Synthèse du mouvement visuel : quels modèles pour l'animation ? Quels modèles physiques ? Quels algorithmes pour la représentation physique ? Quelles machines ?

Annie Luciani

▶ **To cite this version:**

Annie Luciani. Synthèse du mouvement visuel : quels modèles pour l'animation ? Quels modèles physiques ? Quels algorithmes pour la représentation physique ? Quelles machines ?. Colloque Modèles physiques, 1990, Grenoble, France. pp.647-660. hal-01022681

HAL Id: hal-01022681
https://hal.science/hal-01022681

Submitted on 10 Jul 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.

SYNTHÈSE DU MOUVEMENT VISUEL : Quels modèles pour l'animation ? Quels modèles physiques ? Quels algorithmes pour la représentation physique ? Quelles machines ?

A. LUCIANI
ACROE - LIFIA
INPG - 46 av. Félix Viallet - 38000 Grenoble - France

RÉSUMÉ

La physique, tant dans ses principes que dans l'ensemble de ses rubriques, ne propose pas un système de représentation mais plusieurs.
Entre une vision newtonienne et une vision de l'univers en termes de mouvements, entre la sommation particulaire et l'intégration infinitésimale, entre l'objet comme invariant et l'interaction ; autant d'hypothèses différentes, souvent difficiles à expliciter, entre lesquelles il nous faut pourtant bien choisir; surtout lorsque l'objectif n'est pas uniquement celui d'expliquer ou de faire au cas par cas, mais plutôt de trouver des bases d'un système de représentation.

Dans l'image par ordinateur, les hypothèses sur ces principes sont rarement clairement formulées. La conséquence la plus évidente, à côté de celle qui est qu'on ne sait pas toujours évaluer le domaine d'expressivité des modèles implantés, est qu'il apparaît un hiatus entre le niveau conceptuel, celui où les modèles et les calculs sont définis formellement, et celui de l'algorithmique, dans lequel le moyen de représentation impose ses lois, (telles que par exemple avec l'ordinateur les nécessaires discrétisations structurelles, temporelles et spatiales) dont il est significatif qu'elles conduisent à ce qui est appelé "approximation numérique".

Or si la modélisation est précisemment cet outil de connaissance oeuvrant par projection d'un observable sur un système de représentation, plus généralement d'un système de représentation sur un autre, et puisqu'un système de représentation a comme support un matériau nécessairement particulier, alors les lois imposées par ce matériau sont partie intégrante du modèle lui-même. Dans notre cas, celui-ci sera le matériau numérique tel qu'il se présente dans l'opération de simulation.

Nous illustrerons, au cas par cas, sur quelques études de travaux en image animée par ordinateur, certains choix de représentation effectués: (i) Physique du point vs physique du solide; (ii) formalisme newtonien vs formalisme analytique ; (iii) approche géométrique vs approche physique; (iv) modularité vs globalité; (v) coloration statique vs coloration dynamique; et partiellement quelques-unes de leurs conséquences.

Nous poserons et justifierons, en ce qui nous concerne, les choix fondamentaux qui structurent notre système de représentation - le Système CORDIS - ANIMA: (i) physique du point; (ii) représentation centrée interactions; (iii) relativité de l'objet individué; (iv) rapport d'implication entre modularité conceptuelle et modularité algorithmique. Nous montrerons qu'ils définissent une "Machine Physique Abstraite", spécification formelle d'une "machine physique réelle".

Nous terminerons par des illustrations visuelles réalisées avec la maquette actuelle du système Cordis - Anima, dans laquelle ce formalisme a été implémenté de manière spécifique sur un équipement informatique particulier dédié à cet usage.

ABSTRACT

Physics, in both its principles as in the entire set of its many chapters, does not propose one system of representation, but several.
Between a Newtonian vision and a conception of the universe in terms of movement spaces, between particule aggregation and the integration of an infinitesimal solid, between the object as invariant or the interaction, all these are so many different hypotheses, and they are often difficult to make explicit. Nevertheless, we have no choice but to choose, especially when the objective is not only to explain, or to support an isolated case, but rather to lay the foundations to a representation system.

In the computer image, the hypotheses built from these principles are not always clearly formulated. The most obvious consequence, next to the fact that we do not always know how to evaluate the expressivity field of the implanted models, is that a hiatus appears between the conceptual level, where the models and calculus are formally defined, and the algorithm, in which the means of representation imposes its laws, (such as, for example, the structural, temporal, and spatial discretisations required by the computer) : it is moreover noteworthy that this leads to what is called a "numeric approximation".

However, if modelisation is precisely this knowledge tool working by projection of an observable entity onto and towards a system of representation, or more generally of one representation system onto another, then the laws imposed by the representation system are an integral part of the model itself. In our case, this means the numeric material as it appears in the modelisation operation.

We shall illustrate the different representation choices by various research work in computer animated images. This is necessarily on specific cases and includes instances where choices have been sometimes implicitly made. For example :
(1) Point physics versus solids physics ;
(2) Newtonian formalism versus a physical approach
(3) Modularity versus globality
(4) static tendancy versus dynamic tendancy
We also intend to partially point to some of the resulting consequences.

We will also establish and justify the fundamental choices that structure our representation system - the CORDIS - ANIMA system : (i) point physics (ii) an interaction-centred representation (iii) the relativity of the individuated object (iv) the implication relation between conceptual modularity and algorithmic modularity. Furthermore, we will show that they define an "Abstract Physical Machine", hence a formal specification of a "real physical machine".

To conclude, we will display some visual illustrations produced by the present prototype of the CORDIS-ANIMA system where this formalism has been specifically implanted into a particular and dedicated computer architecture.

I - L'ANIMATION, ART INSTRUMENTAL ET ART DU TEMPS

- Mon premier objectif est de vous montrer en quoi les problèmes et les questions qui se posent en animation d'images sont très proches de celles, qui se posent ici, ce qui n'est pas si évident si l'on regarde l'animation par ordinateur actuellement car les travaux effectués dans ce domaine qui font appel à la modélisation physique ne sont pas aussi anciens que ceux en Acoustique ou en Informatique musicale.

- Mon deuxième objectif est d'énoncer et de justifier des principes de modélisation de l'univers physique tels qu'ils permettent la spécification formelle de ce qui pouvait être une machine informatique réelle pour la simulation physique.

- Tout d'abord le lien pour nous entre musique et image animée. Il n'est pas fortuit, il est fondamental. Ce sont tous deux des arts du temps. Tous deux réclament pour leur production un média de communication spécifique, un instrument. Ce sont des arts Instrumentaux du temps.

- Fondamentalement, nous voulons considérer l'animation, seulement selon ces deux axiomes, je veux dire par là indépendamment de toute école ou technique particulière, en tant qu'art du temps et art instrumental.

- Cela n'est pas la conception la plus répandue de l'animation. Cette dernière est souvent réduite à dessin animé, technique dans laquelle un animateur produit manuellement les dessins représentant les différents états d'un système dans le temps, et dans laquelle c'est la caméra qui reliant tous ces échantillons restitue le mouvement.

- Si l'on adopte ce point de vue, la question se pose alors souvent de Pourquoi les Modèles Physiques ?
Même dans cette technique, qui n'est pas la seule, mais que semble la plus lointaine de l'idée de simulation et de simulation physique, on peut répondre à cette question.

En effet, si l'on observe non pas de processus de réalisation - "le fait de faire N dessins" - mais le processus de création - "comment et quels sont les dessins qui ont été produits" - on s'aperçoit que ce processus n'est pas étranger à une connaissance physique - l'inertie est connue, représentée - la loi d'action / réaction aussi.
Tout ce passe comme si l'animateur avait et utilisait une connaissance des phénomènes physiques régissant les déplacements et les déformations ; comme s'il effectuait une sorte de simulation physique mentale "sous telle action le système réagit comme cela". Il possèderait alors mentalement la notion d'objet physique, d'action physique et de simulation physique. Il aurait de plus la capacité, remarquable, de mettre sous forme de dessins, certains états-clés caractéristiques de cette simulation. La prise en compte des aspects cognitifs de ce type relève, indéniablement de la problématique de la Modélisation Physique (figure 1).

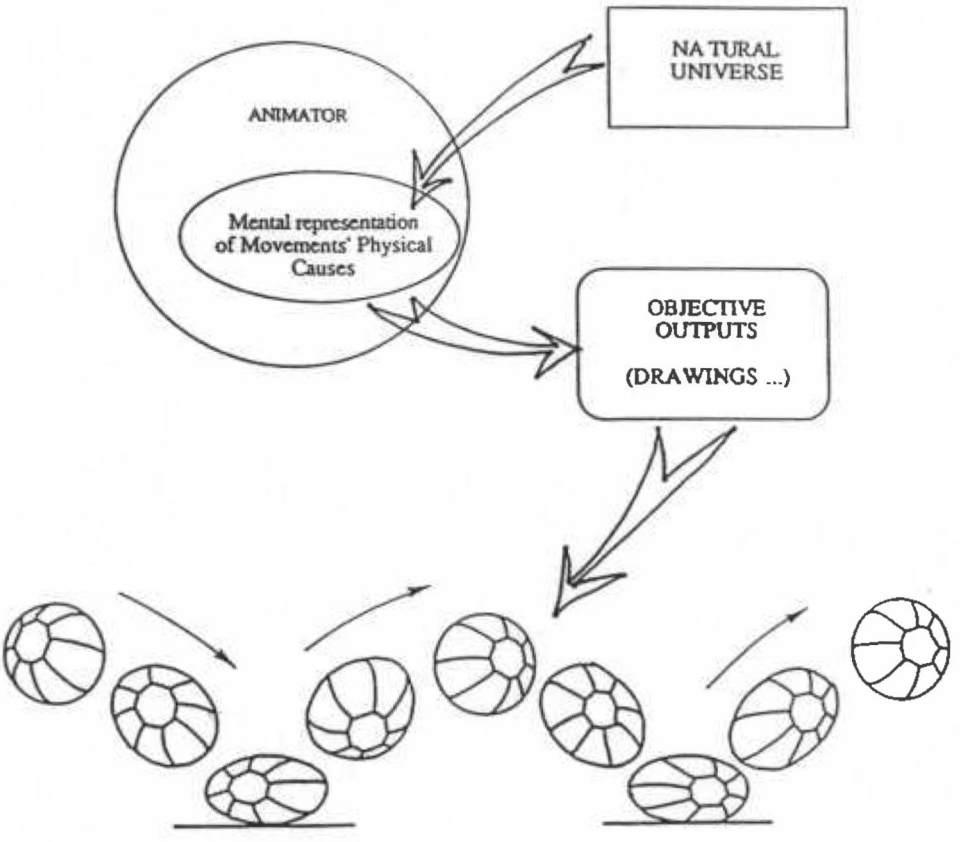


Figure 1

Representation mentale de l'univers physique et production de dessins animés

Côté animation par ordinateur, la synthèse d'images s'est d'abord intéressée à l'image statique et a développé des modèles géométriques d'objets et du rendu visuel réaliste. L'animation par Modèle physique a commencé à apparaître en 1986-1987. En ce qui nous concerne, comme pour la musique, ils sont à la base de nos concepts et de nos procédés, dès 1976-1978...

Le trajet historique pour l'image et l'animation par ordinateur a été grossièrement le suivant: l'image se voit. Ce qui se voit a à voir avec la localisation spatiale. D'où la première étape qui est une étape de modélisation géométrique avec lignes, surfaces et volumes. Puis une deuxième étape dans laquelle ces objets puis les objets se sont déplacés.

Là ont eu lieu successivement trois évolutions :

- d'abord, la fabrication du mouvement par trajectoires graduées en temps,

- puis plus récemment, l'extension des modèles géométriques par des modèles de type "solides rigides articulés".

- Enfin, on s'est intéressé à leur déformation et on a fait appel à la physique du solide déformable.

Aujourd'hui, alors que l'animation par simulation de modèles physiques a 4 ou 5 ans et qu'elle a fait ses premiers pas selon ces 3 étapes, elle arrive à une limite.

La physique du solide rigide a des difficultés pour représenter les interactions entre objets. Or l'interaction la plus simple et la plus courante, la collision, ainis que les grandes déformations est fréquente dans les scènes visuelles dynamiques est mal peu traitée par la physique du solide. De même la physique du solide déformable a des difficultés avec les grandes déformations qui sont pourtant ls plus fréquentes dans notre application. Vous savez tous que la théorie de l'élasticité par exemple fait l'hypothèse d'homogénéité, d'isotropie et de répartition régulières des forces extérieures. Ce ne sont pas des hypotnhèses acceptables pour l'animation lorqu'il s'agit d'animer une balle en mousse ou un morceau de pâte à modeler.

Parmi les travaux les plus significatifs de 87 à ce jour, citons les algorithmes de déformations élastiques (REF) et le traitement des collisions (REF). Les déformations portent sur des blocs de matière homogène

Les collisions, qui sont le grand et le seul cas d'interactions traitées ajourd'hui, sont traitées de manière mi-géométrique, mi-physique, mi-statique, mi-dynamique. On s'y prend ainsi :

Côté modèle
Les positions d'objets sont calculées indépendamment. On regarde à chaque instant s'ils s'intersectent. Le cas échéant, on calcule le point d'impact possible avec l'intersetion. On revient quelques échantillons en arrière. On suppose le choc ponctuel et impulsionnel. On relie vitesse incidente et vitesse réfléchie par un coefficient de transmission. Quand à la direction des mouvements après le choc, si le choc est élastique, on prend une direction de force perpendiculaire à l'une des surfaces (en réalité, on ne traite bien que le cas de la collision point / surface). S'il y a du frottement, ou utilise la relation empirique de Coulomb entre forces tangentielles et forces normales.
On part donc de quelque chose que l'on voulait tout de suite complexe : l'objet volumique et l'on aboutit à des interactions extrèmement limitatives : contact ponctuel, non déformabilité des objets pendant la collision, etc.

Côté simulation
- Les calculs sont extrèment lourds : on calcule à chaque instant toutes les intersections géométriques entre tous les objets
- Compte tenu de la méthode de détection du point de contact avec retour arrière, c'est une formalisation exclusivement temps différé.

Ceci dit, cela a donné des images extrêmement saisissantes, qui ont provoqué la naissance d'un intérêt important pour le domaine.

N'ayant, en ce qui nous concerne, aucune attache plus particulière avec la modélisation géométrique, mais en ayant beaucoup avec les systèmes dynamiques dont on parle ici, nous n'avons pas fait ces choix. Nous avons explicitement opté pour la représentation physique Newtonienne de l'univers naturel contrairement à la représentation physique intégrale, c'est-à-dire nous avons explicitement opté pour la physique du point par opposition à la physique du solide.
Et je vais montrer que nous avons là les clès pour une machine générale, Image ou sous et même gestes, pour la simulation physique et la commande instrumentale.

Pour cela, je vais tenter d'apporter les justifications de nos réponses aux deux questions fondamentales ?

II - QUELS ALGORITHMES POUR CETTE PHYSIQUE ? QUELLE PHYSIQUE POUR LA SYNTHÈSE DU MOUVEMENT ?

Physique du point ou principe de moindre action?

Si l'on se place un peu en dehors du champ des travaux en physique à objectif analytique, on est amené à s'aperçevoir qu'il y a deux visions dans la représentation physique de notre univers naturel, qui sont équivalentes quant à leur capacité de représentation, mais pourtant fondamentalement différentes (figure 2) :

- le formalisme Newtonien qui a défini, la notion de masse et celui associé de force
- le formalisme de Maupertius, qui a défini la notion d'action avec sa formulation intégrale.

Le premier définit le mouvement pas à pas, localement, au fur et à mesure de son écoulement temporel ; le second considère le mouvement dans la totalité de son exécution. Le premier définit une sorte de "physique "synthétique" ou "constructible". On empile des masselottes et on les fait se pousser par des forces.
Le second, moins imagé, est le vecteur de la mécanique analytique, ou simplectique, et a une vision de l'univers naturel en termes d'espaces de mouvement dont on cherche à définir la structure mathématique et géométriques.

Ayant dit cela comme nous venons de le dire, il semble évident que le premier, par ses aspects locaux et constructifs est plus adapté à la génération de modèles informatiques et à la simulation pas à pas. Voilà pourquoi nous l'avons explicitement choisi pour notre système de modélisation modulaire et de simulation temps réel.

Bien plus, nous raisonnerons donc toujours, non pas en termes de mouvement, mais en termes de petits éléments de matière mis en mouvement par des forces. Ceci évidemment au niveau de la spécification de modèles pour la simulation.

Masse ponctuelle ou solide infinitésimal

La deuxième ligne de démarcation dans le choix pour la simulation est dans le choix de l'élément minimal de matière : point ou solide infinitésimal (figure 3).
Avec le premier, on constitue un objet par agglomérage de particules, avec le second par intégration du solide infinitésimal.
L'animation par ordinateur, lorsqu'elle a introduit le modèle physique, a plutôt choisi le second. En tout cas au niveau des formalismes mathématiques, car, et ce n'est pas là un moindre paradoxe, au niveau algorithme, on passe en général à un ensemble d'équations aux différences calculant donne de manière implicite un modèle à masses localisées.

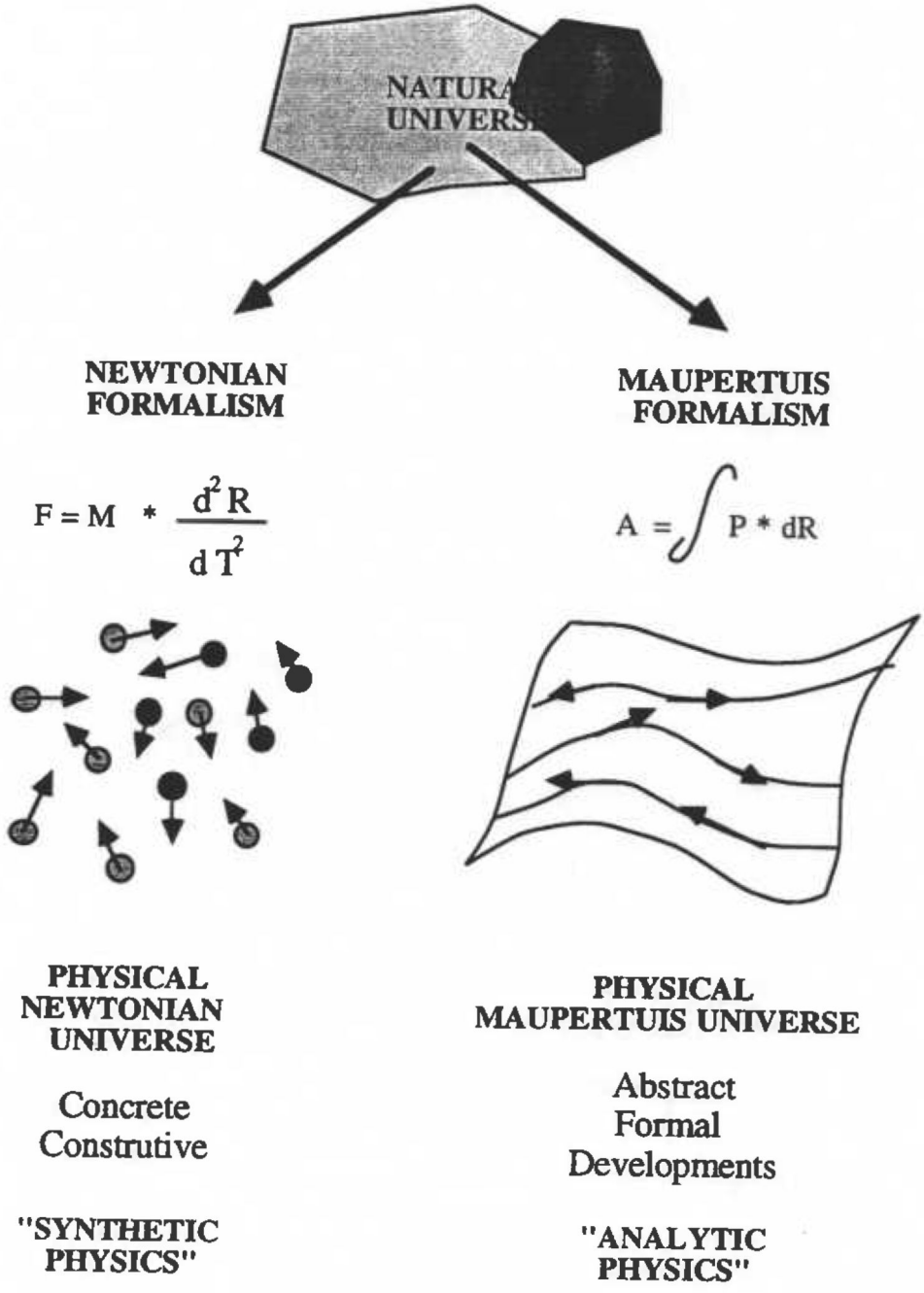


Figure 2

Newton vs Maupertuis

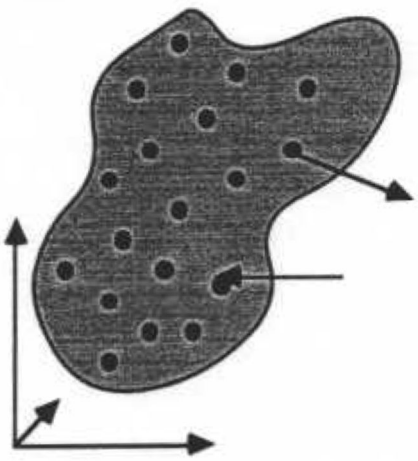
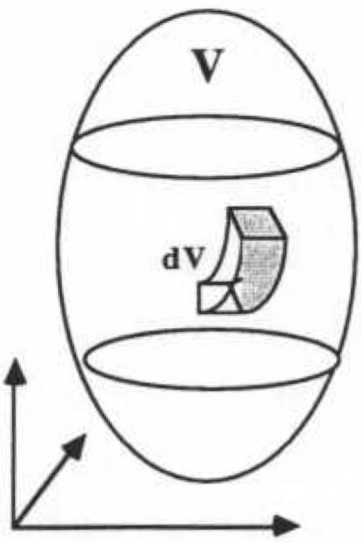
PUNCTUAL PHYSICS	SOLID PHYSICS
	
$\Sigma F = M * \Gamma$	$F = \int_V \Gamma \, dm$ $M = \int_V OM \wedge \Gamma \, dm$
Centered forces	Tensors
Heterogenous Objects	Only Homogeneous Objects
No Bundary Problems	Bundary Problems
Non linearities	Only Linear Systtems

Figure 3

Masse ponctuelle vs solide infinitésimal

L'intérêt de la physique du point est donc double :

* *Côté modèle*

- Puisque le point est intrinsèquement une frontière, la physique du point permet la modélisation d'objets homogènes ou non, au niveau microscopique ou macroscopique. Il n'y a pas de spécificité de comportements aux frontières. Il n'y a que des problèmes d'interaction.

- Pour les interactions linéaires, élasticités, ou viscosités fluides, les deux font l'affaire. Le premier est plus agréable : pas de tenseurs, uniquement des forces centrées et des sommations sur les points.

- Pour les interactions plus complexes, non linéarités, interactions aux frontières, grandes déformations, hétérogénéité et anésotropie,le primeir est réellement suel praticable.

* *Côté algorithmique*
La discrétisation est prise en charge dès le niveau modèle et la maîtrise des implications de cette discrétisation est rendu en partie plus explicite.

* *Côté calcul*

- Pour une fine granularité, le premier demande beaucoup de point, le deuxième demande toujours une intégration.

Finalement, dire physique du point, c'est dire système de représentation centré "interaction"

Nous avons ainsi pu réalisé avec le même formalisme des interactions de type gravité, élasticité, viscosité, mais aussi des interactions moins fortes permettant aux objets de se briser et de se recoller.

L'une des caractéristique de ce type d'approche est sa consistance au changement d'échelle. Il ne faut pas nécessairement plus de points pour des objets gros que pour des objets petits. le point matériel est une abstraction fonctionnelle. Il permet de pratiquer le changement d'échelle et la discrétisation relative.

L'interaction de collision entre deux objets rigides sphériques
Il suffit de deux masses reliées par une loi visco-élastique à seuil

L'interaction de collision entre deux objets rigides de forme quelconque
Il faut modéliser chaque objets par un ensemble de masses reliées par des visco-élasticités à seuil. Le nombre de masses dépend de la band passante spatiale de la forme du contour de l'objet. En général, pour les formes macroscopiques naturelles, elle est assez faible (de l'ordre de 5 pour un objet de taille centimètrique). Elle est beaucoup plus importante pour les objets manufacturés.

L'interaction de frottement sec entre deux surfaces rugueuses
En description explicite de la physique du point, un frottement sec est provoqué par les irrégularités des surfaces. Il faut donc les modéliser par autant d'ensembles de masselotes. Il y en a un assez grand nombre, mais d'autant moins important que la surface est plus rugueuse. Il sera donc plu facile de modéliser des états de surface naturels que des états de surfaces manufacturés.

Rigidité / déformabilité
En modélisation géométrique, les objets sont à 100% rigides.
En physique du point, les fonctions de rigidité / déformabilité sont des notions relatives. En fait tout objet est déformable et la rigidité est une limite d'observation de la déformabilité. Ceci est simple, mais ce n'est pas la définition choisie par la physique du solide.
Or, cette dernière est à fondement géométrique qui apparaît dès l'introduction de la notion de liaisons parfaites par Lagrange et d'espace de configurations. Une liaison parfaite est une manière de réduire le nombre de degrés de liberté d'un système de points en tenant compte de ses propriétés de rigidité et en les décrivat géométriquement. Par exemple, on écrivant que tel point sera toujours à distance constante de tel autre, on sait que son espace de configuration sera alors une sphère et qu'il suffit de ne considérer l'écriture des lois de mouvements sur cet espace réduit (on parle de coordonnées généralisées.
Elle conduit de plus à une formalisation impulsionnelle des chocs, qui est une manière très spécifique de représenter ceux-ci et qui plus est, n'est pas généralisable aux autres types d'interactions.

La notion d'objet
La notion d'objet est une notion relative. Un objet n'existe que si les forces de cohésions sont supérieures aux forces extérieurs qui s'exercent sur lui. C'est le point de vue que l'on a adopté - et l'on aboutit à l'idée que la notion de localité de la matière physique ne s'identifie pas à celle de la localité de l'objet visible, voir perceptible les modèles géométriques et les modèles physiques ne se raconvrent pas l'espace - la masse n'est une entité qui n'est perceptible que par ses effets sur d'autres objets.

Activité de modélisation
Mais alors comment construire un modèle physique de cet univers que l'on a là devant nous. Dans ce que je viens de dire, il y a le principe d'une nécessaire activité de modélisation, je veux dire par là que le passage au modèle ne semble pas pouvoir être automatique. La chose la plus forte qui s'oppose précisemment à la possibilité de produire un modèle physique

automatiquement est cette capacité de changement d'échelle. On prend des masses, on les assemble par interactions. On obtient un matériau. On prend des masses ou des matériaux, on les assemble de même par les mêmes interactions. On obtient un matériau, un objet ou une scène structurée.
Dit autrement, la modélisation physique nécessite une connaissance abstraite de l'observation phénoménologique. S'il l'on peut plus aisémment définir une chaîne analyse - synthèse des phénomènes, il ne peut pas y avoir de chaine automatique d'analyse - synthèse de la connaissance.

III - QUELS ALGORITHMES POUR CETTE PHYSIQUE ?

Au niveau conceptuel, le modèle informatique (figure 4) de tels modèles de systèmes dynamiques a la forme d'un réseau composé de deux types de blocs : matière localisée et interactions. Si l'on se rappelle que par le choix du formalisme "physique du point", les forces (les interactions se somment sur les points matériels), on voit qu'on peut définir des interactions complexes en mettant des interactions en parallèle et qu'alors la base d'interactions peut être assez petite.

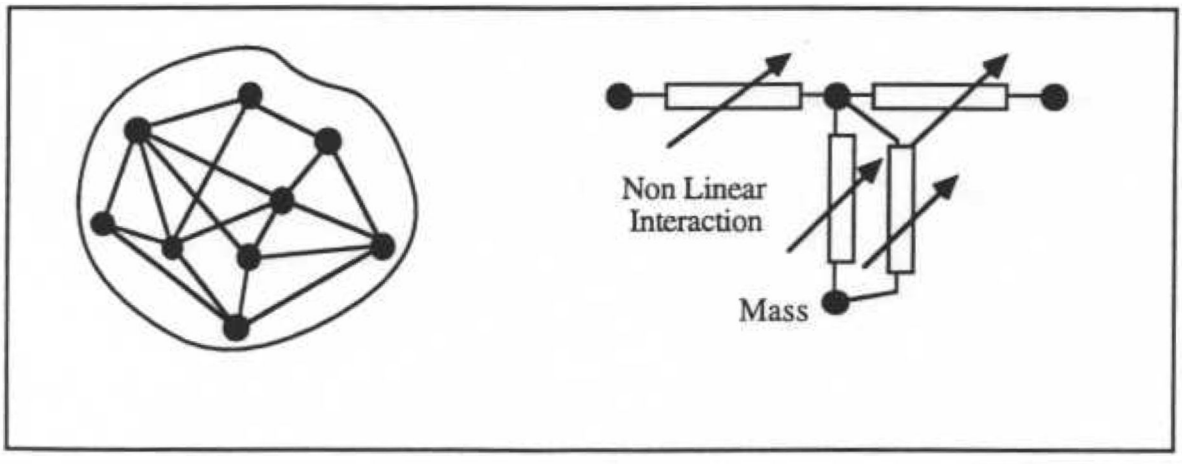


Figure 4

Modèle structurel général

Par exemple, lorsque les non linéarités ne portent que sur une seule variable, on peut représenter la fonction d'interaction par une fonction simple entrée / sortie, linéaire par morceaux et compte tenu de la parallélisation permise par le formalisme, 2 ou 3 morceaux suffisent pour décrire des interactions complexes de ce type (figure 5).

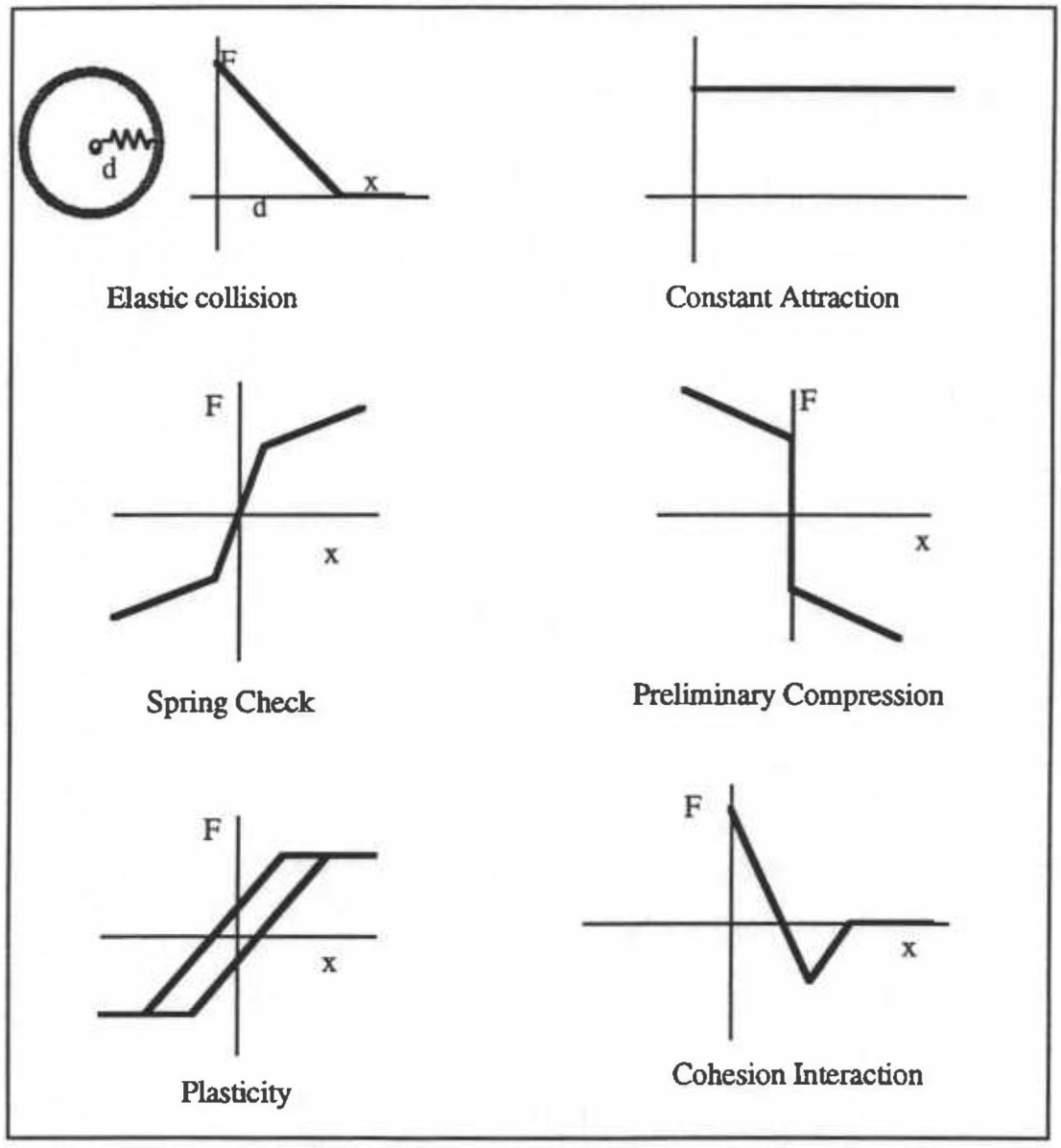
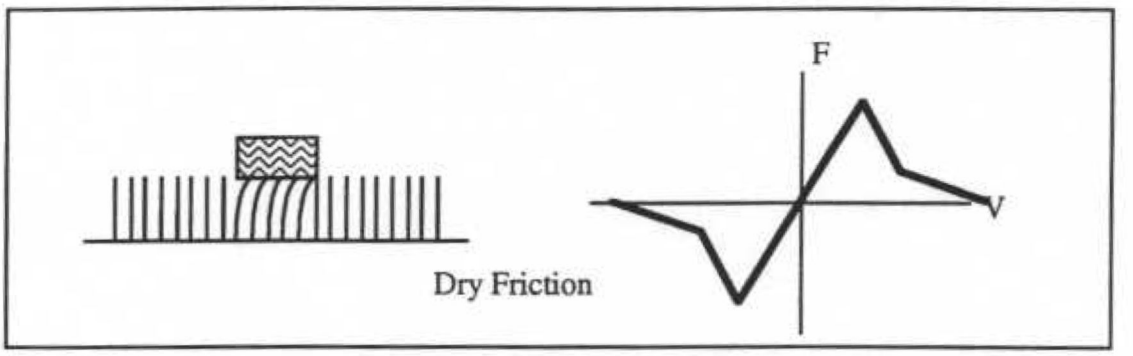


Figure 5

Interactions conditionnelles univariables

Dans le cas d'interactions plus complexes (figure 6) dans lesquelles les non linéarités portent sur plusieurs variables, vitesse - position par exemple, comme c'est le cas du frottement d'archet ou de l'interaction d'un véhicule avec un sol rugueux, alors, on peut représenter les interactions par un automate à états finis, toujours à temps implicite, avec des séquencements conditionnels sur les variables physiques. On peut aussi mettre ces modules en parallèle et représenter ainsi des interactions multivariables non linéaires. On a ainsi sous la main une algèbre des interactions et un langage pour spécification et leur simulation (figure 7).



Bowed String Interaction

$$F2 = -F1 = -K * (LR) - Z * (V1 - V2)$$

$$LR = L - LA$$

Figure 6

Interactions composites

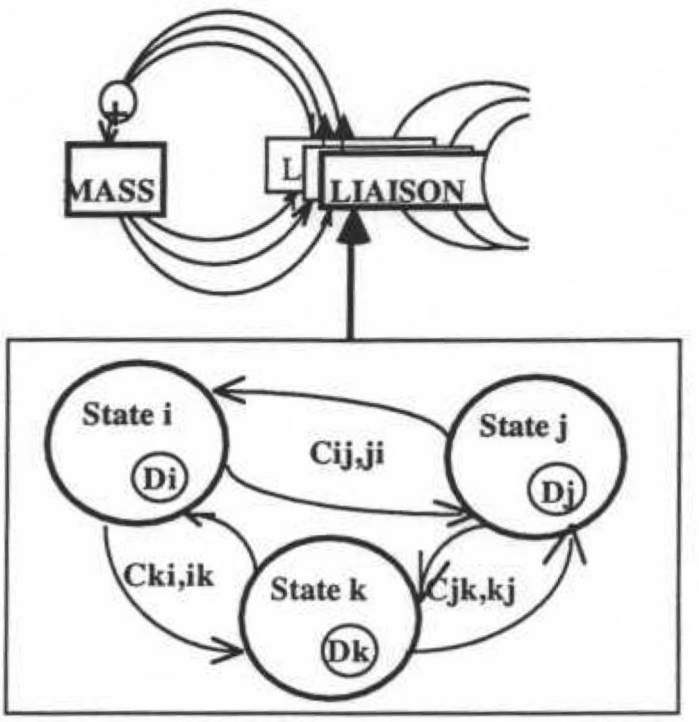


Figure 7

Interactions conditionnelles multivariables

Du point de vue informatique, nous avons donc 2 types de composants, chaque composant ayant un comportement dynamique élémentaire. Le réseau résultant est donc constitué de petites boîtes élémentaires interconnectées. Il va dans le sens des nouvelles machines informatiques actuelles.
De plus par encapsulation successive de ces composants, ce réseau se ramène à un système de deux blocs duaux (à mettre en analogie avec le fait que l'on traite des variables duales - extensive / intensive, circulante / localisée -).
A un pas de calcul, on produit les variables d'un type (ext. resp int.) à partir des variables de l'autre type (int. resp ext.), puis l'inverse et on effectue le transfert des variables.

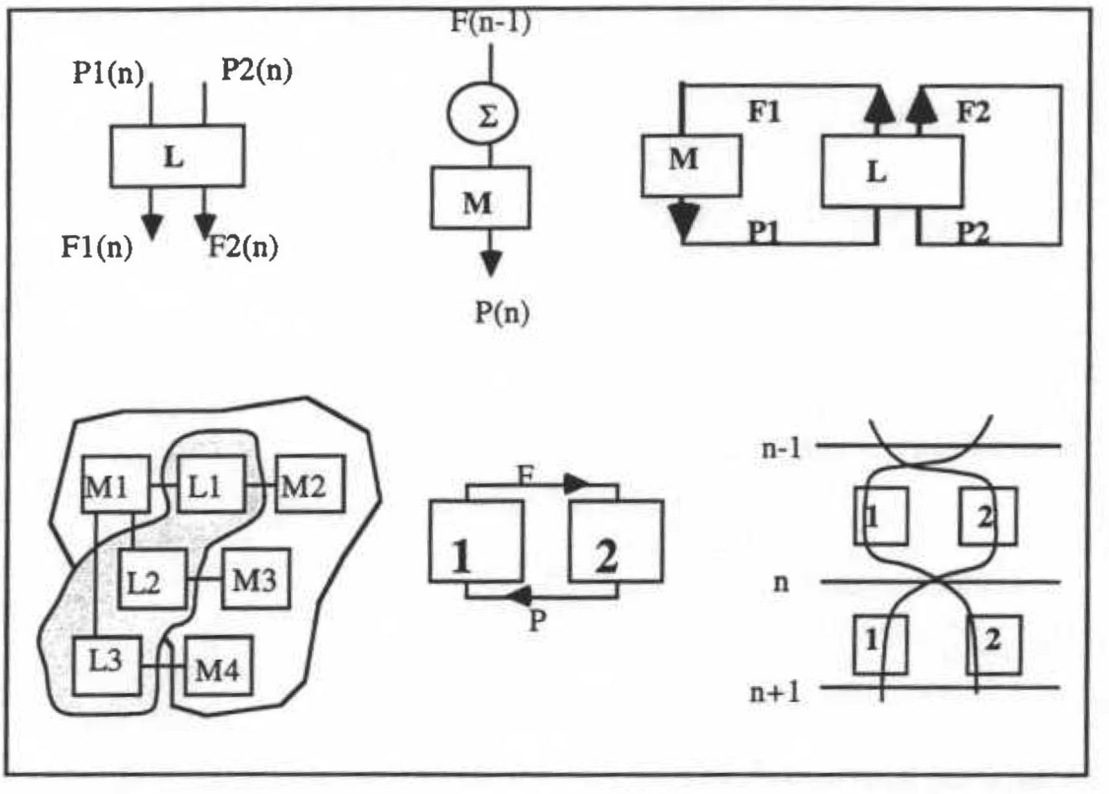


Figure 8

La machine informatique Cordis-Anima

On définit ainsi une sorte de machine systolique que peut s'avérer rendre bien des services dans d'autres domaines d'ailleurs que la simulation physique.