HAL
open science

Animation d'objets en interaction avec collisions et contacts prolongés adhérents

Stéphane Jimenez, Annie Luciani

To cite this version:

Stéphane Jimenez, Annie Luciani. Animation d'objets en interaction avec collisions et contacts prolongés adhérents. Journées GROPLAN, 1992, Nantes, France. pp.1-7. hal-00910549

HAL Id: hal-00910549

https://hal.science/hal-00910549v1

Submitted on 25 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Animation d'Objets en Interaction avec Collisions et Contacts Prolongés Adhérents

Stéphane Jimenez, Annie Luciani

ACROE & LIFIA
Institut IMAG - 46 av. Félix Viallet - 38031, Grenoble Cedex, France

Résumé
Nous présentons dans ce papier le développement d'un modèle d'interaction de surface avec frottement cinétique (glissement relatif) et statique (situation d'équilibre) dans le cadre d'un système modulaire pour la simulation dynamique : le système Cordis-Anima.
Dans une première partie, nous considèrerons les méthodes existantes de génération de mouvement pour l'Animation par Ordinateur - essentiellement basées sur une représentation continue de la matière- selon leur capacité à traiter le problème des interactions entre objets. Une deuxième partie est consacrée à la présentation du cadre général de développement de notre modèle d'interaction : un formalisme pour la modélisation structurelle discrète particulièrement orientée vers la représentation des interactions. La troisième partie sera consacrée à la description du modèle d'interaction avec frottement sec qui fait l'objet de ce papier. Enfin nous décrirons plusieurs simulations réalisées à l'aide du modeleur-simulateur Cordis-Anima.

I le problème de l'interaction dans l'Animation par Ordinateur

L'utilisation de modèles de génération de mouvement basé sur la mécanique newtonienne est aujourd'hui largement appliquée à la production d'images en mouvement par ordinateur. Le développement de ce type de modèles, rassemblés sous le terme générique de modèles physiques, a été essentiellement motivé par la volonté de produire automatiquement des séquences de mouvements réalistes.

I.1 Modèles Continus

La mécanique de l'ingénieur propose depuis à peu près un siècle des modèles numériques, basés sur une représentation continue de la matière, permettant de calculer explicitement les mouvements de certains objets en fonction des forces qui leur sont appliquées [Bam 81, Cia 85]. Durant ces dernières années, une grande part du travail des chercheurs en Animation par Ordinateur a consisté à appliquer et à adapter ces théories de la mécanique dans le contexte informatique.
Un des problèmes essentiel qui a surgit, outre celui de l'élargissement à des phénomènes non pris en compte par la théorie de départ ou du contrôle de l'effet désiré par l'animateur -qui ne seront pas traités ici-, est celui qui se cache derrière le mot 'interactions'. En effet les théories de la mécaniques précisent comment calculer un mouvement à partir de forces données, mais omettent la plupart du temps de préciser comment ces forces surgissent dans le système mécanique que l'on étudie.

Il existe aujourd'hui plusieurs méthodes permettant de calculer les forces d'interactions entre objets rigides. Cependant la distinction y est systématiquement faite entre les chocs, ou du moins les chocs instantanés (c.a.d. à grande vitesse) et les contacts prolongés lorsque ces derniers sont effectivement pris en compte [Hah 88, Dum 90, MW 88, Bar 89-91].
Si ces différentes méthodes ont permis la production de séquences d'animation d'objets rigides tout à fait satisfaisantes, elles sont généralement complètement impuissantes à traiter le cas des interactions entre objets déformables. En fait la mécanique analytique ne propose pas de méthodes pour décrire dans le cas général la situation de choc ou de contact entre deux objets déformables. Dans la littérature, seul le cas des chocs instantanés est parfois traité de manière relativement générale [MW 88, Gas 89], mais il s'agit plutôt la plupart du temps de techniques ad hoc [GTT 89, TPBF 87, PB 88].
Il semble donc que si les modèles continus permettent l'accés direct à une représentation des caractéristiques dynamiques de certaines classes d'objets, ils ne sont pas adaptés aux interactions entre objets, et à plus forte raison aux interactions complexes mettant en jeu des phénomènes subtiles relatifs aux états de surface par exemple.

I.2 Modèles discrets

Les modèles discrets correspondent à une approche radicalement opposée. Ainsi aucune représentation géométrique n'est prédéfinie pour l'objet. Il ne s'agit pas ici de superposer un modèle de mécanique analytique à un modèle géométrique pré-existant. Il n'existe que très peu d'applications de ce type de modèle pour l'animation par ordinateur. Elles sont choisies lorsqu'il est impossible de représenter le phénomène visé à l'aide de modèles continus et font l'objet de mise en oeuvre spécifiques à un contexte donné [TPF 89, Mil 88, CHP 89, VG 91]. Mais aucun de ces travaux ne pose le problème de l'intéraction entre objets de manière générale.

II Cordis-Anima : système modulaire pour l'animation par modèle physique

Les chercheurs de l'ACROE travaillent depuis une dizaine d'années à l'élaboration d'un formalisme général et de méthodes de calcul adaptés pour un modeleur-simulateur d'objets physiques [CLF 81-84, Luc 85, Luc 91.2]. Ce travail est motivé par l'élaboration d'un système complet pour l'animation et la synthèse musicale (cet aspect ne sera pas abordé ici, mais les deux applications relèvent d'une forte base conceptuelle commune) dont les caractéristiques principales peuvent se résumer au travers des deux paradigmes suivant:

• Modularité : le système doit permettre à l'opérateur de construire tous types d'objets et de scènes à partir d'un ensemble donné de composants (primitives physiques). Par là-même, tout sous-objet de ce système doit présenter les mêmes propriétés communicationnelles que l'objet lui-même.
• Expérimentabilité : le passage de la spécification du modèle aux algorithmes de simulation qui l'implémentent doit être aussi souple et rapide que possible, de manière à permettre à l'opérateur de réaliser à n'importe quelle étape de la modélisation de nombreuses simulations destinées au raffinement du modèle.

L'ensemble de ces pré-requis a orienté le choix de la représentation vers les modèles discrets, c'est à dire vers une discrétisation de la matière sous forme de points matériels et une représentation explicite des interactions entre ces points.

Tout objet est représenté, avec le formalisme Cordis-Anima, par un réseau discret formé de deux types seulement de composants qui sont l'idéalisation d'objets physiques simples: l'élément matériel (<MAT>), qui représente une masse ponctuelle (sans dimension), et l'élément de liaison (<LIA>) qui représente les intéractions entre masses ponctuelles (figure 1). Dans le cas le plus simple, l'élément de liaison représente un ressort ou un frein (qui ne possèdent pas d'inertie).

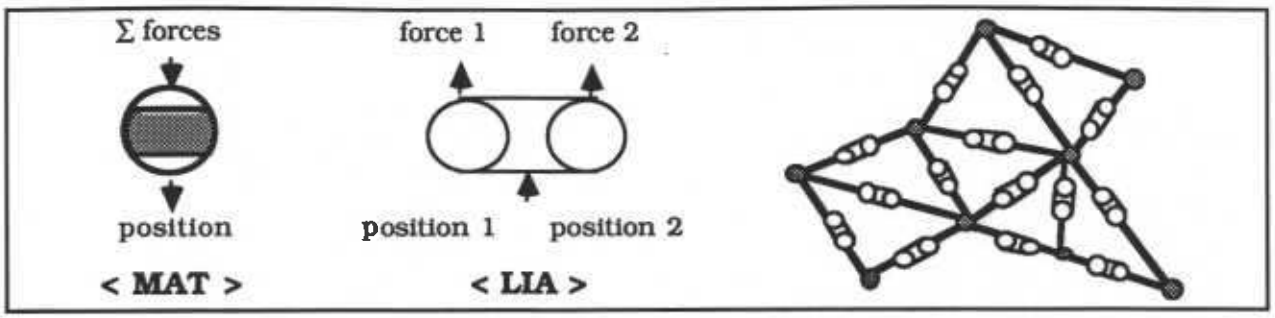

figure 1 : Formalisme général Cordis-Anima

Les éléments de liaison doivent permettre de représenter n'importe quel type de discontinuité, comme celle intervenant dans les chocs, et pour cela, assumer une deuxième fonction logique en plus de celle de relier les composants de masse. Cette deuxième fonction est d'effectuer la liaison selon une logique de transition d'états, avec ou sans mémoire, de façon à modifier le comportement du matériau en fonction des valeurs de certaines variables du système (figure 2).

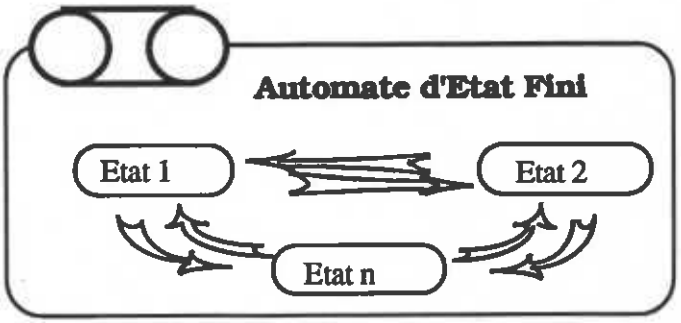

figure 2 : Gestion des comportements discontinus selon une logique d'états finis.

Le modèle que nous allons examiner dans le paragraphe suivant est basé sur ce mécanisme.

III Modèle d'intéraction intégrant le frottement de surface

III.1 Le point de vue de la Physique Classique

Ce modèle s'intéresse particulièrement à la prise en compte de ce que les spécialistes de l'étude des matériaux appelle l'état de surface. Lorsque deux morceaux de matière sont en contact, plusieurs type de phénomène sont possibles, mais tous soulèvent une même question : savoir ce qui se passe à la limite des deux objets (figure 4).

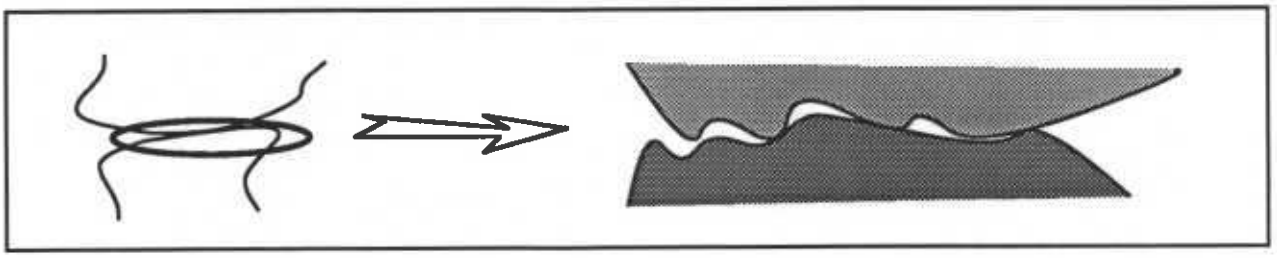

figure 3 : Etat microscopique des surfaces

Les phénomènes observables lors du contact des deux objets sont le résultat d'une multitude d'intéractions entre les différentes parties des surfaces en contact. La caractérisation de l'ensemble de ces interactions n'est aujourd'hui pas possible. Et c'est pourquoi l'ensemble de ces situations de contact ont été surtout caractérisés macroscopiquement, c'est à dire par un ensemble de lois expérimentales. La plus répandue de ces lois est connu sous le nom de modèle de Coulomb.
Ce modèle distingue deux états dans la situation de contact : un 'état cinétique', dans lequel les deux surfaces sont en mouvement l'une par rapport à l'autre, et un 'état statique' dans lequel elles sont immobiles, en état de collage. Ces deux états correspondent à deux coefficients de frottement respectivement notés : μc et μs.

III.2 Le modèle Algorithmique

Le modèle alogorithmique que nous avons développé à partir du modèle de Coulomb, et que nous appellerons modèle de frottement sec, fait suite à un travail sur les interactions de surface faisant intervenir des frottements visqueux [Jim 91].

Les objets en contact sont modélisés à partir d'agglomérats [jim 89, Luc 91.1]. Ils se présentent comme un ensemble de masses ponctuelles auxquelles sont associés des modules d'interaction visco-élastique qui définissent l'occupation spatiale, et qui sont reliées entre elles par des interactions de cohésion dans le cas d'objets plus ou moins cohésifs. L'agglomérat est un modèle de matière qui permet de générer des profils d'obstacles fixes aussi bien que des objets volumiques déformables. [JLL 91 & 92].(figure 4)

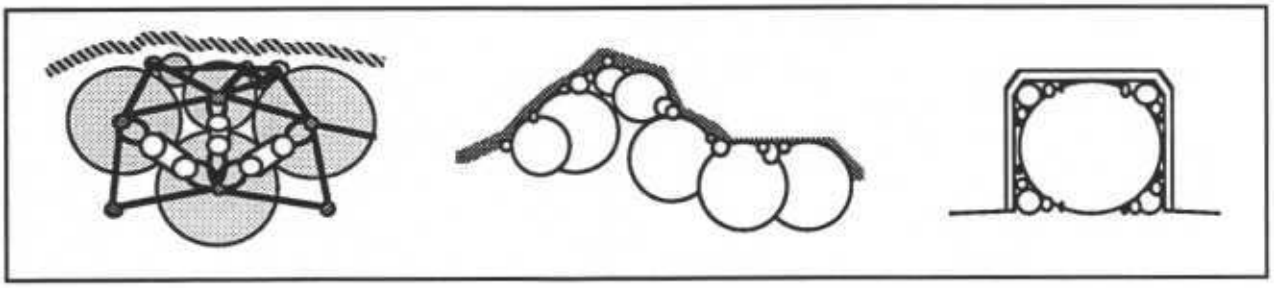

figure 4 : modèle d'agglomérat : corps mobiles et éléments de décor fixes

L'algorithme que nous avons développé gère à la fois les positions relatives des corps (libre et contact, qu'il s'agisse d'un choc ou d'un contact prolongé) et l'interaction dans le cas ou les corps ne sont pas libres. Il est donc composé d'un automate possédant trois états :

Etat Libre : les corps ne sont pas en contact, la force d'interaction est nulle.	**F = 0**
Etat de contact statique : les corps sont en contact avec une vitesse relative nulle (en pratique cette vitesse sera comparé à un seuil), la force est composée de la force de non-pénétration, et d'une force d'adhérence.	**F = Non-Pénétration + adhérence**
Etat de contact dynamique : les corps sont en contact avec une vitesse relative non nulle (c.a.d. V > seuil), la force est composée de la force de non-pénétration, et d'une force s'opposant au mouvement relatif des surfaces.	**F = Non-Pénétration + résistance au mouvement des surfaces**

L'automate gère la transition entre ces différents états à partir de tests sur les variables du système: distance entre les masses ponctuelles concernées, vitesse relative au niveau de la surface, intensité de la force de non pénétration. Il faut noter ici que l'aspect volumique de nos objets n'est du qu'à la butée visco-élastique qui leur est associée et qui définit un encombrement spatial. La *surface* de nos objets n'existe donc que comme frontière d'interaction et aucune masse ponctuelle n'y est présente. Il est donc nécessaire, afin de localiser l'interaction sur le lieu de cette surface, de disposer d'un point matériel là où intervient cette interaction. L'algorithme que nous avons développé génère à cet

effet un point matériel virtuel qui sert au calcul de la force d'adhérence dans le cas où l'automate passe dans l'état statique (cf § suivant).

III.3 Application : simulation de véhicules motorisés en progression sur des terrains variés

Cet algorithme nous a permis de réaliser la simulation des interactions entre les roues déformables d'un véhicule muni de moteurs et plusieurs terrains composés d'éléments fixes et mobiles. Le véhicule modélisé comporte quatre roues indépendantes dotées chacune d'un moteur, et un châssis articulé. Les roues sont légèrement déformables et composée d'un ensemble de masses sur leur périphérie (figure 5).

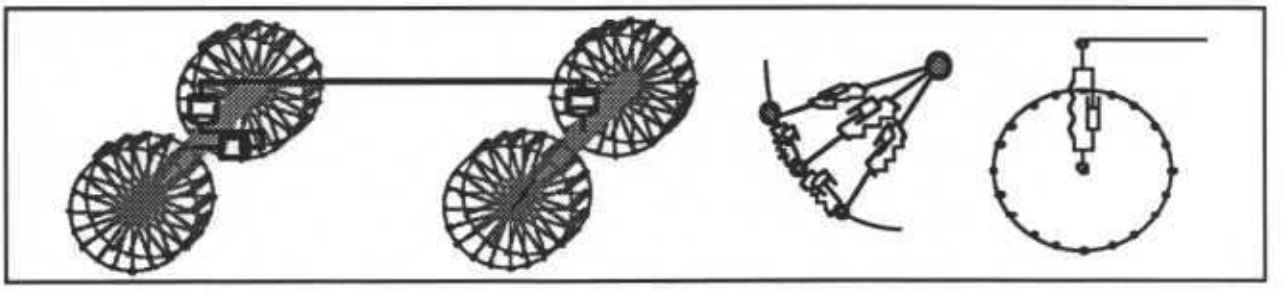

Figure 5 : schéma général de la structure du véhicule

La figure 6 illustre le principe de l'introduction d'un point physique virtuel qui correspond à une discrétisation adaptative de la surface du terrain.

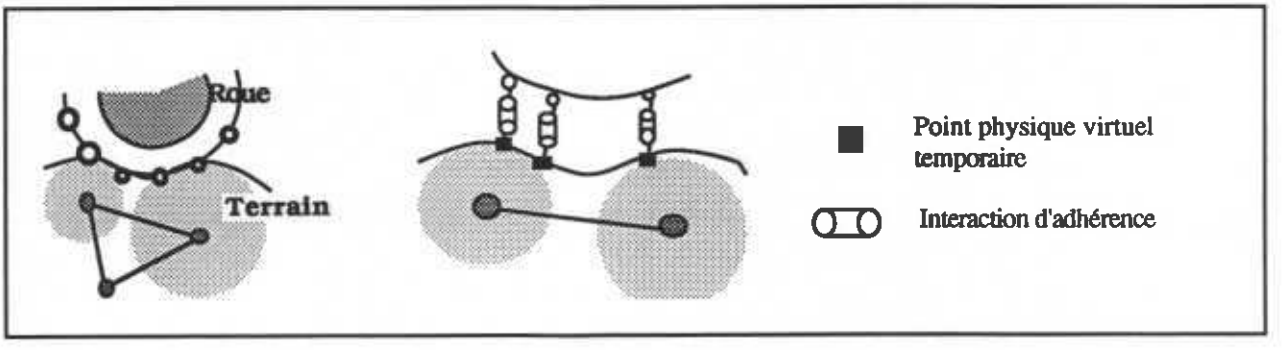

Figure 6 : Introduction d'un point physique virtuel

Nous avons obtenu des simulations particulièrement réalistes dans lesquelles on observe les patinages et les dérapages des roues dans les situations extrêmes : pente trop forte, devers trop prononcé ou accélération trop soudaine. Ce type de comportement n'est pas représentable si l'on ne prend pas en compte la partie statique du frottement d'adhérence.

IV. Mise en oeuvre et Expérimentations

Le formalisme général pour l'animation par modèle physique discret décrit dans ce papier a été mis en oeuvre à travers un 'modeleur-simulateur' d'objets physiques: le système Cordis-Anima [Luc 91.2]. L'environnement informatique comprend un VAX 730, une station graphique Evans & Sutherland PS350, un processeur vectoriel FPS AP120, et des périphériques gestuels à rétroaction qui ont fait l'objet de publications antérieures [Cad 81, Cad 84]. Le haut débits de communication nécessaire entre le processeur de simulation (AP120), la station graphique et les transducteurs gestuels est assuré grâce à plusieurs processeur dédiés. Le système complet permet de réaliser des simulations en temps réel et une communication multi-modale entre l'utilisateur et l'univers simulé.

IV.1 Simulation 2D de divers terrains déformables

Nous avons utilisé pour ces simulations une version bi-dimensionnelle du véhicule représenté figure 5. Cette version est réduite à un châssis quasi-rigide sur lequel sont montées deux roues motrices. Les roues sont formées d'un ensemble de masse ponctuelles réparties sur leur pourtour et connectées entre elles et à l'essieu par des liaisons visco-élatiques. Ces roues pouvant être légèrement déformables, des contacts multi-pontuels avec le sol peuvent être observés. Nous avons réalisé plusieurs expérimentations avec des terrains à profils complexes formés d'un sol plan recouvert de blocs quasi-rigides fixes ou mobiles. Le cas extrême correspond à des sols non-cohésifs qui sont alors caractérisés par des paramètres tel que compacité, frottement interne résistance au cisaillement ou par des lois reliant pression et enfoncement.

Selon le formalisme Cordis-Anima, ces modèles de sols sont constitués de plusieurs couches, chacune correspondant à un réseau discret de masses ponctuelles. La nature de chacune des différentes couches est caractérisée par les modules liaisons connectant les masses ponctuelles dont elles sont formées. Les interactions portées par ces modules définissent les comportements non-linéaires associés au contour de chaque 'grain' -comme les frottements internes- et gèrent les modifications structurelles correspondant aux déformations plastiques par exemple [Luc 91.1]. Ces différentes couches peuvent ensuite être combinées entre elles de manière à restituer le comportement du terrains complet : déformations profondes, cisaillement de la couche superficielle et interaction de surface.

IV.2 Contrôle du mouvement pour le véhicule à quatre roues motrices

Comme nous l'avons déjà précisé, le véhicule simulé possèdent quatres roues motrices indépendantes et une articulation anti-rouli sur l'axe avant. Cette structure articulée permet de maintenir constamment un nombre suffisant de point de contact avec le sol lors du franchissement des obstacles naturels (rochers, buttes et vallons). La structure mécanique articulée modifie naturellement sa configuration sous l'effet conjugué de la gravité et des forces de réaction entre le sol et les roues. Les deux arbres du véhicule sont articulés dans le plan du châssis (il n'y a pas de cardans), ce qui permet en appliquant des consignes de vitesses différentes sur chaque roue de suivre la trajectoire voulue. Mais la contrepartie de cette grande manoeuvrabilité est la complexité des lois de commande à appliquer au système de locomotion. Dans les expérimentations réalisées, nous avons appliqué de simples consignes de vitesse constante en couplant la paire de moteur de chaque essieu, tandis que les articulations dans le plan du châssis étaient bloquées. Il s'agit en fait du contrôle minimum permettant au véhicule de progresser dans une direction donnée lorsqu'il empreinte une trajectoire imposant le franchissement d'obstacles.

Note finale et Remerciements

Des documents photographiques et vidéos sont disponibles au laboratoire de l'ACROE pour chacune des expérimentations réalisées.

Les recherches menées à l'ACROE sont principalement soutenues par le Ministère de l'Education et de la Culture. Le travail présenté dans ce papier à été en partie financé par le CNES (Centre National de Etudes Spatiales) au travers du projet RISP. Il a également été soutenu par la région Rhône Alpes au travers du projet robotique IMAG/INRIA SHARP.

Bibliographie

[Bam 81] Y. Bamberger - Mécaniques de l'ingénieur, T1 & 2 - ed. Hermann 1981

[Cia 85] P.G. Ciarlet - Elasticité Tridimensionnelle - Masson 1985

[Dum 90] G. DUMONT - "Animation de scènes tri-dimensionnelles : la mécanique des solides comme modèle de synthèse du mouvement" - PhD thesis, Rennes I, mai 90.September 90.

[Hah 88] J. K. HAHN - " Realistic animation of rigid body" - Proceedings SIGGRAPH 1988

[MW 88] M. MOORE, J. WILHELMS - "Collision detection and response for computer animation" - Proceedings SIGGRAPH 1988

[Bar 89] D. BARAFF - "Analytical methods for Dynamic Simulation of Non-Penetrating Objects" - Proceedings SIGGRAPH'89

[Bar 91] D. BARAFF - "Coping With Friction for Non-penetrating Rigid Body Simulation" - Proceedings SIGGRAPH'91

[TPBF87] D. TERZOPOULOS, J PLATT, A. BARR, and K. FLEISCHER - "Elastically Deformable Models" - Proceedings SIGGRAPH' 1987, p. 204-214.

[Mil 88] G. MILLER - "The motion dynamics of snakes and worms" - Proceedings SIGGRAPH 1988

[TPBF89] D. TERZOPOULOS, J PLATT and K. FLEISCHER - "Heating and melting deformable models (from goop to glop)." - In Graphics Interface' 89, p. 219-226, june 89.

[PB 88] J.C. PLATT, A.H. BARR - "Constraint methods for flexible models" - Proceedings SIGGRAPH 1988

[Gas 89] M.P. GASCUEL - OSEA - "Un nouveau modèle de matière pour traiter les collisions entre objets déformables" - Pixim 89.

[GTT 89] J.P. Gourret, N. Magnenat Thalman & D. Thalman - "The use of finite element theory for simulating object and human body déformation contact" - Eurographics'89, sept. 1989.

[VG 91] L. Velho & J.M. Gomes - A Dynamics Simulation Environment for Implicit Objects using Discrete Models - EG'91 WorkShop Proceedings.

[CHP 89] J.E. Chadwick, D.R. Haumann & E. parent - "layered construction for deformable animated character - Proceedings SIGGRAPH'89

[Cad 81] C. CADOZ, J.L. FLORENS, A. LUCIANI - "... Transducteurs gestuels retroactifs" - Revue d'acoustique - N°59 - 1981

[Cad 84] C. CADOZ, A. LUCIANI, J.L. FLORENS -"Responsive input devices and sound synthesis by simulation of instrumental mechanisms : the Cordis system" - Computer Music Journal - N°3 - 1984- reprint in "Music Machine" - MIT Press

[Luc 85] A. LUCIANI - " Un outil informatique d'images animées - modèle d'objets, langage, contrôle gestuel en temps réel" - Thèse Doctorat Informatique - INP - Grenoble - 1985

[Luc 91.1] A. LUCIANI & al. - "An unified view of multitude behaviour, flexibility, plasticity and fractures ..." - IFIP WG 5.10, April 1991 - Modeling in Computer Graphics - Springer Verlag 1991.

[Jim 91] S. JIMENEZ and al. - "Physical simulation of land vehicles with obstacle avoidance and various terrain interactions." - EG'91 Workshop, sept. 1991.

[Luc 91.2] A. LUCIANI and al. - "Computational Physics : A modeler - simulator for animated physical objects." - Eurographics'91, sept. 1991.

[JLL 91] S. JIMENEZ, A. LUCIANI, Ch. LAUGIER - "Physical modeling as an help for planning the motions of a land vehicle", IROS'91, Osaka-Japan, November 1991.

[JLL 92] S. JIMENEZ, A. LUCIANI, Ch. LAUGIER - "Teleprogramming the motions of a planetary robot using physical models and dynamic simulation tools", IROS'92, Raleigh-USA, july 1992.