



HAL
open science

Comparaison de méthodes de décomposition de domaine en dynamique granulaire

Damien Iceta, David Dureisseix, Pierre Alart

► **To cite this version:**

Damien Iceta, David Dureisseix, Pierre Alart. Comparaison de méthodes de décomposition de domaine en dynamique granulaire. 9e Colloque National en Calcul des Structures, May 2009, Giens, France. pp.161-166. hal-00413720

HAL Id: hal-00413720

<https://hal.science/hal-00413720>

Submitted on 3 Nov 2016

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

Comparaison de méthodes de décomposition de domaine en dynamique granulaire

D. Iceta¹

D. Dureisseix¹

P. Alart¹

¹ Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC)
Université Montpellier 2 / CNRS UMR5508
Place E. Bataillon, F-34095 MONTPELLIER CEDEX 5, FRANCE
Tel. : +33 4 67 14 96 34
{iceta,alart,dureisseix}@lmgc.univ-montp2.fr

Résumé — La simulation dynamique des milieux granulaires de grande taille demande de ressources informatiques élevées. Les méthodes de décomposition de domaine sont des solveurs efficaces et parallélisables, et sont testées ici dans le cas spécifique des interactions non régulières entre multicorps rigides, principalement en terme de convergence.

Mots clés — non régularité, LATIN, NSCD, contact, impulsion

1 Introduction

L'étude proposée ici fait suite aux recherches menées sur la décomposition de domaine de milieux à interactions non régulières entre constituants. Les applications visées sont multiples et concernent les milieux par nature discrets [1] (ballast, maçonneries de four, géotextile TexSol, compaction de milieux pulvérulents...) Pour la simulation de certains milieux granulaires (ballast, géomécanique), on traite des systèmes de grande taille, particulièrement en modélisation tridimensionnelle, non linéaire et non régulière. De précédentes études se sont concentrées sur le calcul parallèle [2] pour des architectures à mémoire partagée. La décomposition de domaine retenue ici est par contre bien adaptée à la parallélisation en mémoire distribuée. On vise dans un premier temps la simulation de milieux granulaires sans écoulement mais sollicités par exemple en vibration.

Une première approche en mécanique non régulière a déjà été testée sur les structures de tensegrité [3]. Ces dernières sont des systèmes réticulés comportant un ensemble de nœuds reliés par des liens pouvant être des barres au comportement élastique linéaire standard ou des câbles caractéristiques de liaisons unilatérales. Ici, nous présentons les premiers résultats en dynamique granulaire, obtenus d'une part, avec la généralisation de l'approche précédente [3], et d'autre part, avec une nouvelle approche plus proche des méthodes de type Gauss Seidel Non Linéaire (GSNL) actuellement utilisées en dynamique granulaire. La première stratégie est basée sur la méthode LARge Time INcrement (LATIN) initialement introduite pour les structures continues mais hétérogènes [4]. La seconde approche, tout en adaptant la description micro/macro aux milieux discrets, utilise le solveur non régulier GSNL.

2 Dynamique non régulière de milieux granulaires sans frottement

On s'intéresse ici aux interactions entre grains constituant un système pouvant être décrit comme une collection de particules rigides. En guise de simplification, on considérera que les

contacts se font sans frottement, que les grains sont sphériques, et le problème bidimensionnel. La dynamique des grains, sur un pas de temps, s'écrit : $MV = R + R^d + MV^-$, où M est la matrice de masse de l'ensemble des grains (diagonale), V le vecteur des vitesses de l'ensemble des grains en fin de pas ; R représente les impulsions de contact, R^d , les impulsions extérieures et V^- , les vitesses (connues) en début de pas.

Pour chaque contact α , la vitesse relative v^α entre le grain dit candidat et son antagoniste est égale à la différence des vecteurs vitesse des deux particules, projetée sur la normale au contact. En notant H l'opérateur de sélection des interactions agissant sur les grains et orientant les interactions le long de la normale au contact (base locale), on obtient : $v^\alpha = (H^\alpha)^t V$. L'impulsion de contact normale r^α exercée par l'antagoniste sur le candidat participe à la résultante R : $R = H^\alpha r^\alpha$. Les vitesses relatives ainsi que les impulsions de chaque contact sont assemblées dans $v = H^t V$ et $R = Hr$. Le problème de référence écrit en terme d'impulsions-vitesses relatives (dynamique réduite) s'écrit alors :

$$v - Wr = H^t M^{-1} R^d + v^- \quad (1)$$

avec $W = H^t M^{-1} H$.

Ici, un contact unilatéral simple s'exprime naturellement comme une condition de complémentarité reliant les forces de contact à l'écart inter-grain. Pour la dynamique, Moreau a prouvé dans un lemme de viabilité [1] que l'on pouvait utiliser une loi de complémentarité entre vitesse et impulsions. L'unilatéralité des interactions s'écrit alors :

$$\begin{cases} \text{Si } u^p > 0, & r = 0 \\ \text{Si } u^p \leq 0, & 0 \leq v \perp r \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

où u^p est la prédiction du jeu (négatif si un contact est détecté).

3 Partition du domaine en sous-domaines

Dans le cas de structures discrètes, il y a deux façons classiques pour réaliser un partitionnement géométrique : (i) distribuer les éléments, liens ou interactions dans les sous-structures, ou (ii) distribuer les nœuds ou grains dans les sous-structures. Ces deux stratégies ont déjà été utilisées dans la littérature. D'un point de vue topologique, elles correspondent à un découpage en deux graphes différents : celui des connectivités, ou son dual.

La distribution des nœuds ou des grains est souvent utilisée dans le découpage algébrique (où la matrice de l'équation de la dynamique est découpée selon ses colonnes, correspondant aux degrés de libertés). Dans notre cas, puisque la non-régularité peut apparaître au sein des interactions entre grains, on choisit de distribuer ces mêmes interactions parmi les sous-structures (on procède en distribuant le point milieu des centres de masse des grains en interaction, suivant ses coordonnées). En faisant un tel choix, certains des grains (les grains frontière), sont dupliqués dans les structures de données des sous-domaine. Ainsi, pour la résolution de la dynamique, contrairement à [5], la masse de tels grains doit être séparée en deux contributions, une pour chaque grain dupliqué, voir Figure 1. L'interface entre deux sous-domaines est définie par l'ensemble de ces grains, faisant le lien entre une sous-structure et sa voisine. La non-régularité est alors localisée uniquement au sein des sous-structures. Ce choix de modélisation est identique à celui de [6] et en quelque sorte le dual de celui proposé dans [7] où les non-régularités entre les lèvres des fissures sont isolées aux interfaces.

Pour chaque interface entre un sous domaine E et un autre E' , la continuité des vitesses doit être vérifiée ainsi que l'équilibre de l'interface :

$$\begin{cases} \widehat{F}_{EE'} + \widehat{F}_{E'E} = 0 \\ \widehat{V}_{EE'} = \widehat{V}_{E'E} \end{cases} \quad (3)$$

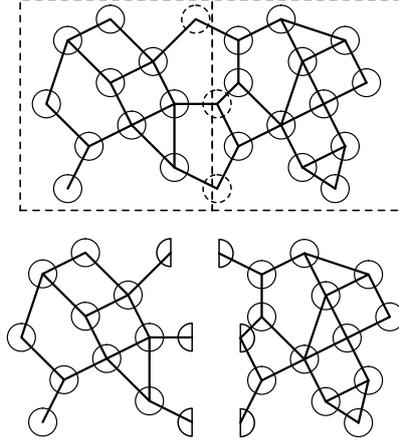


Figure 1 – partitionnement géométrique du domaine

4 Solveurs de décomposition de domaine

Le premier solveur par décomposition de domaine dédié, présenté ici, s’inspire des approches LATIN (proches d’un Lagrangien augmenté pour les problèmes mécaniques qui ne dépendent pas du chemin suivi, comme le contact sans frottement). Le deuxième solveur présenté est, quant à lui, plus proche des solveurs de type Gauss-Seidel non linéaire utilisés pour les systèmes non réguliers. On n’utilisera ici qu’une version de type Jacobi ; la différence ne tient qu’à la fréquence de mise à jour des quantités d’interaction. Une étape similaire dans les deux solveurs consiste à résoudre localement les relations de comportement des interactions.

4.1 Solveurs LATIN

Le solveur de type LATIN consiste en un schéma itératif présentant 2 étapes. Chacune produit une solution approchée vérifiant soit les conditions d’admissibilité, notée (r, v) , soit les comportements (d’interaction ou d’interface), notée (\hat{r}, \hat{v}) .

– Étape linéaire

Cette étape consiste à trouver le couple (r, v) vérifiant la dynamique réduite par sous domaine, de la même forme que (1), et une direction de recherche de la forme :

$$r + l^- v = \hat{r} + l^- \hat{v} \quad (4)$$

par sous domaine aussi, ainsi qu’une direction de recherche par interface :

$$(F_{EE'} - \hat{F}_{EE'}) + d^- (V_{EE'} - \hat{V}_{EE'}) = 0. \quad (5)$$

– Étape locale

Cette étape consiste à trouver (\hat{r}, \hat{v}) vérifiant le comportement d’interaction (2), la direction de recherche conjuguée :

$$\hat{r} - l^+ \hat{v} = r - l^+ v \quad (6)$$

par sous domaine, ainsi que le comportement d’interface 3 et la direction de recherche associée :

$$(\hat{F}_{EE'} - F_{EE'}) - d^+ (\hat{V}_{EE'} - V_{EE'}) = 0 \quad (7)$$

4.2 Solveurs GSNL

Pour l'algorithme de type Gauss Seidel Non Linéaire, il s'agit dans une première étape d'utiliser indépendamment pour chaque sous-domaine un algorithme existant [1], pour 1 seule itération du schéma, et en fixant les forces d'interface. Ceci correspond à trouver (\hat{r}, \hat{v}) vérifiant le comportement (2) et l'équivalent d'une direction de recherche en posant $l^- = 0$ et $l^+ = W_D^{-1}$ (où W_D est la partie diagonale –pour la version Jacobi– de W). De façon synchrone après la précédente mise à jour des interactions, l'effort d'interface, qui vérifie $F_{EE'} + F_{E'E} = 0$, est remis à jour en cherchant à vérifier la continuité de la vitesse $V_{EE'} = V_{E'E}$ à l'interface, en fixant les valeurs des impulsions dans les interactions. Une boucle externe alterne donc successivement les mises à jour des interactions et des efforts d'interface.

5 Premiers résultats pour un milieu granulaire

Le cas test, implanté dans la plateforme LMGC90, est un ensemble de 991 grains en 2D, figure 2. Ces grains sont déposés dans une boîte dont les bords de droite et de gauche s'inclinent de manière à produire un cisaillement de l'échantillon. Dans cet essai, la solution pouvant ne pas être unique (en terme d'impulsion de contact), on utilise un indicateur d'erreur relatif pour vérifier la convergence : à l'itération i , $\zeta_i = \sqrt{\frac{(r_i - r_{i-1})^2 (r_i - r_{i-1})}{r_i^2 r_{i-1}}}$. La figure 3 montre son évolution au cours des itérations, pour chacune des méthodes, et des décompositions allant de 1 à 8 sous-domaines. Au moins pour cet essai, toutes les convergences sont semblables.

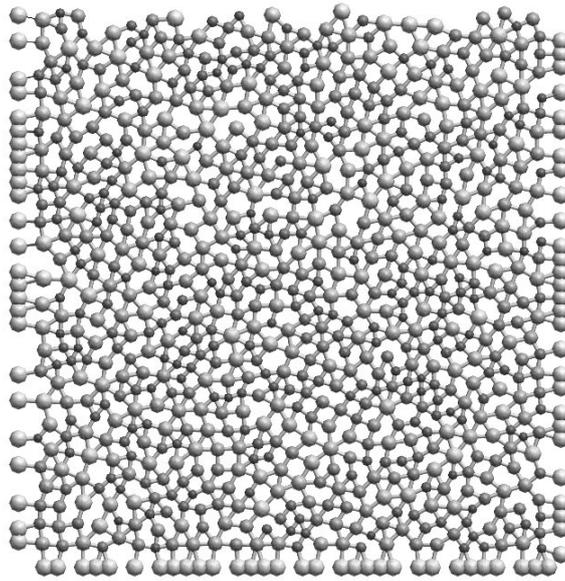


Figure 2 – Cas test

6 Conclusions

Les solveurs proposés ici s'avèrent ne pas présenter de perte d'extensibilité, sur le cas traité, lorsque le nombre de sous-domaines augmente. Ceci pourrait être attribué, d'une part, à la simplicité des schémas utilisés (de type point fixe) en comparaison avec les schémas de type gradient conjugué [2]. D'autre part, ceci peut également venir du traitement simultané des non régularités

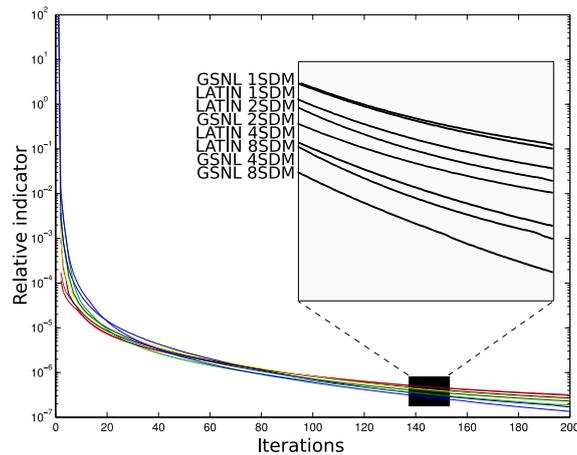


Figure 3 – Résultats de convergence

et de la décomposition de domaine, justifié en partie ici par la présence d'une non régularité diffuse dans toute la structure considérée.

Utiliser des approches multiéchelles présenterait cependant plusieurs avantages. Le premier est la possibilité d'accéder à un comportement homogénéisé de façon numérique, des sous-domaines (utile en particulier pour coupler des modèles décrits à différentes échelles). Un autre avantage est la possibilité d'initialiser par une solution grossière les pas de temps suivants, en vue d'accélérer la résolution. La principale perspective reste cependant d'aborder les cas de contact frottant.

Références

- [1] J. J. Moreau. Numerical aspects of sweeping process. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 177 :329–349, 1999.
- [2] M. Renouf and P. Alart. Conjugate gradient type algorithms for frictional multi-contact problems : Applications to granular materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194 :2019–2041, 2004.
- [3] S. Nineb, P. Alart, and D. Dureisseix. Domain decomposition approach for nonsmooth discrete problems, example of a tensegrity structure. *Computers and Structures*, 85(9) :499–511, 2007.
- [4] P. Ladevèze, O. Loiseau, and D. Dureisseix. A micro-macro and parallel computational strategy for highly heterogeneous structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 52(1-2) :121–138, 2001.
- [5] P. Alart and D. Dureisseix. A scalable multiscale LATIN method adapted to nonsmooth discrete media. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 197(5) :319–331, 2008.
- [6] M. Barboteu, P. Alart, and M. Vidrascu. A domain decomposition strategy for nonclassical frictional multi-contact problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190 :4785–4803, 2001.
- [7] P. Ladevèze, A. Nouy, and O. Loiseau. A multiscale computational approach for contact problems. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 191 :4869–4891, 2002.