

# **Modélisation de l'évolution des niveaux d'habileté en course lente chez l'enfant grâce à une analyse biomécanique**

**J.P. Gérard IUFM de la Réunion Erté Calico**

*Résumé :*

*Ce travail vise à déterminer statistiquement des niveaux d'habileté en course lente chez les enfants entre 7 et 11 ans. Une population scolaire a été filmée au cours d'une course de durée dans une école. Chaque course a été analysée et les indicateurs spatiotemporels (vitesse, amplitude, fréquence) et angulaires (angle du tronc, de la cuisse de la jambe et des bras) ont permis d'identifier 3 niveaux d'habileté dans la population retenue. Pour la population concernée, la majorité des élèves présentent un niveau d'habileté de niveau 2. Les progrès entre 7 à 11 ans ne sont pas importants pour les niveaux d'habileté, les progrès dans la vitesse semblent dus à la maturation plus qu'à l'apprentissage*

## **1. Introduction**

La course de l'adulte est un objet d'étude depuis l'antiquité, mais les études sur la course se sont développées à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle avec Marey et Demeny en France. Un regain d'intérêt dans les dernières décennies du XX<sup>e</sup> siècle, est motivé par trois principales préoccupations, améliorer les performances des coureurs, établir l'étiologie des blessures consécutives à cette activité ou améliorer les chaussures de sport.

Les études sur les adultes sont plus nombreuses que celles sur les enfants, elles portent à la fois sur les adultes experts champion du monde et détenteurs de records (Dillmann 1975, Payne 1983, Mann 1985, Ae & al 1985, Mero, Luthanen & Komi 1986, Yokoi & al 1987, Ito & al 1993, Brisswalter, Legros & Durey 1994, Gazeau 1997, Stéfanyshyn & Nigg 1998), mais également sur des sujets dont le degré d'expertise est moindre des athlètes de niveau régional par exemple (Roy 1982, Hinrichs 1992, Delecluse & al 1995), ou des comparaisons de sujets de différentes disciplines : sprinters et hurdler (Mann 1985, Pauly 1991), des décathloniens et des sprinters (Kunz & Kaufmann 1981), des sprinters et des sauteurs en longueur (Glize & Laurent 1990), des sprinters et des coureurs de mi distance (Gajer 1994), des sprinters et des coureurs de longue distance (Kaneko & al 1983, Siler et Martin 1991). Certaines études envisagent les différences en fonction de l'âge (Morgan, Martin & Krahenbuhl 1989, Hamilton 1993, Gehlsen & Demchak 1996), en fonction du degré d'expertise (Saito & al 1983, Gérard & Gérard 1998) ou du style de l'athlète (Williams & Ziff 1991).

Concernant les enfants, les études biomécaniques les plus documentées sur la course lente sont : Ounpuu (1994), Yoshizawa & al (1997) et celle de Morgan & al (1997).

En course lente, il existe peu de données sur les variations de vitesse chez les enfants, et parmi celles que nous avons trouvées, nous nous posons la question de la signification d'une valeur moyenne sur 12 enfants entre 5 et 11 ans. Certains ouvrages donnent des valeurs moyennes pour l'amplitude ou la vitesse maximale aérobie (Gerbeaux, Berthoin 2001, Gérard&Gérard 2006)

Ounpuu (1994) distingue la marche de la course par la décomposition des événements qui marquent les deux démarches : existence d'un double appui en marche et d'une suspension en course. Quand on regarde un enfant ou un adulte qui court lentement il peut exister un temps de double appui, et pourtant son organisation corporelle, buste légèrement incliné, bras plié le long du corps, n'est pas celle de la marche. Le problème se pose donc pour les coureurs chez qui la phase de suspension est proche de zéro. Pour notre étude, en course lente, nous ne retiendrons que les enfants qui montrent au minimum entre le quitté d'un appui et le posé de l'appui controlatéral un intervalle de 0.02 s indiquant ainsi une suspension même minime.

Pour dépasser cette idée de moyenne nous souhaitons établir comme pour la course de vitesse chez l'enfant (Gérard 2003, 2005) des niveaux d'habileté en course lente à allure librement choisie dans une population scolaire de cycle 2 et 3 (enfants entre 6 et 11 ans).

## **2. Méthode**

### **2.1 Population**

Pour déterminer ces niveaux d'habileté, nous proposons d'analyser les courses des enfants d'une école primaire. Le prélèvement des données a été effectué sur une population d'enfants de centre ville, dans une école qui comporte plusieurs classe du même niveau. Avec accord des parents nous avons filmé les enfants en maillot de bain pour mieux identifié les points à numériser. Nous avons fait en sorte d'avoir une trentaine d'enfant de chaque classe, ce qui nous donne un nombre différent pour chaque âge ( présence de redoublants). Après plusieurs essais avec une classe de CP nous avons décidé de ne pas prélever de données sur ce niveau, un grand nombre des enfants ne parvenaient pas encore à avoir une course régulière pendant plusieurs minutes.

**Tableau 1 : Répartition de la population scolaire étudiée par année**

Classe	Nombre de mois	Nombre d'enfants	Garçons	Filles
CE1	84-95	25	16	9
CE2	96-107	28	13	15
CM1	108-119	32	15	17
CM2	120-131	32	15	17

Nous avons donc limité notre panel aux classes du Cours Élémentaire première année jusqu'au Cours moyen deuxième année.

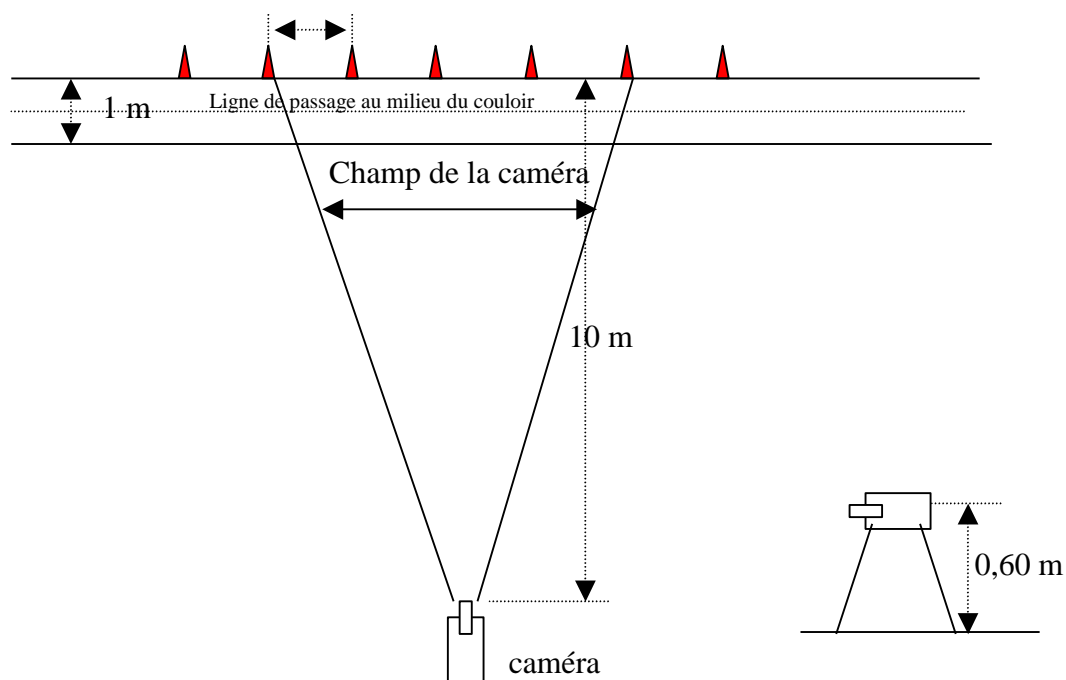
### **2.2 Prélèvement des données**

Le dispositif est le suivant :

Pour décrire les courses des enfants, nous avons utilisé un banc de mesure pour l'analyse du mouvement qui permet de passer du mouvement des enfants à un traitement informatique des données prélevées. Ce banc est composé d'une caméra, d'un magnétoscope et d'un écran de contrôle, d'un ordinateur équipé d'une carte d'acquisition et d'un logiciel de digitalisation des images qui transforme les repères en données numériques au format texte. Ces données peuvent être traitées par le logiciel pour obtenir les valeurs angulaires, les vitesses, les représentations paramétriques souhaitées ou par un logiciel de traitement de données, Excel par exemple.

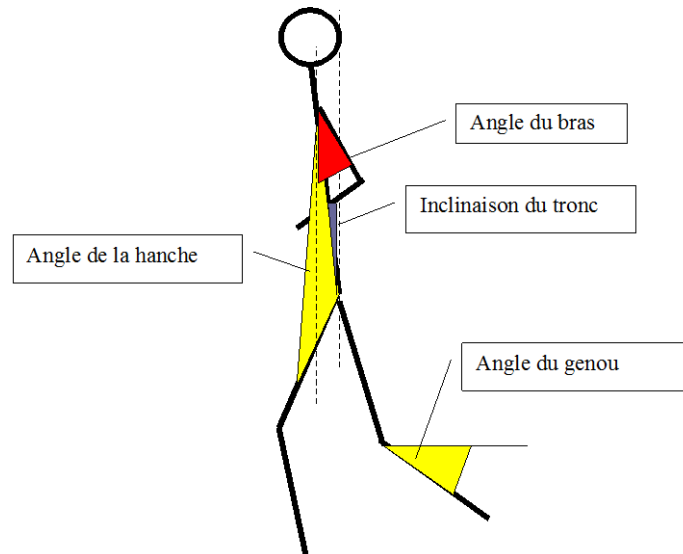
Nous avons filmé dans un plan sagittal avec une caméra Sony Hi8, puis chaque course a été numérisée en utilisant une carte d'acquisition vidéo Miro DC 30 plus qui permet une acquisition par trame des films. Cette manipulation permet la récupération des films avec une fréquence de 50 images par seconde (Aubert 1994). Le logiciel 3D vision de Gilles Dietrich 1999 permet la saisie et une partie de l'analyse des courses à partir des points caractéristiques.

**Figure 1 : Schéma du dispositif de prise de vue**



La foulée est ensuite analysée, les indicateurs suivants sont recueillis : vitesse, amplitude, fréquence, durée de l'appui, durée de la suspension. Chaque image est analysée par l'intermédiaire de 9 points : oreille, épaule, coude, poignet, hanche, genou, cheville, talon, pointe de pied. Les valeurs minimales maximales et moyennes de différents angles et à différents moments (posé ou quitté : inclinaison du tronc, la flexion extension des bras, angle de la hanche, du genou et de la cheville sont calculés par rapport à la verticale, l'horizontale ou par rapport à une autre segment. Le schéma ci-dessous présente les repères choisis pour le calculs de différents angles. .

**Figure 2 : Angles prélevés pour l'analyse des courses**



### 3. Résultats

Nous avons effectué un tri hiérarchique opéré sur l'ensemble des données, après vérification de l'indépendance des variables, de leur distribution et l'absence d'individus atypique. Ce tri a utilisé la distance moyenne entre classe, en portant au carré la distance euclidienne avec une standardisation des valeurs.

Nous obtenons un classement des individus en 3 classes qui présentent les caractéristiques suivantes :

#### 3.1 Paramètres spatio-temporels

Les résultats des 3 classes pour les paramètres spatio-temporels sont les suivants :

**Tableau 2 : Principales valeurs des différents indicateurs en fonction du niveau**

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	T de student
Amplitude en cm	181,7	195,0	248,4	35,29
Vitesse en cm.s-1	283,3	293,0	365,9	45,17
Indice de sautillerment oreille en cm	10,3	10,6	12,6	1,26
Indice de sautillerment hanche	15,4	15,5	16,4	0,53
Fréquence en Hz	3,14	3,01	2,95	0,10
Durée de l'appui en seconde	0,26	0,26	0,21	0,03
Durée de la suspension en seconde	0,07	0,07	0,13	0,03

Les résultats montrent que les différences sont significatives entre les classes pour l'amplitude et la vitesse, et non statistiquement différents (t de student inférieur à 1.98) pour les indices de sautillerment, pour la fréquence, la durée des appuis et la durée de la suspension.

Globalement, l'amplitude, la vitesse, la durée de la suspension et les indices de sautillerment augmentent, alors que la fréquence diminue et la durée des appuis diminuent. Les performances

sont améliorées avec l'augmentation du niveau et l'amélioration de la vitesse est due à une augmentation plus importante de l'amplitude qui compense la diminution de la fréquence.

### 3.2 Paramètres angulaires

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des différents angles à différents moments du cycle de course lente, pour les 3 classes déterminées.

**Figure 3 : tableau des résultats angulaire par niveau**

Angles en degré	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	T de student
Angle du bras en extension	56,8	53,0	60,9	3,98
Angle du bras en flexion	-2,6	-4,7	-1,3	1,68
angle moyen oreille hanche	16,3	14,2	15,0	1,07
angle de la cheville au posé	79,3	78,9	80,9	1,08
angle de la cheville au quitté	104,8	107,2	109,3	2,29
Angle maximal de la cheville pendant l' appui	86,5	87,3	88,6	1,05
Angle de la cheville en flexion pendant l'appui	62,2	61,1	60,9	0,66
Angle maximal de la cheville en extension pendant la suspension	106,0	110,4	113,2	3,61
Angle maximal de la cheville en flexion pendant la suspension	67,3	70,5	67,9	1,69
Angle du genou au posé	153,2	153,4	148,8	2,62
Angle du genou au quitté	151,0	152,2	154,8	1,98
Angle minimum du genou pendant l'appui	131,8	131,8	129,1	1,56
Angle maximum du genou pendant l'appui	160,9	161,6	161,3	0,37
Angle minimum du genou pendant la suspension	85,9	65,2	38,5	21,01
Angle de la hanche au posé	141,6	145,3	138,8	3,26
Angle de la hanche au quitté	175,0	177,7	180,1	2,54
Angle minimum de la hanche pendant l'appui	139,0	140,8	135,5	2,68
Angle maximum de la hanche pendant la suspension	178,2	180,3	184,8	3,41

Les valeurs du t de student sur les différentes valeurs angulaires obtenues pour les 3 classes nous montrent que les différences ne sont pas significatives (inférieures à 1.98) pour l'angle du bras en flexion, l'angle moyen oreille hanche, angle de la cheville au posé, l'angle maximal de la cheville pendant l'appui, l'angle de la cheville en flexion pendant l'appui, l'angle maximale de la cheville en flexion pendant la suspension, l'angle minimum du genou pendant l'appui, l'angle maximum du genou pendant l'appui. Pour les autres valeurs angulaires, les différences sont significatives.

Globalement, avec l'augmentation du niveau d'habileté, nous constatons :

- Une augmentation de l'amplitude des mouvements du bras

- Une augmentation de l'extension de la cheville au quitté
- Une diminution de l'angle du genou au posé et une augmentation au quitté
- Une augmentation de la flexion de la cheville pendant la suspension
- Une augmentation sensible de la flexion du genou pendant la phase de retour de la jambe libre
- Une augmentation de l'extension de la hanche au quitté, et pendant la suspension.

Un certain nombre de variations angulaires sur les 3 niveaux ne sont pas univoques, c'est le cas de l'angle moyen oreille hanche, angle de la cheville au posé, angle maximal de la cheville en flexion pendant la suspension, angle du genou au posé, angle de la hanche au posé, angle minimum de la hanche pendant l'appui

### **3.3 Répartition de la population**

#### *3.3.1 En fonction du sexe*

Le tableau ci-dessous présente les répartitions des élèves dans les 3 niveaux en fonction du sexe.

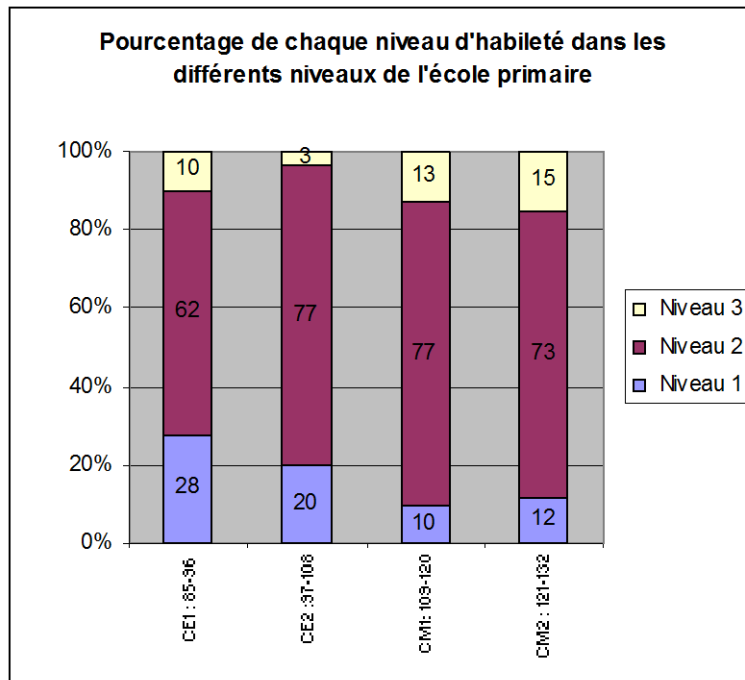
**Tableau 3 : Nombre de filles et de garçons par niveau d'habileté**

	Filles	Garçons
Niveau 1	12	8
Niveau 2	43	41
Niveau 3	3	9

Les 3 classes sont d'inégales compositions. Si le nombre de filles et de garçons est sensiblement équivalent dans les niveaux 1 et 2, la classe 3 montre un nombre significativement plus élevé de garçons. Pour mieux comprendre la distribution nous nous sommes intéressés à la répartition des individus pour chaque niveau en fonction de leur âge.

#### *3.3.2 Dans chaque classe de l'école primaire*

Le graphique ci-dessous présente en pourcentage de chaque niveau l'effectif des différentes sections de l'école pour chaque niveau de course identifié.



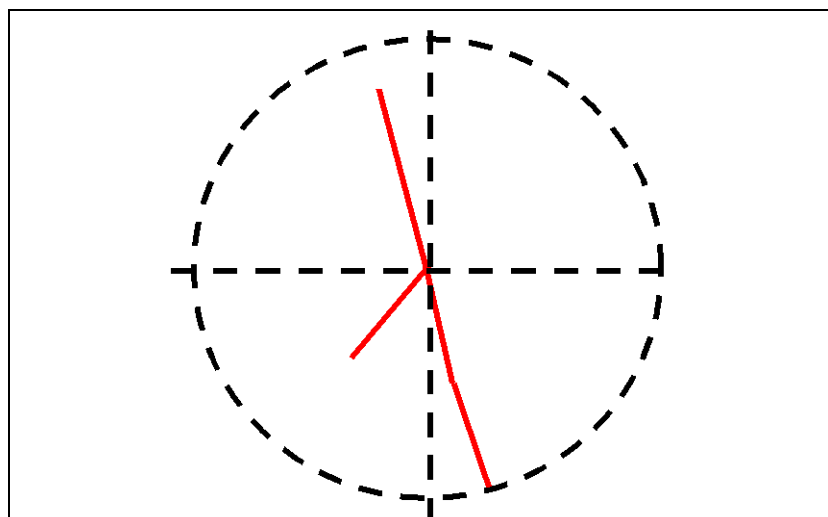
Il apparaît que dans chaque classe de l'école, un certain nombre d'enfants sont de niveau 1, 2 ou 3. Si la grande majorité quelle que soit la classe est de niveau 2, on peut constater avec l'âge une diminution du nombre d'enfants de niveau 1 et une augmentation du nombre d'enfants de niveau 3, même si en CE2 il y a moins d'enfants de niveau 3 qu'en CE1.

### 3.4 Modélisation

Nous proposons de reprendre une modélisation similaire à celle utilisée en course de vitesse (Gérard 2003, 2005) à l'aide d'un viseur. Les éléments retenus sont l'inclinaison moyenne du tronc, le compas et la remontée de la jambe libre.

Le niveau 1

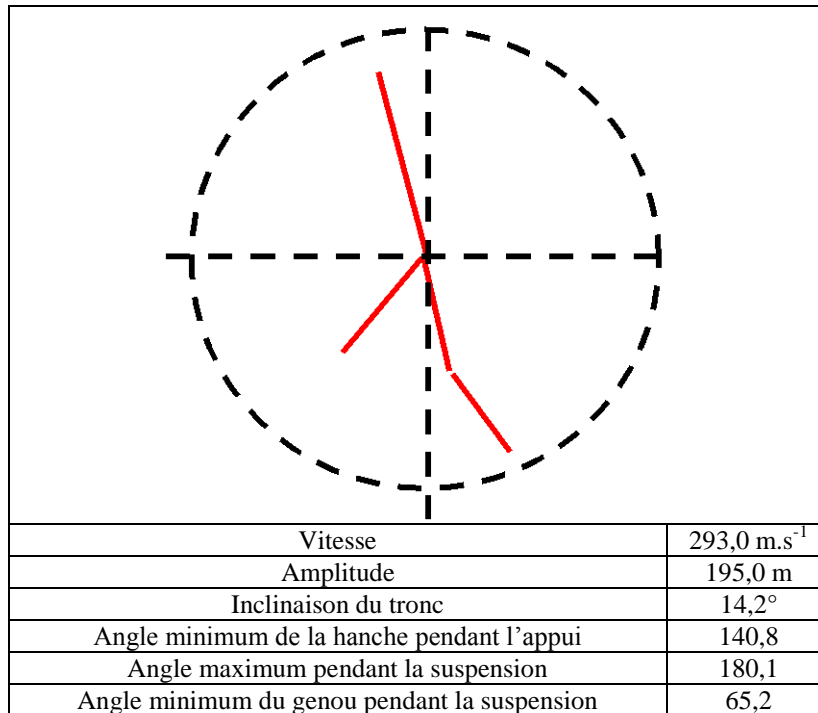
**Figure 4 : modélisation du niveau 1 d'habileté en course lente chez l'enfant d'âge primaire**



Vitesse	283,3 m.s <sup>-1</sup>
Amplitude	181,7 m
Inclinaison du tronc	16,3°
Angle minimum de la hanche pendant l'appui	139°
Angle maximum pendant la suspension	178,2°
Angle minimum du genou pendant la suspension	85,9°

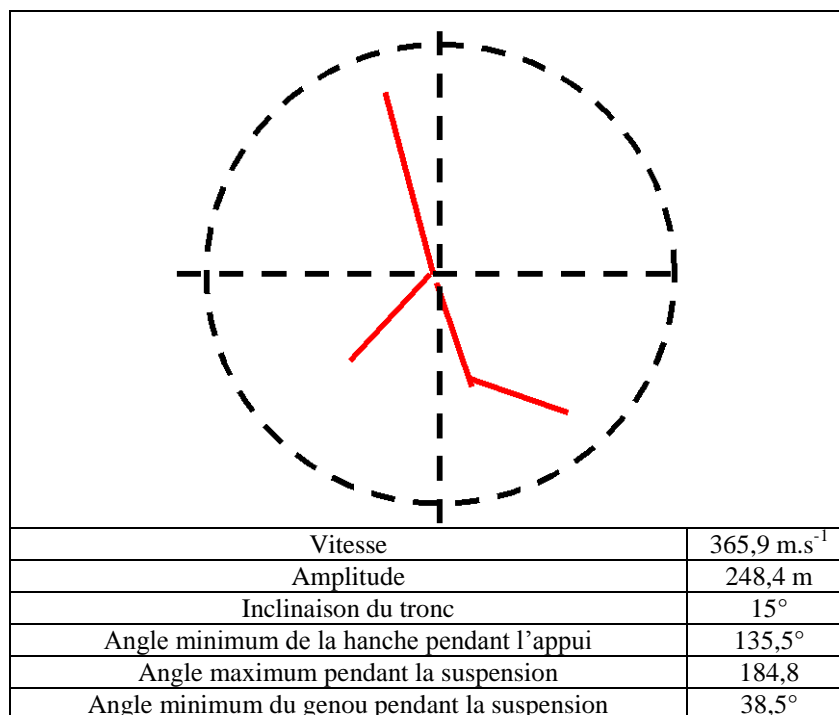
Le niveau 2

Figure 5 : modélisation du niveau 2 d'habileté en course lente chez l'enfant d'âge primaire



Le niveau 3

Figure 6 : Modélisation du niveau 3 d'habileté en course lente chez l'enfant d'âge primaire



### **3.5 Discussion et limites**

Les niveaux d'habileté sont très différenciés par leur vitesse moyenne et par l'amplitude qui augmentent avec le niveau d'habileté. Par contre même si les différences ne sont pas significatives pour les indices de sautillerment, la fréquence et les durées de l'appui et de la suspension, le sens du progrès chez les enfants semble passer par une augmentation de la suspension, une diminution de la fréquence.

La répartition des élèves dans les différents niveaux montre qu'une grande majorité est de niveau 2. On pouvait supposer la répartition en 3 niveaux peu discriminante et qu'une partition en 4 niveaux permettrait d'affiner la modélisation. Un essai avec 4 niveaux n'a pas permis de suffisamment distinguer les niveaux pour être retenu.

Cette recherche montre qu'un grand nombre d'élève présente un niveau d'habileté moyen et que les changements ne sont très importants au cours de la scolarité primaire, même si le pourcentage de niveau 1 diminue en fonction de la classe de 28% en CE1 à 12 % en CM2), pour davantage d'élèves présentant le niveau 2, 62% en CE1 pour 73% en cm2, le pourcentage d'élèves présentant le niveau 3 d'habileté reste sensiblement identique (10% en ce1 pour 15% en cm2). Globalement les élèves ne semblent pas progresser en niveau d'habileté avec l'âge, les progrès en course longue (performance) proviennent certainement davantage de la maturation que de d'augmentation de l'expertise.

On peut s'étonner de l'augmentation relative en pourcentage de niveau 1 entre le cm1 et le cm2. Cela rejoint les constats faits en course de vitesse (Gérard 2003), d'une éventuelle régression du niveau d'habileté pendant la dernière année de l'école primaire que nous supposons être dues à une diminution de l'activité physique chez les enfants en cm2 (diminution du nombre d'heures d'éducation physique et/ou diminution de l'activité en récréation et en dehors de l'école), mais celle-ci est moins évidente qu'en course de vitesse.

Les résultats montrent également que le nombre de garçons de niveau 3 est supérieur au nombre de fille de même niveau.

### **4. Conclusion**

Cette recherche a permis d'identifier pour une population de l'école primaire des niveaux d'habiletés en course lente chez les enfants. Le constat est fait des faibles progrès de cette population au cours de leur scolarité. La tendance à une diminution constatée en course de vitesse du niveau d'habileté en cm2 est moins évidente.

On peut se demander si les modélisations obtenues peuvent servir aux élèves pour mieux situer leur propre niveau de pratique et si une période d'entraînement avec identification par les élèves de leur niveau d'habileté peut conduire à une élévation plus importante de leur niveau d'habileté.

A partir des niveaux établis, un outil pour apprendre à identifier les niveaux peut être construit suivant le modèle établi pour la course de vitesse (Gérard 2005)

## **Bibliographie**

1. AE, M., MIYASHITA, K., YOKOI, T., & HASHIHARA, Y., (1985). Bodysegment contributions during the support phase while running at different velocities. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes et A.E. Patla (Eds) . *Biomechanics volume 9 b* , (pp 343-349). Champaign : Human Kinetics Publishers
2. BRISSWALTER, J., LEGROS, P., DUREY, A. (1995). Variabilité du coût énergétique de la course à pied : effet de la spécificité de la vitesse d'entraînement sur l'évolution des paramètres physiologiques et cinématiques de la course à pied. *Science et motricité*, 25, 3-11.
3. DELECLUSE, C.H., VAN COPPENOLLE, H., WILLEMS, E., DIELS, R., GORIS, M., VAN LEEMPUTTE, M., VUYLSTEKE, M. (1995). Analysis of 100 meter sprint performance as multi-dimensional skill. *Journal of Human Movement studies*, 28, 87-101
4. DILLMANN, C.J. (1975). Kinematics analyses of running. *Exercice of Sports Sciences Review*, 3, 193-218.
5. GAGER, B. (1995). *Evolution de la foulée au cours du 800 mètres*. Paris : Mémoire INSEP non publié.
6. GAZEAU, F. (1997). L'amplitude des foulées est discriminante de la performance. *Revue de l'A.E.F.A.*, 148, 22-23
7. GEHLSSEN, G.M., DEMCHAK, T.J. & WALTERS, W.A. (1996). Running kinematics and aging. *Journal of human movement studies*, 31, 61-73.
8. GERARD, M & GERARD, JP. (1998). *Etude comparative des foulées d'étudiants en DEUG Staps au cours de situation d'échauffement en athlétisme à partir des paramètres biomécaniques et cinématiques*. Mémoire non publié Paris : LIREST
9. GERARD, M. & GERARD, J.P. (2006). *Réussir l'épreuve d'éducation physique et sportive au concours de professeur des écoles*. Paris : Editions Seli Arslan

10. GERARD, J.P. (2003). *Modélisation du développement de la foulée de l'enfant de 2 à 11 ans, : contribution à l'amélioration de l'habileté de lecture de l'enseignant*. Thèse de l'Université de la Réunion
11. GERBEAUX, S. & BERTHOIN, S (2001) : *Aptitude et pratique aérobique chez l'enfant et l'adolescent*. Paris : PUF
12. GLIZE, D. & LAURENT, M. (1990). Etude comparée du sprint et de la course d'élan en saut en longueur : effet du niveau d'habileté. In V. Nougier & J.P. Blanchi (Eds), *Pratiques sportives et modélisation du geste*, (pp 179-194). Grenoble : UFR STAPS.
13. HAMILTON, N. (1993). Changes in sprint stride kinematics with ages in master's athletes. *Journal of applied biomechanics*, 9, 15-26
14. HINRICHS, R.N. (1992). Case studies of asymmetrical arm action in running. *International Journal of Sport Biomechanics*, 8, 111-128.
15. ITO, A., SAITO, K., SAGAWA, K., KATO, K., AE, M., KOBAYASHI, K.(1993). Leg movement analysis of gold and silver medallists in men's 100m at the III world championships in athletics. Société Internationale de Biomécanique, *Actes du 14è congrès* (pp 624-625). Paris : ISB.
16. KANEKO, M., FUCHIMOTO, T., Ito, A. & TOYOOKA, J. (1983). Mechanical efficiency of sprinters and distance runners during constant speed running. In H. Matsui, et K. Kobayashi (Eds), *Biomechanics 8 B*. Champaign : Human kinetics publishers.
17. KUNZ, H. & KAUFMANN, D.A. (1981). Biomechanical analysis of sprinting : decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*, 15, 3, 177-181.
18. MANN, R. (1985). Biomechanical analysis of the elite sprinter and hurdler. In N.K. Butts and B. Zarins (Eds), *The elite athlete*, (pp 43-80). Champaign : Spectrum Publications.
19. MANN, R. (1985). Biomechanical analysis of the elite sprinter and hurdler. In N.K. Butts and B. Zarins (Eds), *The elite athlete*, (pp 43-80). Champaign : Spectrum Publications.
20. MERO, A., LUTHANEN, P. & KOMI P (1986). Segmental contribution to velocity center of gravity during contact at different speeds in male and female sprinters. *Journal of Human Movement studies*, 12, 5, 215-235.

21. MORGAN, D.W., MARTIN, P.E. & KRAHENBUHL, G.S. (1989). Factors affecting running economy. *Sports medecine*, 7, 310-330
22. OUNPUU, S. (1994). The biomechanics of walking and running. *Clinics in sports medicine*, 13, 4, 843-863.
23. PAULY, O. (1991). *Etude comparative de la foulée du sprinter et du hurdler dans l'intervalle interobstacles. Conséquences pour le décathlonien*. Paris : Mémoire INSEP non publié
24. PAYNE, A.H. (1983). Foot to ground contact forces of elite runners. In H. Matsui & K. Kobayashi (Eds), *Biomechanics 8 B*, (pp 746-753). Champaign: Human kinetics Publishers.
25. ROY, B. (1982). Caractéristiques biomécaniques de la course d'endurance. *Canadian journal of sport science*, 7, 2, 104-115
26. SAITO, M., OHKUWA, T., IKEGAMI, Y., & MIYAMURA, M. (1983). Comparison of sprint running in the trained and untrained runners with respect to chemical and mechanical energy. In H. Matsui and K. Kobayashi, *Biomechanics 8-b*, (pp 963-968). Champaign : Human Kinetics Publishers.
27. SILER, W.L. & MARTIN, P.H.E. (1991). Changes in running pattern during a treadmill run to volitional exhaustion : fast versus slower runners. *International journal of sport biomechanics*, 7, 12-28
28. STEFAYSHYN, D.J. & NIGG, B.M.(1998). Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting. *Journal of applied biomechanics*, 14, 292-299.
29. WILLIAMS, K.R. & ZIFF, J.L. (1991). Changes in distance running mechanics due to systematic variations in running style. *International Journal Of sport Biomechanics*, 7, 76-90.
30. YOKOI, T., SHIBUKAWA, K., AE, M. & HASHIHARA, Y. (1987). Effects of stature difference on sprint running motion. In Bengt Jonsson (ed) *International Series on Biomechanics*, volume 10b, Champaign : Human Kinetics Publishers.
31. YOSHIZAWA, S., HONDA, H., NAKAMURA, N. & al (1997). Effects of an 18-month endurance run training program on maximal aerobic power in 4- to 6-year-old girls. *Pediatric Exercice Science*, 9, 33-43

32. GERARD, JP (2005). Expérimentation d'une première version d'un instrument pour lire le mouvement en course de vitesse *E journal Besançon* janvier 2005,  
[http://www.fcomte.iufm.fr/niveau\\_deux/recherche/ejrieps/ejournal7/sommaire7.htm](http://www.fcomte.iufm.fr/niveau_deux/recherche/ejrieps/ejournal7/sommaire7.htm)