



**HAL**  
open science

## Modèles physiques d'objets constructibles, brisables, non réassemblables : briques et colles

Annie Luciani, Arnaud Godard

► **To cite this version:**

Annie Luciani, Arnaud Godard. Modèles physiques d'objets constructibles, brisables, non réassemblables : briques et colles. Deuxièmes journées de l'association française d'informatique graphique, IRIT, Nov 1994, Toulouse, France. pp.23-30. hal-00910587

**HAL Id: hal-00910587**

**<https://hal.science/hal-00910587>**

Submitted on 10 Sep 2015

**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.

**MODELES PHYSIQUES D'OBJETS  
CONSTRUCTIBLES, BRISABLES,  
NON RÉASSEMBLABLES :  
BRIQUES ET COLLES.**

**Exemple : murs, colonnes, fibres**

Annie LUCIANI, Arnaud GODARD

ACROE - LIFIA

INPG - 46, Avenue Félix Viallet

38031 GRENOBLE

FRANCE

Tél..(33) 76 57 46 69

: E-mail : luciani@lifia.imag.fr

**Résumé :**

*L'animation modélise aujourd'hui soit des objets rigides homogènes et non brisables, soit des objets déformables dont la déformation est visible. Pourtant l'utilisation d'objets brisables peut apporter beaucoup de richesses aux scènes d'animation. Ces objets sont formés par des blocs assemblés par des colles ou ciments. Nous proposons ici des exemples de blocs de construction et de ciments.*

**Mots clés :** *modèle et simulation physiques, objets brisables, animation.*

## 1. Objectifs et questions

L'animation modélise aujourd'hui soit des objets rigides homogènes et non brisables, soit des objets déformables dont la déformation est visible, comme par exemple des pâtes, des peaux, des fluides, des surfaces ou volumes élastiques (trampolines, ballons ...).

Il y a des objets usuels très nombreux qui ne relèvent pas de ces deux catégories. En fait tous les objets rigides usuels. C'est ce cas que nous traitons.

La plupart des objets rigides ont une structure d'apparence rigide et d'apparence homogène. Mais si l'on fait cette hypothèse, on ne peut pas restituer l'essentiel de leur comportement dynamique.

Par exemple:

1. Comment se brisent-ils : ils ne se brisent pas comme un fluide.
2. Pourquoi ne se réassemblent-ils pas alors qu'un fluide ou une pâte se réassemblent.

Ces deux propriétés s'obtiennent parce que :

1. les objets sont hétérogènes quant à leur structure physique : comme pierres ou des blocs assemblés par de la colle, du ciment ou tout autre liant, une pierre composée d'un assemblage de feuilles de mica, de cristaux de feldspath et de quartz, etc ...
2. Ils sont faussement rigides puisqu'ils peuvent être le siège de vibrations et de déformations à fréquence élevée et de faible amplitude. Ces déformations sont en elles-mêmes non visibles mais ce sont elles qui provoquent des ruptures, des effondrements, des instabilités d'arrangements, etc...
3. il y a non réversibilité des fractures et des séparations

Pour ces objets, pourtant très fréquents, les catégories de modèles développés jusqu'à aujourd'hui ne suffisent plus.

Il faut étudier :

- Des modèles physiques de ce que nous nommerons des blocs :

Nous appellerons blocs tout amas non ponctuel de forme quelconque homogène et non brisable à l'échelle concernée.

Nous pouvons donner ici la définition précise de la rigidité physique : Est rigide tout objet dont la variable extensive fluctue peu à l'échelle concernée sous l'effet de la modification de la variable intensive (on peut parler d'un matériau rigide mécaniquement ou électriquement, etc ...). Ce qui signifie par exemple que le matériau soumis à une force externe macroscopique en amplitude et se situant dans une certaine échelle fréquentielle aura soit des déformations négligeables à l'échelle concernée, soit à cause de leur amplitude, soit car elles sont en dehors de la zone fréquentielle considérée. Ainsi on considère comme rigide un corps solide qui produit un son (déformations symétriques de faible amplitude et à haute fréquence).

- Des procédures d'assemblages physiques de ces blocs (collage, prises, encastrement) pour en faire également des structures rigides au sens défini ci-dessus). Ces assemblages seront donc dynamiquement plus ou moins rigides et seront le siège de déformations microscopiques et de propagation. Ils pourront alors se déstabiliser et se rompre comme le font des structures rigides sous l'effet de tempêtes ou de tremblement de terre, sans prédétermination des lieux et natures des ruptures mais de manière physiquement correcte (par exemple, fracture de colonnes aux ventres de vibration lorsque ceux-ci se situent à proximité d'une zone de faiblesse).

- Ces procédures d'assemblages physiques doivent simuler la dissymétrie de la dynamique de la fracture. Deux phénomènes sous-jacents sont possibles :

- le changement de phase ou d'état comme par exemple la prise du ciment,
- l'accrochage macroscopique émergent obtenu par sommation de micro-accrochages simultanés et donc statistiquement improbable sans intervention humaine de construction.

## 2. Modèles de blocs

Les blocs de base doivent avoir comme propriétés d'être cohésifs, homogènes, et non brisables. Ils peuvent représenter des blocs manufacturés comme des briques. Plus généralement ils sont décrits comme étant les atomes de la constructions : lamelles de mica, cristaux, etc ...

Les modèles implantés s'inspirent de différentes structures cristallographiques : structure cubique à faces centrées, structures hexagonales compactes, structure du carbone C60, structure fibrée à base de tétraèdres réguliers ... ainsi que de diverses structures mécaniques élémentaires : lattes épaisses, lattes fines.

Ces blocs ont été décomposés en deux catégories complémentaires : les blocs volumiques, appelés "cristaux" pour lesquels les dimensions sont d'un même ordre de grandeur, les blocs minces appelés "lattes" tels que des lattes, coques, poutres pour lesquels une ou deux des dimensions est (sont) bien plus faible(s) que l'(les) autre(s).

La cristallographie offre de bons exemples d'arrangements réguliers associés à des propriétés de stabilité et d'occupation de l'espace connues. La figure suivante donne la classification de Bravais des principaux réseaux cristallins.

La classification des cristaux selon Bravais définit une base intéressante pour le choix des géométries des blocs de base puisqu'elle recense des empilements qui existent et ont fait leur preuve dans la nature. Les cristaux sont classés en six systèmes : cubique, hexagonal compact, quadratique, rhomboédrique, orthorhombique, monoclinique et sont caractérisés par quatre modes :

- Mode P : primitif
- Mode I : intérieurement centré
- Mode F : toutes faces centrées
- Mode C : deux faces centrées

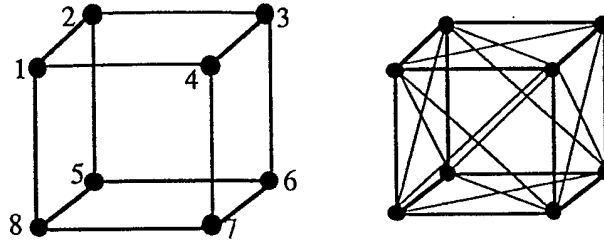
Les réseaux de Bravais sont issues de l'observation des cristaux naturels. Il existe quatorze réseaux classés dans sept systèmes.

cubique	:	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
hexagonal	:	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
quadratique	:	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
rhomboédrique	:	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$
orthorhombique	:	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
monoclinique	:	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$ ou $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ$
triclinique	:	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Cependant, construire le modèle exact de tels cristaux est impossible car ils contiennent un trop grand nombre d'interactions point à point. Le premier travail consiste donc à donner un modèle CORDIS-ANIMA minimal et adapté pour chaque catégorie de topologie.

Ce paragraphe illustre la transposition d'une maille cristalline en modèle CORDIS-ANIMA.

En cristallographie, la représentation d'une maille cubique est la suivante dans laquelle les arêtes schématisent des liaisons chimiques covalentes, des interactions électrostatiques entre ions, ou les interactions de Van der Waals de faible énergie dans les cristaux moléculaires. De plus, dans tous ces cristaux, il existe des forces électrostatiques entre tous les atomes de la maille (et même entre tous les atomes du cristal), et non pas seulement entre les atomes liés par un trait.

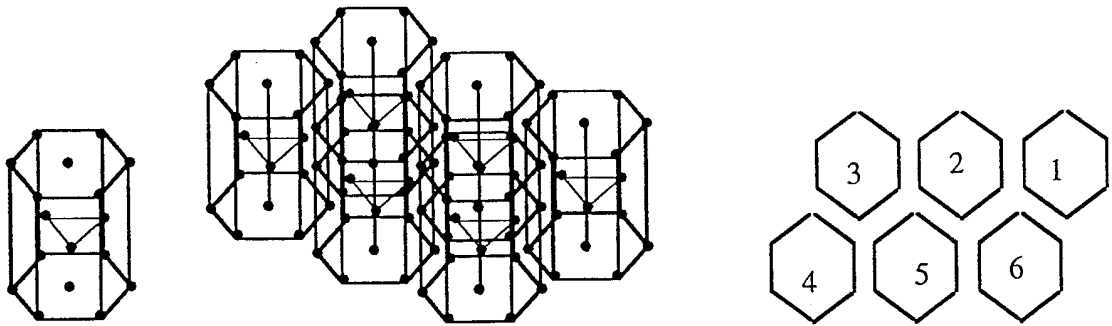


*Représentation cristallographique et modèles CORDIS-ANIMA pour une maille cubique*

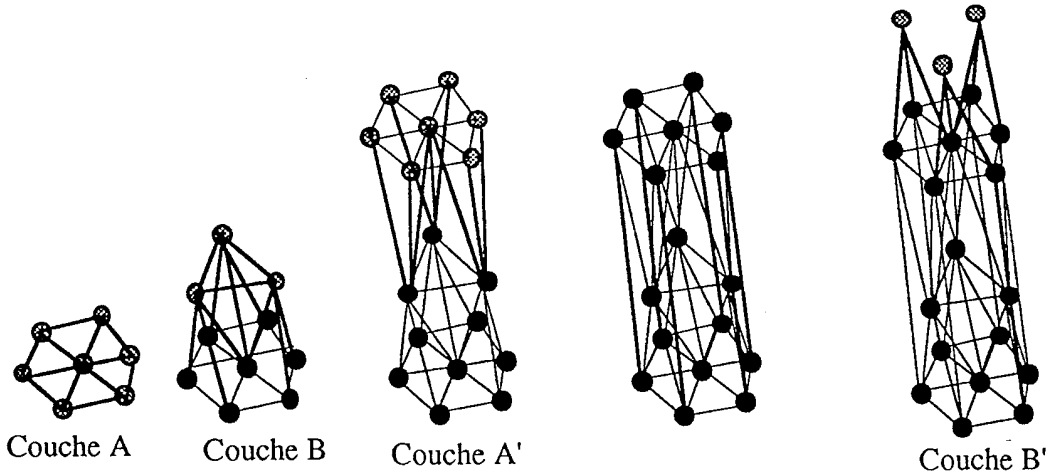
Le modèle CORDIS-ANIMA dans lequel on localise les masses aux sommets et les interactions suivant les arêtes ne produit pas un cube rigide. Il est nécessaire de rigidifier l'édifice en plaçant des interactions supplémentaires.

Quatre types de blocs et de réseaux ont été modélisés en CORDIS-ANIMA (les points représentent des masses, les traits des interactions visco-élastiques).

- Blocs et réseaux à partir de mailles hexagonales compactes



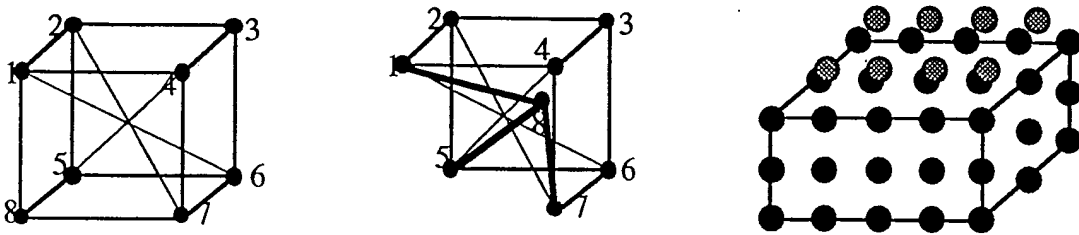
*Construction d'une couche d'un réseau hexagonal compact*



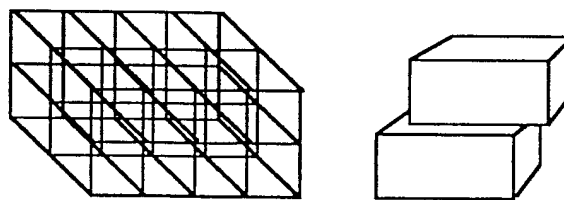
*Construction d'un réseau hexagonal compact multicouche*

• Blocs filaires et hélices à partir de mailles tétraédriques

• Blocs et réseaux à partir de mailles parallélépipédiques

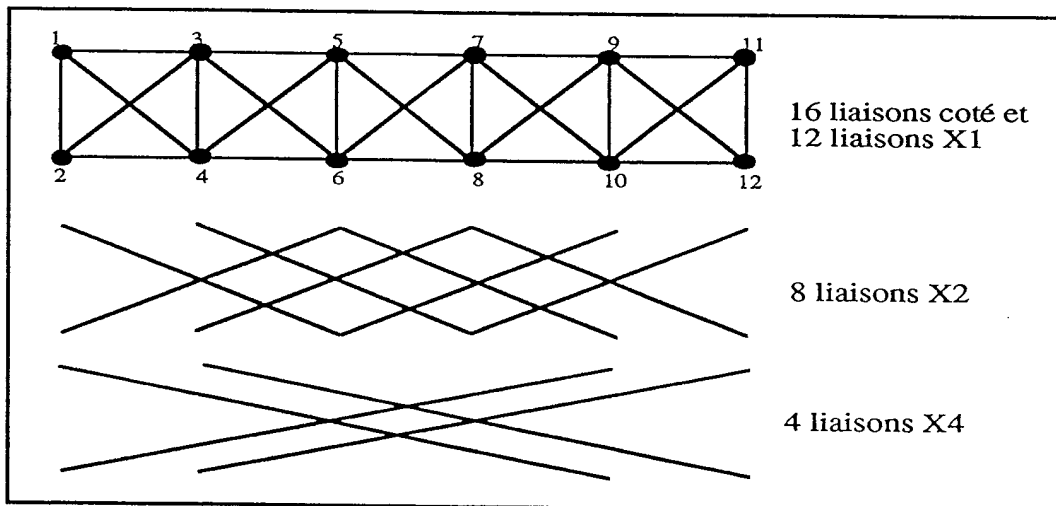


Construction d'un réseau Cordis-Anima d'une structure cubique ou parallélépipédique



Mailles et réseaux parallélépipédiques

• Blocs plats et lattes



La simulation fait partie intégrante du processus de modelage et de création du bloc, pour trouver sa forme géométrique au repos.

En effet, on procède par simulations successives, par petites touches, ajouts et retraits de masse et de liaisons, plongement dans des milieux aux viscosités et gravités différentes. On procède de même pour réduire le volume d'un bloc.

### 3. Modèles d'assemblages - Colles et ciments

Les assemblages de ces structures doivent permettre à l'ensemble de se fracturer sans prédétermination des endroits de fractures et de ne pas se réassembler après fractures. On souhaite donc disposer d'un liant. Il en existe de multiples types dans le monde physique.

#### *Les colles :*

Sous forme liquide ou pâteuse, elles servent à assembler des objets. Leur composition varie suivant le type des matériaux à assembler. Le "séchage" correspond à un changement d'état chimique, il peut être catalysé par la chaleur ou la lumière (colles thermo- ou opto- durcissables). Il en découle des propriétés très différentes une fois la colle "sèche". Certaines sont repositionnables : elles permettent de décoller les documents pour les replacer. D'autres au contraire résistent fortement au décollement mais autorisent un glissement du document parallèlement à la surface. A autant de colles correspondraient autant de modèles d'interactions dans CORDIS-ANIMA.

#### *Les ciments*

Le ciment utilisé en maçonnerie est à la fois une matière et une liaison par agents chimiques. Dans l'utilisation de cette matière, il y a la notion de prise.

On s'intéresse aux propriétés communes aux colles et ciments, soient :

- a) Le liant est d'abord liquide, pâteux.
- b) Les blocs sont joints à l'aide de ce liant
- c) Le liant change d'état.
- d) Les blocs sont liés par une force de non-séparation
- e) Une force, un choc survient et casse la liaison localisée dans le liant.
- f) Les 2 blocs sont libérés, ils se déplacent librement l'un par rapport à l'autre en respectant la contrainte de non-pénétration. Ils ne se réassemblent pas s'il arrive qu'ils se retrouvent côte à côte (appelons cette propriété P3).

Les étapes a) b) c) d) correspondent à une phase de construction que l'on ne cherche pas à modéliser pour l'instant. Nous ne cherchons pas ici à modéliser explicitement le changement de phase du liant (liquide -> solide) en tant qu'objet physique autonome. Mais seulement ses conséquences sur la liaison entre les deux objets. Il suffit alors que le liant soit modélisé uniquement par des fonctions d'interaction adéquates entre les deux blocs, sans présence de masses. On abandonne par ce choix la notion de matière du liant (pas de point M de CORDIS-ANIMA) pour ne garder plus que celle de liant chimique et de surface d'interaction.

La construction du modèle se fera par :

- 1) translation - rotation des blocs de base à l'aide d'une grue (métaphore d'un outil spécifique).
- 2) application d'une commande au modèle qui placera entre chaque blocs contigus des liaisons jouant le rôle du liant.

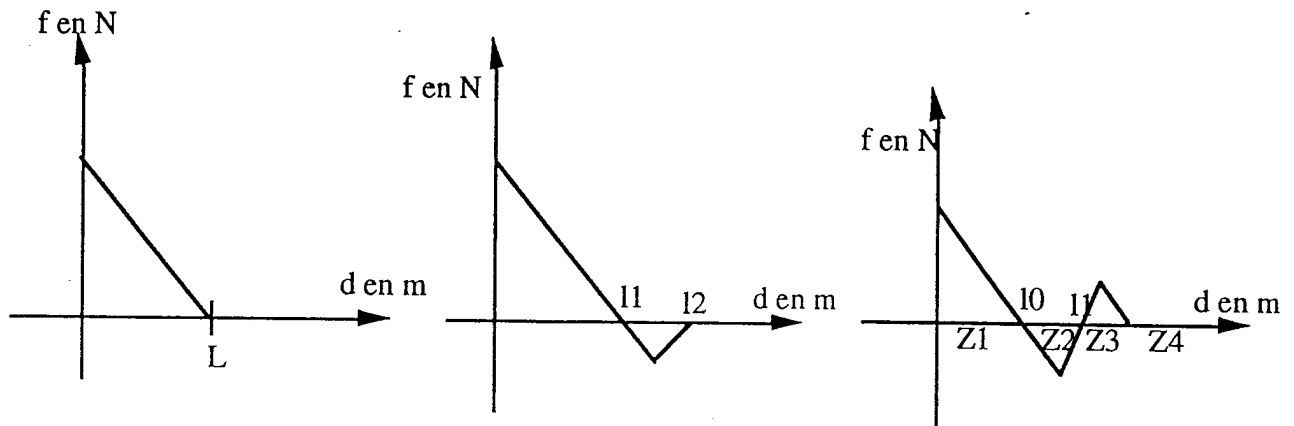
Une difficulté consiste à ne pas multiplier le nombre de type d'interactions. En effet la définition d'une fonction d'interaction est relativement coûteuse en mémoire, et l'on ne peut pas se permettre d'en créer une par couple de masses. En contrepartie, les liaisons placées doivent respecter la distance entre les masses, c'est à dire que la longueur au repos doit être égale à la distance entre les masses une fois liées.

Différents type de liaisons ont été testées : butée viscoélastique simple, butée cohésive qui ont abouti à la mise au point d'une interaction entre blocs plus complexe présentée dans le diagramme ci-après présentant une zone de butée (Z1), une zone de cohésion (Z2) et une nouvelle zone de répulsion (Z3).

Cette interaction assure un collage macroscopique et un non - recollage également macroscopique par un phénomène de sommation des interactions microscopiques. Lorsque deux blocs sont assemblés, les forces de cohésion d'interaction s'ajoutent, rendant l'ensemble plus collant globalement que localement. par contre une fois désassemblés, pour que deux blocs se réassemblent, il faut qu'un grand nombre de

points soient en interaction de cohésion (soient encliquetés), ce qui ne se présente que par assemblage volontaire.

Le collage est donc un phénomène émergent suite à une opération volontaire d'assemblage. De même le non recollage est un phénomène localement possible mais macroscopiquement impossible.



Fonctions d'interaction pour le collage et non-recollage de blocs

- Butée visco-élastique : n'assure pas un collage suffisant et n'assure pas le non-réassemblage
- Assure une bonne cohésion lors du collage mais n'assure pas le non réassemblage
- Assure une bonne répulsion (Zone Z1), une bonne cohésion (Zone Z2), un non réassemblage (Zone Z3)

## 4. Conclusions

Ainsi, nous simulons bien le fait que les déformations microscopiques internes peuvent amener un objet construit à se fracturer de manière non prédéterminée. Les types de fractures obtenues correspondent bien à des cas réels (par exemple fractures en trois de blocs de cheminées). Les animations produites sont des écroulements d'édifices sous leur propre poids, des chutes sur le côté sans fractures, des fractures en morceaux entiers de différentes tailles, des fractures complètes en blocs élémentaires, des murs et des piles stables malgré les déformations, les propagations et les secousses sismiques internes.

## 5. Bibliographie

- [Bar89] D. BARAFF - "Analytical methods for Dynamics Simulation of Non-Penetrating Rigid Bodies." - Computer Graphics, 23 (3) July 1989, pp. 223-232 (Proceedings of SIGGRAPH'89).
- [Ber91] P. BERNIER. - "Le carbone dans tous ses états" - La recherche, 233 juin 1991, pp. 795-796.
- [CLF90] C. CADOZ, A. LUCIANI, J.L. FLORENS - "CORDIS-ANIMA. Système de Modélisation et de Simulation d'instruments et d'Objets Physiques pour la Création Musicale et l'Animation d'Images"
- [CLFR91] C. CADOZ, A. LUCIANI, J.L. FLORENS, O. RAOULT - "Physique discrète, discrétisation du temps et de la matière" - 1er Colloque Géométrie en Imagerie: Fondement et Application, Strasbourg, 26-27 septembre 1991.



- [Luc91] A. LUCIANI - "Les catégories de modèles en animation et simulation du mouvement" - Séminaire Animation et Simulation, Grenoble. 15, 16 Octobre 1991.
- [MQ88] J. MESPLEDE, J.L. QUEYREL. - "Précis de chimie" - Eds Bréal 1988.