

clavicule et l'omoplate humaines autorisent des mouvements plus complexes, tel le haussement d'épaules.

D'autre part, un ordinateur calcule plus difficilement le mouvement des organismes que celui des objets inertes. Pour ces derniers, des équations issues de lois physiques suffisent. Ainsi, le mouvement d'un ballon qui dévale une pente ne dépend que des forces auxquelles il est soumis (la gravité, les frottements contre le sol ou dans l'air...) et des conditions initiales. Les êtres vivants, en revanche, sont animés par des sources internes d'énergie. Pour simuler leur comportement, nous avons mis au point un programme générateur de commandes musculaires, nommé système de contrôle : il calcule les couples de forces nécessaires au déplacement de chaque articulation pour permettre au personnage d'accomplir les actions choisies, et les applique à ces articulations. Pour la course, par exemple, le système de contrôle détermine les couples nécessaires pour ramener la jambe vers

l'avant avant le contact avec le sol, afin que le coureur ne trébuche pas.

Nous avons mis au point des systèmes de contrôle pour des activités physiques telles la course, le plongeon, la bicyclette ou le saut de cheval en gymnastique. Bien que les mouvements liés à ces activités soient différents, nos programmes fonctionnent globalement de la même façon, et ils sont construits à partir du même ensemble de composants.

Le fonctionnement du système de contrôle

Un système de contrôle utilise un «automate d'états», qui détermine ce que chaque articulation doit faire à chaque instant, puis, tel un chef d'orchestre, assure que les articulations exécutent ces fonctions au moment approprié. La course, par exemple, est une activité cyclique où alternent une phase de soutien, lorsqu'une jambe sert d'appui, et une phase d'envol, quand aucun des deux pieds n'est en

contact avec le sol. Pendant la phase de soutien, la cheville, le genou et la hanche, du côté de la jambe en contact avec le sol, doivent assurer le soutien et l'équilibre. Quand cette même jambe est en l'air, la hanche a une fonction différente, celle de faire osciller la jambe vers l'avant pour préparer le contact suivant. L'automate d'états sélectionne, parmi les différents rôles de la hanche, l'action appropriée pour la phase en cours.

Ensuite, à chaque phase du mouvement sont associées des lois de contrôle, équations qui représentent la manière dont chaque segment corporel doit bouger pour accomplir le mouvement prévu, avec lesquelles l'ordinateur calcule les angles nécessaires pour chacune des 30 articulations du corps humain virtuel. Pour déplacer les articulations vers les positions désirées, le système de contrôle calcule ensuite les couples de force adaptés grâce à des équations qui reproduisent la fonction motrice des muscles.

Trois techniques d'animation

L'interpolation entre positions clés



Everett Collection



Toy Story, film des studios Disney, a été animé surtout par interpolation : les animateurs spécifiaient la position des objets, et un ordinateur créait les images manquantes par interpolation automatique.



La captation du mouvement



Microsoft Motion Capture Group



C'est la technique la plus utilisée pour les animations publicitaires. Un ordinateur «rediffuse» des données saisies lors du mouvement de sujets réels pour animer un personnage de synthèse.

La simulation



James O'Brien et Victor Zordan

L'ordinateur utilise les lois de la physique pour synthétiser les mouvements de personnes et d'objets virtuels.