenir les indicateurs les plus pertinents. Chez les enfants nous savons que la taille a une grande influence sur la performance, mais également sur les mesures des poulaines. Les organisations corporelles en course sont responsables également des performances des différents individus. Si nous voulons comparer des individus de taille différente entre eux pour déterminer les niveaux, nous devons prendre les indicateurs qui représentent la forme d'organisation corporelle sans être influencé par la taille. C'est pourquoi pour l'étude de notre population en vue d'effectuer notre classification, nous retiendrons les mesures des poulaines d'oreille pondérées et les indicateurs angulaires, ces valeurs étant plus intéressantes pour la comparaison des individus car elles atténuent l'influence de la taille. Les variables anthropomorphiques et les variables de performance serviront à la comparaison des classes. Les classes seront ensuite comparées entre elles grâce à leur poulaine moyenne obtenue par la moyenne des valeurs des différentes poulaines composant la classe.

Les valeurs étant différentes d'une variable à l'autre, certaines étant positives, d'autres négatives, nous proposons de les standardiser entre -1 et $+1$. Nous choisissons la méthode de la distance entre classes qui favorise le regroupement en classes bien

réparties autour de leur barycentre et pour la distance entre les individus, la distance euclidienne.

3. 4. 2. Résultats

L'examen du tableau des corrélations croisées sur les variables définies nous indique les corrélations supérieures ou égales à 0.80. Cela nous conduit à retirer de notre tableau de données les variables : m12, m13, m20, i47, i49, i58, i66, i71, i73. L'analyse des « t de student » montre que 5 variables présentent des valeurs non compatibles avec une analyse de données. Cela nous invite à ne pas tenir compte des variables m14, i45, i68, i69, i72. Nous retirons ces variables pour la suite de l'examen statistique.

Il reste donc 30 variables pour effectuer notre tri hiérarchique, dont 25 indicateurs d'organisation corporelle et 5 mesures de poulaine pondérée.

L'arbre de classification issu du tri hiérarchique nous permet de déterminer le nombre de classes à retenir. Son examen (voir annexe) montre à l'évidence l'existence de plusieurs plans de coupe qui identifient des classes relativement homogènes. Nous avons choisi de retenir 6 classes, à la fois pour des raisons statistiques (possibilité de faire des ACP sur chacune des classes pour en comprendre la structure, et pour des raisons professionnelles, il est difficile pour un enseignant d'identifier plus de 6 niveaux.

3. 4. 3. Confirmation des 6 classes par ACP

L'étude des plans factoriels des différentes classes est une opération qui permet, d'une part de valider le tri hiérarchique obtenu, d'autre part de comprendre les facteurs qui regroupent les individus dans une même classe.

Les analyses en composante principale effectuées avec une rotation quartimax pour mettre en exergue les facteurs responsables de la structure de la population répondent aux différents tests de validité. Les ACP sur chaque classe ont permis de déterminer les principaux facteurs les expliquant. Le calcul de l'indice de dispersion de variables nous a permis de montrer que si les classes sont relativement homogènes pour certaines variables, il n'en était pas toujours de même pour certaines autres.

4. Discussion

Notre classification est cohérente au plan statistique, mais nous regroupons des individus qui ne présentent pas tous une organisation corporelle strictement identique. Nous tentons de mettre de l'ordre dans la complexité, cette tentative est imparfaite, nous en sommes conscient.

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus. Il présente le nombre de facteurs qui permettent de représenter plus de 75 % de la variance de la population de chaque classe.

Tableau III. Nombre de facteurs par classe et pourcentage correspondant de la variance de la population.

Classe	Nb de facteurs	%
Classe 1	4	75%
Classe 2	7	77%
Classe 3	4	77%
Classe 4	5	75%
Classe 5	3	84%
Classe 6	4	81%

La classification obtenue semble satisfaisante, les individus qui composent les différentes classes sont bien regroupés. Mais les classes sont inégalement homogènes. La classe 2 pour laquelle il faut 7 facteurs pour expliquer 77% de la variance de la population n'est pas très homogène, la classe la plus homogène est la classe 5 avec 3 facteurs qui expliquent 84% de la population. Pour les autres classes la population semble bien regroupée autour de facteurs peu nombreux. Le tableau ci-dessous présente les indicateurs qui rassemblent les individus de chaque classe, et les indicateurs pour lesquels les individus sont dissemblables.

Tableau IV. Ressemblances et dissemblances angulaires aux différents moments du cycle de course par classe

	Moment Articulation	Ressemblances fortes	Différences fortes
Classe 1	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Extension Appui, fin retour jambe libre Mise en tension et renvoi Début du retour jambe libre Phase de renvoi	Flexion Fin d'appui, début retour jambe libre Début retour jambe libre
Classe 2	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Extension Mise en tension Tout le cycle Renvoi et retour jambe libre Mise en tension et renvoi	Flexion Fin d'appui, début retour jambe libre Début retour jambe libre
Classe 3	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Extension Mise en tension Mise en tension Posé et retour jambe libre Mise en tension et renvoi Appui	Flexion Fin d'appui, début retour jambe libre Début retour jambe libre
Classe 4	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Extension Tout le cycle Mise en tension et renvoi Retour jambe libre	Flexion Début retour jambe libre
Classe 5	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Mise en tension Retour jambe libre	Flexion Début retour jambe libre
Classe 6	Bras Hanche Genou Cheville Chaîne motrice Tronc	Appui et fin de retour Jambe libre Appui et retour jambe libre Mise en tension et renvoi Mise en tension et renvoi	Flexion Fin d'appui, début retour jambe libre Début retour jambe libre

Une modélisation de chaque classe peut être obtenue en faisant la moyenne pour chaque classe des valeurs des différentes « poulaines » pondérées. Le tableau ci-dessous permet de mieux visualiser les différents niveaux d'habileté en course de vitesse chez les enfants entre 2 et 11 ans.

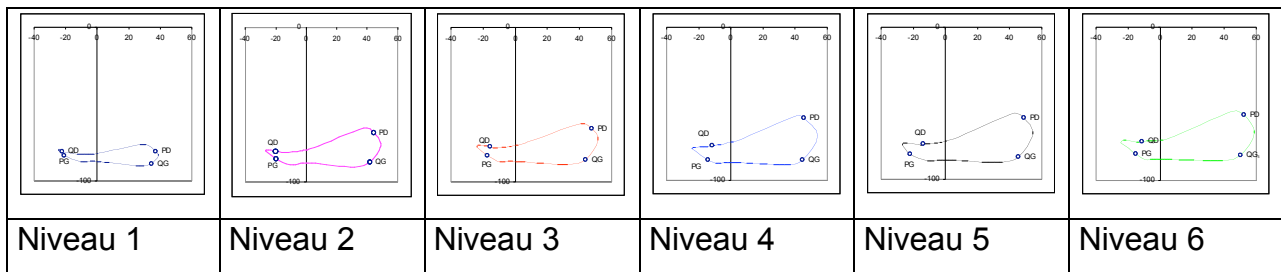


Figure 5. Poulaines des différents niveaux d'habiletés en course de vitesse pour des enfants entre 2 et 11 ans

Examen de la population : le tableau ci-dessous présente par niveau d'âge la répartition des enfants dans chaque.

Tableau V. Nombre de niveaux d'habileté à observer par niveau de classe

		classe 1	classe 2	classe 3	classe 4	classe 5	classe 6	Total
Toute petite section	2 ans	18	5	2	1			26
Petite section	3 ans	10	14	3	4	1	2	34
moyenne section	4 ans	4	14	2	3	3	4	30
Grande section	5 ans	2	7	5	4	4	8	30
Cours préparatoire	6 ans	1	7	4	6	2	13	33
Cours élémentaire 1	7 ans		5	5	10	3	5	28
Cours élémentaire 2	8 ans	3	2	2	8	5	14	34
Cours moyen 1	9 ans	1	5	2	13	9	2	32
cours moyen 2	10 ans		10	3	12	4		29
	total	39	69	28	61	31	48	276

A l'école primaire, qu'il soit en petite section ou au cm2, un enseignant aura toujours plusieurs niveaux à observer. Pour une classe d'âge, il existe différents niveaux d'habileté

qui sont identifiés et validés statistiquement. Ainsi un enseignant de toute petite section, avec des enfants de 2 à 3 ans) peut déjà voir des enfants présentant un niveau assez élevé d'habileté (niveau 4) en course de vitesse, et un enseignant de cours moyen 1 peut encore constater que certains enfants courent avec un niveau d'habileté faible (niveau 1 ou 2). Les niveaux d'habiletés ont été caractérisés (Gérard, 2003). Ils ont permis de construire un instrument de formation à la lecture du mouvement (Gérard et Bouthier, 2004).

5. Conclusion

Les classes apparaissent bien regroupées autour de ressemblances fortes, le classement effectué a organisé notre population en classes homogènes mais pour lesquelles nous avons également des différences entre individus. La méthode utilisée, en excluant pour le tri hiérarchique les variables mal distribuées, conduit à reproduire dans chaque classe les disparités trouvées pour ces variables sur l'ensemble de la population. Ainsi, pour les bras, l'extension est un observable qui permet de classer nos individus, mais la flexion n'apparaît pas comme un critère fortement discriminant. Il en est de même pour l'observation de l'angle de la hanche au moment de la fin de l'appui et de l'inclinaison du tronc au début du retour de la jambe libre. Par contre si ces valeurs nous apparaissaient essentielles au plan didactique, il nous est toujours possible de les réintégrer comme observables pour intervenir sur les individus, mais ces observables ne seront pas caractéristiques du niveau d'habileté.

Les classes sont identifiées, elles sont confirmées au moyen d'analyses en composante principale qui ont permis d'en comprendre la structure. Le but est de dessiner les grands traits de l'évolution du développement de l'habileté en course à des fins didactiques, le nombre de facteurs et leur composition indiquent encore un grand nombre de variables à observer pour déterminer l'appartenance d'un individu à une classe.

Pour identifier les différents niveaux d'habileté nous avons utilisé une démarche statistique qui lie tri hiérarchique et analyse en composante principale,, sachant que toute utilisation de test statistique doit être précédée de test préliminaires.

Dans une perspective didactique, il faudra choisir parmi tous ces facteurs ceux qui devront être retenus pour des enseignants professeurs d'école non spécialistes de l'observation. Nous devons également à partir de ces classes déterminer les niveaux d'habileté en course chez l'enfant entre 2 et 11 ans et les décrire pour recueillir les valeurs des observables et en faire des repères quantifiables pour les enseignants.

L'examen de l'arbre hiérarchique issu d'une classification de la population étudiée par les variables de formes d'organisation corporelle et les variables de poulaines pondérées nous montre que différentes partitions sont possibles, un tri de nos individus en quatre, cinq ou six classes. Ces classes formalisent des organisations corporelles distinctes, c'est-à-dire des niveaux d'habiletés différents que les enseignants doivent pouvoir identifier dans leur observation de classe.

Ainsi contrairement aux autres études scientifiques (Fortney, 1983 ; Miyamaru *et al.*, 1987 ; Balsevich, 1987 ; Gesell, 1929 ; Wickstrom, 1975, 1977, 1983 ; Keller, 1992, 1999), nous montrons que dans une classe de l'école primaire un enseignant peut rencontrer des niveaux d'habileté différents dans sa classe, indépendants du niveau d'âge des enfants et que chaque niveau peut être caractérisé par des indicateurs morpho topologiques.

Bibliographie

- Aubert, F. (1996). Rapport de Travail de laboratoire en DEA dans le cadre du LIREST de Cachan. Rapport non publié.
- Amano, Y., Hoshikawa, T., Toyoshima, S., & Matsui, H. (1987). Longitudinal study of running in children over an 8 year period. In Bengt Jonsson. International Series on Biomechanics, volume 10, (pp. 819-824). Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Balsevich, V.K. (1985). Analysis of correlation structures in biomechanics of speed running and physical fitness in human ontogenesis. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes et A.E. Patla (Eds), Biomechanics volume 9 b, (pp 361-363). Champaign : Human Kinetics Publishers.
- Balsevich, V.K. (1987). The age biomechanic standards of human locomotion. In Landry Orban, International Series on Biomechanics, volume 10 (pp. 253-255). Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Barnier, L. (1955). L'analyse des mouvements. Paris : Puf
- Bouroche, J.M., & Saporta, G. (1980). L'analyse des données. Paris : PUF
- Cavanagh, P.R Et Milliron, M.J. (1990). Sagittal plane kinematics of the lower extremity during distance running. In P.R. Cavanagh, Biomechanics of distance running, (pp. 65-105). Champaign: Human kinetics publishers.
- Dillmann, C.J. (1975). Kinematics analyses of running. Exercice of Sports Sciences Review, 3, 193-218.

- Durey, A. (1997). *Physique pour les sciences du sport*. Paris : Masson.
- Fortney, V. (1983). The Kinematics and kinetics of the running pattern of two, four, and six year-old children. *Research Quarterly for exercise and sport*, 54, 2, 126-135.
- Gager, B. (1994). Mémoire non Publié. Paris : Insep
- Gerard, J.P. (2003). Modélisation de la course de vitesse de l'enfant : contribution à l'amélioration de l'habileté de lecture du mouvement de l'enseignant. Thèse de l'Université de l'île de la Réunion : St Denis
- Gerard, J-P., & Bouthier, D. (2004). Apprendre à lire le mouvement : expérimentation d'un instrument de formation, *e-journal*, 6, 23-39, <http://www.fcomte.iufm.fr/iufm/recherch/ejournal6/sommaire6.htm>
- Gesell, A. (1929). Maturation and infant behavior pattern. *Psychological Review*, 36, 307-319.
- Ikai, M. (1968). Biomechanics of sprint running with respect to the speed curve. In *biomechanics 1, First International Seminar Zurich 1967*, (pp 181-290). Karger : Basel
- Keller, J. (1992). *Activité Physique et Sportive et Motricité de l'enfant*. Paris: Vigot.
- Keller, J. (1999). Aspect structurel et fonctionnel du développement psychomoteur de l'enfant. In I. Olivier et H. Ripoll, *Développement psychomoteur de l'enfant et pratiques physiques et sportives*, (pp. 41-57). Paris : Editions « Revue EPS ».
- Mann, R. (1985). Biomechanical analysis of the elite sprinter and hurdler. In N.K. Butts and B. Zarins, *The elite athlete*, (pp. 43-80). Champaign: Spectrum Publications.
- Marino, G. W., & McDonald, M. (1986). A biomechanical analysis of children's running pattern. In *Sports science*. J. Watkins, T. Reilly and L. Burwitz, *Proceedings of the VIII Commonwealth and international conference on Sport, Physical Education, Dance, Recreation and health, Glasgow 18.23 July 1986*, (pp123-129).
- Miyamaru, M., & Yokoi, T. Ae, M. et al. (1987). Path of whole body center of gravity for young children in running. Bengt Jonsson. *International Series on Biomechanics volume 10* (pp 887,893). Champaign : Human Kinetics Publishers
- Ruby, A., Pontier, J., & Tavernier, M. (1997). L'analyse en composante principale : aide à la recherche de typologies gestuelles performantes; application au ski de fond – pas de patineur. *Sciences et Sports*, 12, 25-28.
- Schepens, B., Willems P.A., & Cavagna, G.A (1998). The mechanics of running in children. *Journal of Physiology*, 509, 3, 927-940.

- Van Praagh, E., Falgairrette, G., & Bonnemoy, C. (1985). Analyse factorielle de la performance motrice d'enfants de 7 à 10 ans. In Activités physiques, sports : Journées d'automne 29, 30, 31 octobre 1985.
- Wickstrom, R.L. (1975). Developmental kinesiology : maturation of basic motor patterns. In J.H. Wilmore and Keogh, J.F. Exercise and Sport Sciences Reviews (pp.163-189). New York : Academic Press.
- Wickstrom, R.L. (1977). Fundamental motor pattern, Philadelphia : Lea and Febiger.
- Wickstrom, R.L. (1983). Fundamental motor patterns. (3 edition) Philadelphia : Lea et Febiger
- Williams, K.R. (1992) Biomechanics of distance running. In M.D. Grabiner, Current Issues in biomechanics, (pp. 3-31). Champaign: Human Kinetics Publishers.

Annexe 1. Liste des indicateurs

Liste des indicateurs	
Indicateurs morphologiques	
Numéro	Nomenclature des variables
i 1	Sexe : Fille = 1 garçon = 2
i 2	Nombre de mois
i 3	Poids
i 4	Taille
i 5	Taille à l'épaule
i 6	Taille à la hanche
i 7	Taille au genou
i 8	Style de Posé talon =1, plat = 2
Indicateurs temporels, spatio-temporels	
i 9	Durée Posé Gauche
i 10	Durée Suspension Gauche
i 11	Durée Posé Droit
i 12	Durée Suspension Droite
i 13	Durée du cycle
i 14	Instant du quitté gauche en pourcentage du cycle
i 15	Instant du posé droit en pourcentage du cycle
i 16	Instant du quitté droit en pourcentage du cycle
i 17	Différence en pourcentage entre appui gauche et droit
i 18	Instant de la première extension de la cheville pendant l'appui en pourcentage du cycle
i 19	Instant de flexion maximale pendant l'appui de la cheville en pourcentage du cycle
i 20	Instant de l'extension maximale de la cheville en pourcentage du cycle
i 21	Instant de la flexion maximale de la cheville pendant le retour de la jambe libre en pourcentage du cycle
i 22	Instant de la flexion maximale du genou pendant l'appui en pourcentage du cycle
i 23	Instant de l'extension maximale du genou vers le quitté en pourcentage du cycle
i 24	Instant de la flexion maximale du genou en pourcentage du cycle
i 25	Instant de l'extension maximale de la hanche en pourcentage du cycle

i 26	Instant de la flexion maximale de la hanche en pourcentage du cycle
i 27	Ecart entre les dates de flexion maximale pour la cheville et le genou en pourcentage du cycle
i 28	Déphasage entre les dates de l'extension maximum de la cheville et QG en pourcentage du cycle
i 29	Déphasage entre les dates de l'extension maximum du genou et QG en pourcentage du cycle
i 30	Déphasage entre les dates de l'extension maximum de la hanche et QG en pourcentage du cycle
i 31	Déphasage en extension
i 32	Indice de sautellement oreille
i 33	Indice de sautellement hanche
i 34	Amplitude
i 35	Fréquence
i 36	Vitesse
i 37	Indice de sautellement oreille pondéré
i 38	Indice de sautellement de hanche pondéré
i 39	Amplitude pondérée
i 40	Vitesse pondérée
Indicateurs angulaires	
i 41	Angle hanche/talon- verticale au posé
i 42	Angle hanche/pointe- verticale au quitté
i 43	Secteur angulaire balayé par la hanche
i 44	Angle bras verticale en extension
i 45	Angle bras verticale en flexion
i 46	Amplitude des mouvements du bras
i 47	Angle tronc/verticale minimum
i 48	Angle tronc/verticale maximum
i 49	Angle tronc/verticale moyen
i 50	Amplitude des mouvements du tronc
i 51	Angle de la cheville au PG
i 52	Angle de la cheville au QG
i 53	Angle de la cheville au PD
i 54	Angle de la cheville au QD
i 55	Angle de la cheville en flexion maximale pendant l'appui
i 56	Angle de la cheville en extension maximale pendant le retour de la jambe libre
i 57	Angle de la cheville en flexion maximale pendant le retour de la jambe libre
i 58	Amplitude des mouvements de la cheville
i 59	Angle du genou au PG
i 60	Angle du genou QG
i 61	Angle du genou PD
i 62	Angle du genou QD
i 63	Flexion du genou pendant l'appui
i 64	extension maximum du genou
i 65	Flexion maximale du genou dans la phase de retour de la jambe libre
i 66	Amplitude des mouvements du genou
i 67	Angle de la hanche au PG
i 68	Angle de la hanche au QG
i 69	Angle de la hanche au PD
i 70	Angle de la hanche au QD
i 71	Flexion maximale de la hanche dans la phase d'appui

i 72	Extension maximale de la hanche
i 73	Flexion maximale de la hanche pendant le retour de la jambe libre
i 74	Amplitude des mouvements de la hanche par la hanche
Mesures de poulaines	
M 01	Poulaine lissée abscisse de PG
M 02	Poulaine lissée abscisse de QG
M 03	Poulaine lissée abscisse de PD
M 04	Poulaine lissée abscisse de QD
M 05	Poulaine lissée valeur absolue du segment PG/QG
M 06	Poulaine lissée longueur avant
M 07	Poulaine lissée Longueur arrière
M 08	Poulaine lissée hauteur de corne
M 09	Poulaine lissée épaisseur de poulaine à la verticale de l'oreille
M 10	Poulaine lissée hauteur de bosse
M 11	Poulaine pondérée abscisse de PG
M 12	Poulaine pondérée abscisse de QG
M 13	Poulaine pondérée abscisse de PD
M 14	Poulaine pondérée abscisse de QD
M 15	Poulaine pondérée valeur absolue du segment PG/QG
M 16	Poulaine pondérée longueur avant
M 17	Poulaine pondérée Longueur arrière
M 18	Poulaine pondérée hauteur de corne
M 19	Poulaine pondérée épaisseur de poulaine à la verticale de l'oreille
M 20	Poulaine pondérée hauteur de bosse