

# La construction du mouvement chez le grimpeur

## L'analyse tri-dimensionnelle du comportement moteur du grimpeur en escalade.

**E**n tant qu'activité dite de « parcours », le grimpeur sportif implique (Dupuy, 1986 ; 1990) : un cheminement optimal à identifier ; des « saisies » manuelles et podales des prises qui, selon leur morphologie, taille, forme, sens d'utilisation, font appel à des techniques de préhension adaptées exigeant une grande précision ; l'enchaînement de « déplacements » quadrisegmentaires, appelés mouvements.

Chaque mouvement met en jeu tout un ensemble combiné d'actions motrices d'équilibration et de mobilisation segmentaire (on se réfère à la taxonomie proposée par Dupuy, 1986 ; 1990), que le grimpeur doit sélectionner et coordonner afin d'adapter sa « géométrie corporelle » à la configuration particulière des prises rencontrées pour chacun des « pas » à effectuer. Chaque pas constitue en réalité un mouvement, lequel comporte toujours l'enchaînement séquentiel de deux phases, statique et dynamique, selon que les actions motrices effectuées s'accompagnent ou non du transport du corps. Un passage peut être franchi en un certain nombre de « pas », ou mouvements : chaque mouvement est borné par la fin d'une phase dynamique de déplacement du corps.

Ces différentes opérations ont été précédemment décrites à partir d'une analyse des comportements moteurs (Dupuy, 1986 ; Dupuy et Ripoll, 1990) et visuels (Dupuy et Ripoll, 1989) de grimpeurs experts mis en œuvre dans les trois modalités évoquées ci-dessus.

Ces recherches ont montré que, chez les experts, lorsque le parcours ne présente pas pour eux un niveau de difficulté trop proche de leur maximum : — la trajectoire était optimisée dès le parcours de découverte (« à vue »). Cette optimisation concernait le cheminement et le nombre de pas (ou mouvements) effectués ; — l'importante réduction du temps de parcours, consécutive à l'apprentissage du passage, n'affectait que les phases statiques, pendant lesquelles l'analyse « sémantique » du passage (identification du cheminement, choix des « pas » à enchaîner et choix des actions motrices qui composent chaque mouvement) est effectuée. Ce processus d'optimisation entraînait la réduction, voire la dis-

parition des actions d'équilibration qui précèdent en alternant avec elles, les mobilisations segmentaires et le recours à des déplacements segmentaires simultanés ; — l'optimisation, dès le parcours initial,

des phases d'exécution, dont le nombre et les durées étaient parfaitement stables, dès le premier passage.

L'objet de la présente étude était de compléter ces premiers résultats en utilisant d'une part, une technique plus précise d'analyse du comportement moteur, et en comparant, d'autre part, des grimpeurs de niveau pratique différent.

## La méthodologie

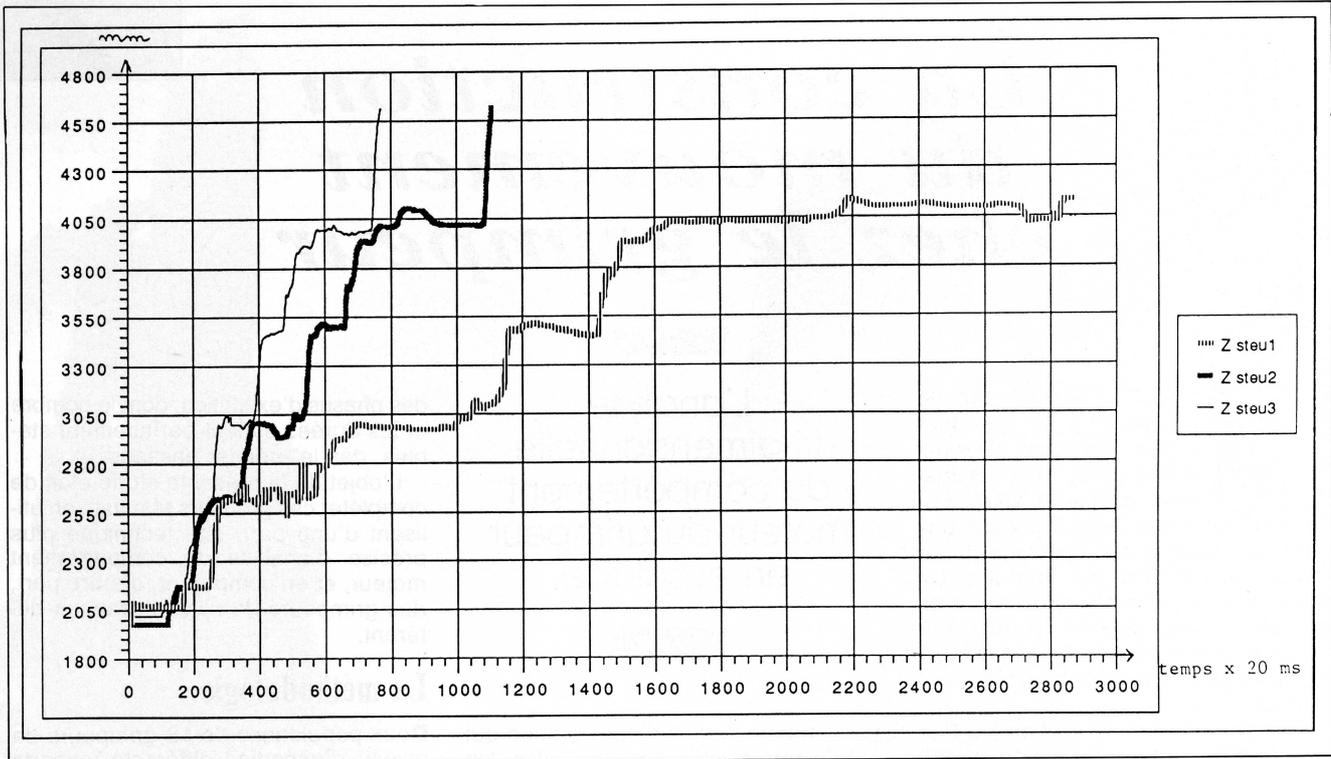
Deux populations de 18 grimpeurs de niveau d'expertise différents (experts  $7_{c+}/8_a$  et de niveau intermédiaire  $7_a$  à vue) devaient franchir un parcours (d'une hauteur de 10 mètres) de niveau technique  $7_a$  dans trois conditions :

Suite p. 48

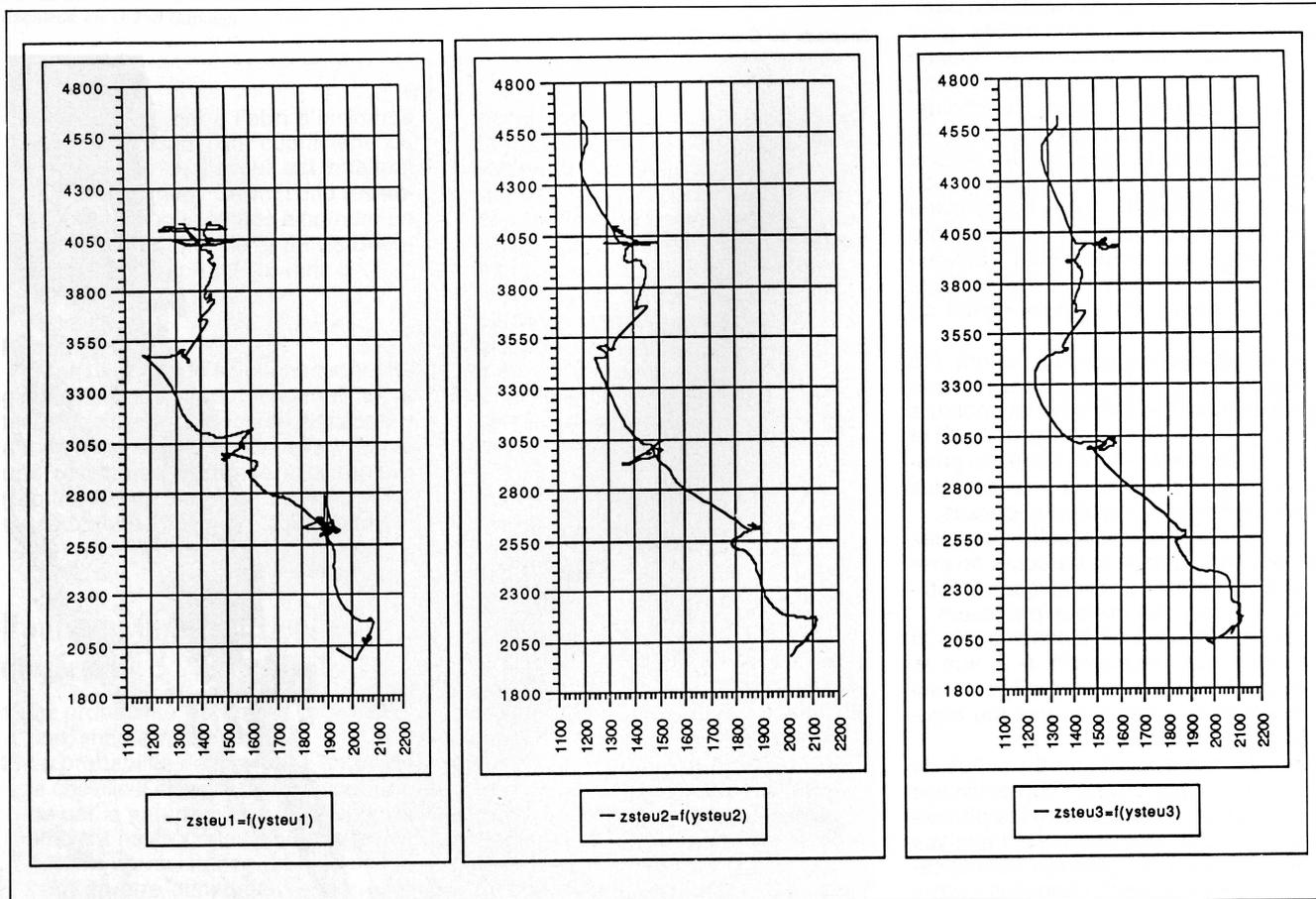
Escalade au Grand Capucien



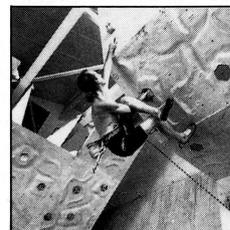
Photo P. Cordier



**Fig. 1 :** Trajectoires verticales du déplacement d'un grimpeur expert en fonction du temps dans trois conditions expérimentales : C<sub>1</sub> (à vue) ; C<sub>2</sub> (après répétition) ; C<sub>3</sub> (vitesse).

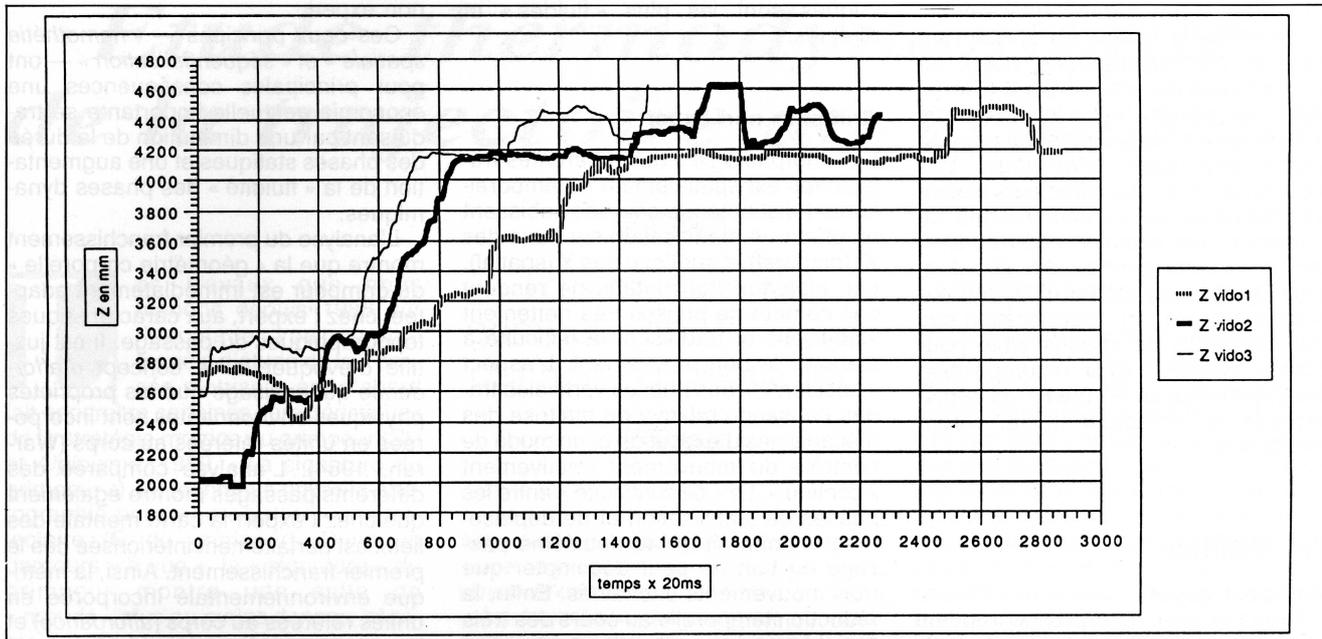


**Fig. 2 :** Trajectoires verticales et horizontales du déplacement d'un grimpeur expert dans trois conditions expérimentales : C<sub>1</sub> (à vue) ; C<sub>2</sub> (après travail) ; C<sub>3</sub> (vitesse).

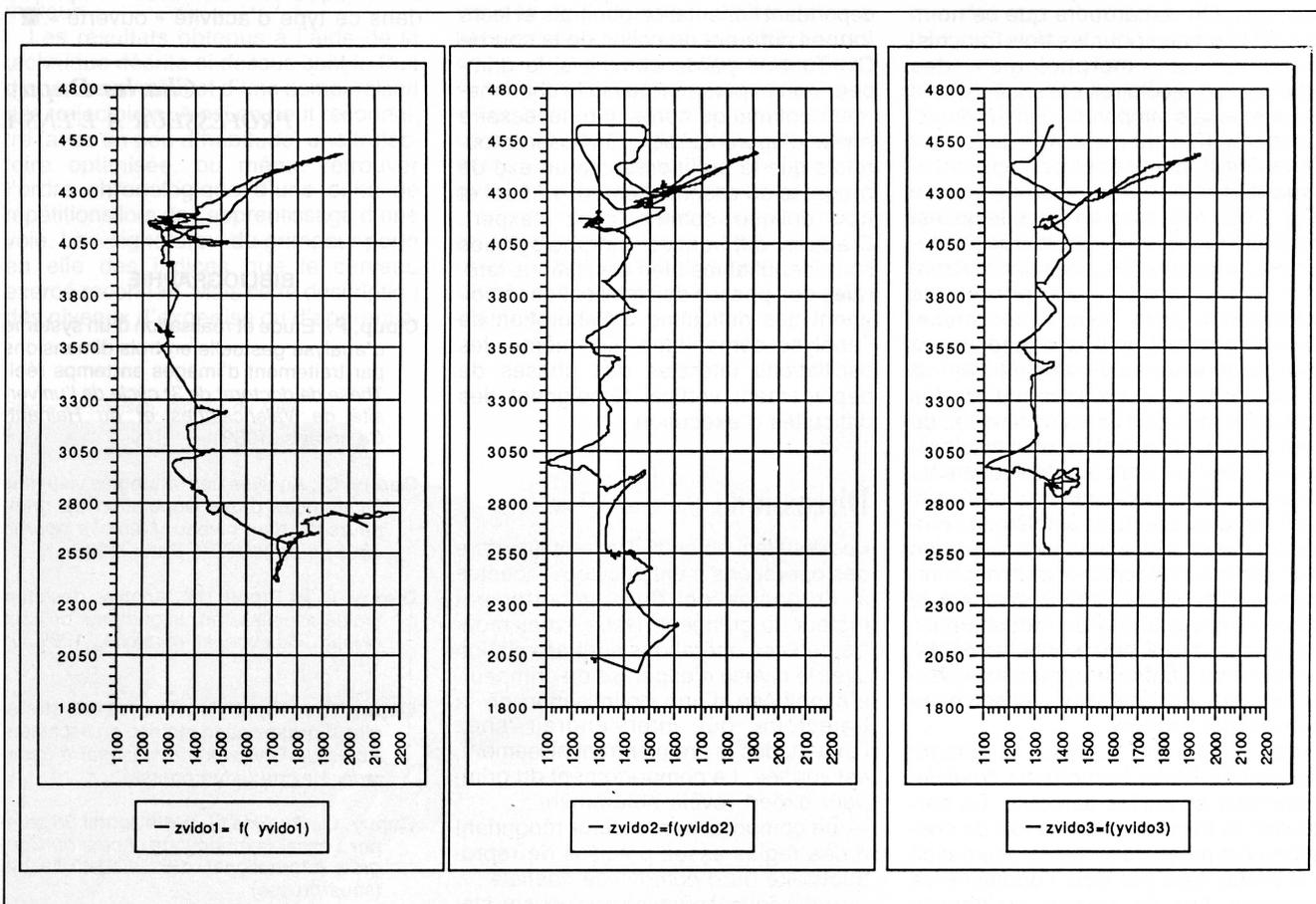


l'axe des ordonnées (Z) en mm et des phases dynamiques qui correspondent aux décalages. Ainsi le comportement de l'axe des ordonnées (Z) en mm est caractérisé par un comportement de type élastique (les phases de traction sont séparées par des phases de relaxation) qui est caractérisé par un comportement de type élastique.

l'axe des ordonnées (Z) en mm et des phases dynamiques qui correspondent aux décalages. Ainsi le comportement de l'axe des ordonnées (Z) en mm est caractérisé par un comportement de type élastique (les phases de traction sont séparées par des phases de relaxation) qui est caractérisé par un comportement de type élastique.



**Fig. 3 :** Trajectoires verticales du déplacement d'un grimpeur de niveau intermédiaire en fonction du temps dans trois conditions expérimentales : C<sub>1</sub> (à vue) ; C<sub>2</sub> (après répétition) ; C<sub>3</sub> (vitesse).



**Fig. 4 :** Trajectoires verticales et horizontales du déplacement d'un grimpeur de niveau intermédiaire dans trois conditions expérimentales : C<sub>1</sub> (à vue) ; C<sub>2</sub> (après travail) ; C<sub>3</sub> (vitesse).

passage à vue (C<sub>1</sub>) ; passage après répétition motrice (C<sub>2</sub>) ; passage de vitesse (C<sub>3</sub>). Les résultats préliminaires présentés ici concernent deux grimpeurs : un grimpeur expert faisant partie des dix meilleurs grimpeurs de la coupe du monde et un grimpeur régional dont le niveau technique ne dépasse pas le 7<sub>a</sub> (à vue).

L'enregistrement des déplacements du corps a été réalisé en utilisant un matériel d'enregistrement vidéo tridimensionnel de type SAGA 3 (Cloup, 1989). Six réflecteurs placés sur le corps des grimpeurs étaient éclairés par une source lumineuse infra-rouge. Les déplacements de ces réflecteurs étaient enregistrés par deux caméras vidéo. Le traitement des signaux vidéo concernait : a) la détermination des coordonnées images de chaque cible pour chaque caméra ; b) l'identification des trajectoires 2D de chaque cible pour chaque caméra ; c) la recombinaison des trajectoires en 3D (seuls les déplacements du réflecteur dorsal seront décrits ici).

## Les résultats

### Grimpeur expert

Trois courbes superposées rendent compte des franchissements successifs du grimpeur (fig. 1).

On observe que les trois courbes décrivent chacune les six mouvements ou « pas » (correspondant aux plateaux horizontaux) effectués pour franchir le passage. On remarquera que ce nombre est identique pour les trois franchissements. La « morphologie » des différentes trajectoires est spatialement identique mais temporellement distincte. La courbe (C<sub>1</sub>) subit une translation sur l'axe des X sous l'effet de l'apprentissage (C<sub>2</sub>) et des exigences de vitesse (C<sub>3</sub>). Cette réduction temporelle qui est continue au cours des trois franchissements, concerne les plateaux horizontaux correspondant aux phases de stabilisation (dont nous avons précédemment montré qu'ils correspondaient à un traitement visuel « sémantique » et à une phase de programmation des mouvements). Ces phases statiques de préparation précédant les phases d'exécution que décrivent les déplacements verticaux. Ces déplacements verticaux sont remarquablement stables en nombre, durée et orientation. La succession d'un plateau horizontal et d'un déplacement vertical formé en escalier sur la courbe correspond à un mouvement.

La figure 2 qui représente les déplacements du grimpeur sur les axes verticaux et horizontaux, précise la précédente analyse.

Les différentes courbes confirment l'existence d'une *homothétie spatiale*, commune à tous les parcours. En particulier, le tracé de base ou axe de cheminement présente la même orientation (ou profil) dans les trois conditions de parcours. Les six « pas », ou mouvements, effectués sont optimisés dès le premier passage. Les oscillations latérales, qui n'interviennent que pendant les phases de stabilisation, diminuent

considérablement au cours des passages successifs. Le profil de ces phases de stabilisation rend compte de l'activité mentale impliquée dans l'analyse sémantique du passage et de la sélection des mouvements adaptés. C'est au cours de l'épreuve de vitesse que la diminution des phases de stabilisation est maximum et que les phases dynamiques sont les plus « fluides » et directes.

### Grimpeur non expert

La « morphologie » des différentes trajectoires est spatialement et temporellement distincte. Le courbes subissent en effet une modification sur l'axe des X (temporel) et sur l'axe des Y (spatial). Les plateaux horizontaux ne rendent pas compte de phases très nettement stabilisées et traduisent la difficulté à élaborer le bon mouvement. L'aspect « accidenté » des phases verticales traduit l'absence relative de maîtrise des mécanismes d'exécution et un mode de contrôle du mouvement relativement « continu ». La « discontinuité » entre les phases de stabilisation et de déplacement n'apparaît qu'au deuxième passage où l'on ne peut décompter que trois mouvements enchaînés. Enfin, la réduction temporelle au cours des trois franchissements est nettement moins marquée que chez l'expert.

La figure 4 complète l'analyse précédente.

Seules les courbes C<sub>2</sub> et C<sub>3</sub> présentent une relative homothétie spatiale, cependant l'orientation générale et leurs formes diffèrent de celles de la courbe C<sub>1</sub>. Tout se passe comme si le grimpeur non expert ne trouvait le cheminement optimal qu'après une nécessaire phase d'apprentissage. On observe toutefois que le profil présente un axe de progression essentiellement vertical et non oblique comme chez l'expert. D'autres différences morphologiques sont identifiables : les oscillations latérales des phases de stabilisation témoignent des difficultés d'élaboration de l'analyse sémantique. De même, les oscillations latérales des phases de déplacement vertical témoignent des difficultés d'exécution.

## Discussion

Les résultats obtenus illustrent la nature des opérations mentales sous-jacentes à l'organisation du comportement moteur du grimpeur. Nous avons montré que ces opérations sont en relation avec le niveau d'expertise du grimpeur. L'hypothèse d'une optimisation de la trajectoire qui interviendrait chez l'expert, dès le premier franchissement, est vérifiée. Le comportement du grimpeur expert révèle notamment :

- un comportement moteur répondant à des règles assez précises de reproductibilité ou d'*homothétie spatiale* ;
- une *séquentialisation* des phases statiques dont nous avons précédemment montré qu'elles étaient mises à profit pour explorer visuellement la voie (analyse sémantique) (Dupuy, 1986 ;

Dupuy et Ripoll, 1989) et des phases dynamiques qui correspondent aux déplacements. Ainsi, le comportement de l'expert révèle un fonctionnement de type *discontinu* (les phases de traitement sémantique et les phases d'exécution sont produites en alternance) qui contraste avec le fonctionnement de type *continu* mis en évidence chez le non expert.

Ces deux principes — « *homothétie spatiale* » et « *séquentialisation* » — ont pour principales conséquences une économie gestuelle importante se traduisant par une diminution de la durée des phases statiques et une augmentation de la « fluidité » des phases dynamiques.

L'analyse du premier franchissement montre que la « géométrie corporelle » du grimpeur est immédiatement adaptée, chez l'expert, aux caractéristiques topographiques du passage. Il est justifié d'évoquer ici le concept d'*affordance* qui envisage que les propriétés physiques environnantes sont incorporées en unités référées au corps (Warren, 1984). L'analyse comparée des différents passages montre également que chez l'expert la carte mentale des lieux est parfaitement intériorisée dès le premier franchissement. Ainsi, la métrique environnementale incorporée en unités référées au corps (*affordance*) et l'intériorisation de la *carte mentale* topographique, contribuent à l'élaboration d'une *carte mentale fonctionnelle* qui conditionne la performance en régulant au mieux la gestion du conflit *sémantique-sensorimoteur* impliqué dans ce type d'activité « ouverte ». ■

Charles Dupuy

PROFESSEUR A L'ENSA

## BIBLIOGRAPHIE

- Cloup, P., Etude et réalisation d'un système d'analyse gestuelle en trois dimensions par traitement d'images en temps réel. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle de l'université de Valenciennes et du Hainaut-Cambésis, 1989.
- Dupuy, C., Analyse des stratégies visuelles et motrices d'une population de grimpeurs de haut niveau. Mémoire pour le diplôme de l'INSEP, Paris, 1986.
- Dupuy, C. et Ripoll, H., Analyse des stratégies visuelles chez le grimpeur de haut niveau. *Science et motricité*, 1989, 7, 19-26.
- Dupuy, C. et Ripoll, H., Analyse des stratégies d'organisation motrice en escalade. *Actes du Congrès International d'Escalade*. Bazina (sous presse).
- Dupuy, C., Analyse du geste sportif de grimper : essai taxonomique. *Actes du Congrès International d'Escalade*. Bazina (sous presse).
- Warren, W. H., Affordances : visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 1984, 10, 5, 683-703.