### Compte rendu d'avancement

Stage de Master recherche de l'Université de Bordeaux Projet de Fin d'Études de l'ENSEIRB





Equilibrage de charge et distribution de données pour des simulations parallèles irrégulières couplées : application à la propagation multi-échelle de fissures dans les matériaux.

> Maîtres de stage : Olivier COULAUD Jean ROMAN

Encadrant pédagogique : François PELLEGRINI

Période de stage : du 09 février 2009 au 30 septembre 2009

Mohamed Amine EL AFRIT

### Table des matières

Table de	es figures	1
Chapitre	e 1 Modélisation	2
1.1	Modélisation avec un hypergraphe	2
1.2	Différentes stratégies de partitionnement étudiées	2
1.3	Optimisation	4
Chapitre	2 Résultats	6
2.1	Cas d'une géometrie simple	8
2.2	Cas d'une géometrie plus complexe	18
	2.2.1 Comparison des différentes stratégies de partitionnement	18
2.3	Meilleur résultats	22
Chapitre	e 3 Ce qui reste à faire	23

## Table des figures

		_
1.1	Modélisation en hypergraphe.	2
1.2	Différentes stratégies de partitionnement.	3
1.3	Partitionnement à la main pour garantir un résultat optimal dans le cas où le nombre de processeurs de DM qui participent au couplage corresponds au nombre de processeurs de la mécanique continu.	5
1.4	Perspective pour la construction des hyperarrêtes normales en tenant compte de tout les voisins dont le calcul dépend.	5
2.1	Étiquettes pour distinguer les différentes stratégies.	6
2.2	Influence de la variation du poids des sommets et du cout des arêtes de la zone de recouvre- ment du graphe sur l'équilibrage de charge et les communications.	8
2.3	Partitionnement classique du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un graphe.	9
2.4	Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (I).	10
2.5	Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (II).	11
2.6	Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe.	12
2.7	Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (avec technique des points fixes) (I).	13
2.8	Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (avec technique des points fixes) (II).	14
2.9	Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe et en rajoutant des hyper-arêtes des couplage.	15
2.10	Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique des points fixes.	16
2.11	Partitionnement du maillage en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique de multi-contraintes (PHg_MC).	17
2.12	Partitionnement classique du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un graphe.	18
2.13	Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe.	19
2.14	Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe et en rajoutant des hyper-arêtes des couplage.	20
2.15	Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique des points fixes.	21
2.16	Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique de multi-contraintes (PHg_MC).	22

# Modélisation

#### 1.1 Modélisation avec un hypergraphe

On modélise notre probléme de partitionnement à l'aide d'un hypergraphe. On décrit notre hypergraphe de la manière suivante : Chaque élément (triangle)<sup>1</sup> sera regroupé avec ses voisins<sup>2</sup> dans une seule hyperarrête. Cette modélisation est représentée sur la figure 1.1. Pour chaque élément on construit une hyperarrête. Exemple pour l'élément x on construit l'hyperarrête jaune x qui regroupe les sommets voisin de X.

Les vrai voisins d'un éléments sont tout les triangles qui l'entourent et pas seulement les triangles qui partagent une côté avec ce dernier. Mais on va considéré un nombre réduit de voisins dans un premier temps pour décrire l'hypergraphe pour simplifier, ensuite on pourra rajouter les autres voisins en fonction du besoint.



Fig. 1.1 – Modélisation en hypergraphe.

#### **1.2** Différentes stratégies de partitionnement étudiées

Nous avons tester plusieurs stratégies pour le partitionner du maillage. La figure 1.2 représente les différentes stratégies que nous avons suivi pour faire la répartition.

Nous avons commencé tout d'abord par un *partitionnement classique du maillage* en le modélisant par un graphe telle que les sommets du graphe sont les éléments finis du maillage et il y a une arête entre deux sommets s'ils représentent deux triangles qui partagent un côté. Pour ce partitionnement nous avons procédé de deux façons : *avec coût uniforme*<sup>3</sup> pour les sommets et les arêtes dans la zone de couplage et la zone

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>On confondra les termes élément du maillage initial et triangle qui correspondent à un sommet du graphe généré à partir du maillage

 $<sup>^2</sup>$ Dans une première approche, on dit que deux triangles du maillage sont voisins s'ils partagent un cotés

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>C'est de cette manière que le partitionnement a été réalisé dans LibMultiScale au moment de la reprise de l'existant



Fig. 1.2 – Différentes stratégies de partitionnement.

normale  $(ZN)^4$ ; et *avec coût supplémentaire de coupage* pour les sommets ou bien pour les arêtes ou bien pour les deux.

Ensuite nous avons partitionner le maillage avec notre *nouvelle approche de modélisant en hypergraphe*. Pour ce partitionnement nous avons procédé de 5 manières différents.

La première façon de faire est de partitionner l'hypergraphe *en mettant un coût uniforme* pour les sommets et les hyper-arêtes dans la zone de couplage et la zone normale (ZN) cela va nous permettre voir l'influence de l'augmentation la connectivitée dans le maillage avec la modélisation de l'hypergraphe<sup>5</sup>.

La deuxième façon de faire est de *rajouter un coût supplémentaire de coupage* pour les sommets, ou bien pour les hyper-arêtes ou bien pour les deux, qui sont dans la zone de recouvrement par rapport aux autres de la zone normale.

La troisième façon de faire est de *rajouter des hyper-arêtes de couplage* en mettant un coût uniforme ou bien avec un coût spplémentaire pour le couplage. On a regroupé les éléments du maillage de la zone de recouvrement, qui sont dans une même boite, dans une hyper-arête. Avec cette approche nous avons contrain le partitionneur à essayer de ne pas couper une hyper-arête de couplage car celles ci auron un coût plus grand que les hyper-arêtes normales<sup>6</sup>.

La quatrième façon de faire est de procéder par *la technique des points fixes*. Cette technique consiste à partitionner l'hypergraphe en deux temps : dans un premier temps, on va partitionner la partie qui représente la zone de recouvrement entre tout les processeurs de la mécanique des milieux continus que nous avons en disposition. Ensuite on va partitionner le reste de l'hypergraphe, dans un deuxième temps, en tenant compte du premier partititionnement (c'est à dire en fixant les partitions déjà obtenu de la première étape du partitionnement) entre tout les processeurs aussi. Avec cette technique on est sure que tout les processeurs auront la même charge pendant les deux phases de la simulation. Le problème avec cette stratégie est qu'on risque d'avoir des parties qui sont affectées au même processeur mais qui ne sont pas contigûe sur le maillage. On va voir dans le chapitre 2 que le partitionneur se permet de couper des hyper-arêtes de couplage. Enfin la cinquième façon de faire est d'utiliser la technique de *partitionnement avec multicontraintes* qui consiste à tenir en compte des phases 1 et de la phase 2 du couplage sans rajouter des hyper-arêtes de couplage cette fois. On verra que cette technique n'été pas avantageuse par rapport à la technique des points fixes car il y a beaucoup de parties qui sont affect ées au même processeurs mais qui ne sont pas contigues sur le maillage.

#### **1.3** Optimisation

Dans le cas particulier où le nombre de processeurs de la dynamique moléculaire qui sont dans la zone de recouvrement (i.e. qui participent au couplage) est égal au nombre de processeurs de la mécanique des milieux continus, on va procéder par la partitionnement par la technique des points fixes mais pour garantir qu'on obtien le meilleur partitionnement dans cette zone. Le meilleur partitionnement dans ce cas est d'affecter chaque élément de la zone de couplage à la boite de DM qui lui contien comme dans la figure

Dans la figure 1.3, les éléments finis qui sont géometriquement en intersection avec une boite seront affectée à un seul processeur de la zone continu.

L'analyse des dépendances de calcul entre les éléments finis de la zone continue qu'un élément (triangle) ne dépend pas seulement des triangles qui ont un coté en commun avec lui mais plutôt avec tout les triangles qui ont au moins un sommets en commun. C'est-à-dire que les hyperarrêtes normales doivent être construites comme l'exemple des hyperarrêtes x et y de la figure 1.4. Malgrè cela nous avons modéliser les hyperarrêtes normales comme c'est décrit dans la figure 1.1 car nous supposons que cela est suffisant en première approche

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>On appelle la zone normale (*ZN*) la zone qui n'est pas la zone de roucouvrement, i.e. c'est la zone mécanique continue  $\Omega^{C}$  privée de la *bridging zone*  $\Omega^{R}$  (*ZN* =  $\Omega^{C}$  -  $\Omega^{R}$ )

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup>La connectivitée augmente car selon notre modélisation on va regroupper les éléments voisins dans une même hyper-arête et comme dans la figure 1.1 (b) et non pas simplement en regrouppant deux éléments avec une simple arête comme dans le cas classique avec un graphe

 $<sup>^{6}</sup>$ Une hyper-arête normale est une hyper-arête qui regroupe les éléments voisins comme dans la figure 1.1



Fig. 1.3 – Partitionnement à la main pour garantir un résultat optimal dans le cas où le nombre de processeurs de DM qui participent au couplage corresponds au nombre de processeurs de la mécanique continu.



Fig. 1.4 – Perspective pour la construction des hyperarrêtes normales en tenant compte de tout les voisins dont le calcul dépend.

pour modéliser les interdépendances de calcul entre les éléments. Cela sera parmis le travail qui reste à faire.

# **2** Résultats

Dans ce chapitre, nous allons décrire les résultats que nous avons obtenus en se basant sur les les différentes stratégies que nous avons pris pour le partitionnement du maillage et que nous avons expliqué dans la section 1.2 et la figure 1.2 Nous allons faire une comparaison entre les résultats de répartition de la charge lors de la reprise de l'existant avec les nos résultats. Pour simplifier les notations on va affecter une étiquette pour chaque stratégie suivie selon les abréviations bleus de la figure2.1.



Fig. 2.1 – Étiquettes pour distinguer les différentes stratégies.

On présentera les résultats dans des tableaux ayant une entête comme celle ci :

Stratégie	figure	coî	I	poi	ds S	Equilibrage du poids			Communication		
	ngure	HaC	Ν	В	Ν	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD

Où "Stratégie" désigne la stratégie suivie identifiée avec l'une des étiquettes de la figure 2.1, "figure" est une référence vers la figure prise contenant le résultat obtenu. "coût Ha" et "poids s" désignent respectivement les coût des hyper-arêtes et les poids des sommets que nous avons choisi pour chaque expérience, avec "HaC" désigne le coût sur une hyper-arête de couplage, "N" désigne le coût/poids de l'hyper-arête/arête/sommet qui est dans la zone normale du maillage, c'est à dire la zone qui ne contient pas la zone de recouvrement. "B" désigne le coût/poids de l'hyper-arête/arête/sommet qui est dans la bridging

zone  $\Omega^R$ . "Équilibrage du poids" et "Communication" désignent les résultats de mesure que nous avons calculé, avec "ph1" et "ph2" désignent respectivement la phase 1 et la phase 2 de calcul pendant un pas de temps . "FE-FE" désigne les résultats de mesure des communications entre les processeurs de la mécanique des milieux continus et "FE-MD" désigne les résultats de mesure des communications entre les processeurs de la mécanique de mécanique des milieux continus d'une part et les processeurs de la dynamique moléculaire d'autre part.

Pour les mesures de l'équilibrage du poids et des communications, on aura 8 valeurs à récupérer pour chaque mesure comme c'est expliqué dans le tableau suivant :

Equ	iilibrage du	poids	Communication				
total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD			
Mt, $\sigma$	m1, $\sigma$ 1	m2, σ2	min , max	min , max			

Où "Mt" est la moyenne des tailles totales des parties affectées aux processeurs de  $FE^1$ ,  $\sigma$  est l'écart type qu'on se permet d'avoir en modifiant le paramètre UBFACTOR qu'on donne au partitionneur, "m1" et "m2" sont respectivement les moyennes des tailles des parties de la zone normale et de la zone de recouvrement affectées aux processeurs de FE et  $\sigma$ 1 et  $\sigma$ 2 sont leur écart type respectivement. Pour les communications FE-FE, "min" et "max" désignent respectivement les nombres min et max de processeurs de FE qui sont en communication avec un processeur de FE. Pour les communications FE-MD, "min" et "max" désignent respectivement les nombres min et max de processeurs de MD qui sont en communication avec un processeur de FE.

Nous allons commencer par analyser les résultats obtenues dans le cas d'une géometrie simple dans la section 2.1. Ensuite nous allons étudier dans la section 2.2 le cas d'une géometrie 2D plus complexe.

Pour chaque famille de stratégie nous allons faire varier les poids des sommets et les coûts des arêtes/hyperarêtes afin de déterminer les meilleurs valeurs qui permettent d'obtenir le meilleur résultat.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Pour simplifier les notations, FE désigne les processeurs de la mécanique des milieux continus et MD désigne les processeurs de la dynamique moléculaire.

#### 2.1 Cas d'une géometrie simple



Comparison des différentes stratégies de partitionnement même nombre de processeurs pour EF et DM



communications.

l'équilibrage de charge.

Stratógia	figuro	coût A		poi	ds S	Equ	uilibrage du po	bids	Communication		
Strategie	ingure	N	В	N B		total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD	
PG_CU	2.8 (a)	1	1	1	1	12,5;0	12,5;5,85	12,5;13,5	3;6	0;4	
PG_CC_S	2.8 (b)	1	1	1	10	12.5;0,01	12,5;16,4	12,5;3,8	2;5	2;4	
PG_CC_A	2.8 (c)	1	10	1	1	12,5;0,00	12,5 ; 5,5	12,5 ; 12,7	3;6	0;3	
PG_CC_SA	2.8 (d)	1	10	1	10	12.5;0,02	12,5 ; 20,9	12,5 ; 4,8	3;8	0;3	



(a) Avec un coût uniforme sur la zone normale et la zone de recouvrement (PG CU).



(b) Avec un coût supplémentaire de couplage pour les sommets (PG\_CC\_S).

arêtes(PG\_CC\_SA).



Fig. 2.3 – Partitionnement classique du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un graphe.



(a) Influence de la variation du poids des sommets de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge.



(c) Influence de la variation du cout des hyper-arêtes de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de



sommets et du cout des hyper-arêtes normales de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge.







(d) Influence de la variation du cout des hyper-arêtes de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications.



sommets et du cout des hyper-aretes normales de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications.

Fig. 2.4 – Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (1).



Fig. 2.5 – Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (II).

Stratégie	figure	coût Ha			poids S		Equ	ilibrage du po	ids	Commi	unication
Jualegie		cHe	N	В	Ν	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD
PHg_CU	2.6 (a)	0	1	1	1	1	12.5;0.02	12.5;5.4	12.5;12	2;5	0;4
PHg_CC_S	2.6 (b)	0	1	1	1	10	12.5;0.01	12.5;15	12.5;3.6	2;4	2;4
PHg_CC_H	2.6 (c)	0	1	10	1	1	12.5;0.04	12.5;7.1	12.5;16	2;6	0;4
PHg_CC_SH	2.6 (d)	0	1	10	1	10	12.5;0.02	12.5;12.4	12.5;2.8	1;4	2;3



Fig. 2.6 – Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe.



(a) Influence de la variation du poids des sommets de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge



(c) Influence de la variation du cout des hyper-arêtes de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de

charge (avec technique des points fixes).



(e) Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge (avec technique des points fixes).



(b) Influence de la variation du poids des sommets de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications



(d) Influence de la variation du cout des hyper-arêtes de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications

(avec technique des points fixes).



 (f) Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications (avec technique des points fixes).

Fig. 2.7 – Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (avec technique des points fixes) (1).



(g) Influence de la variation du cout des hyper-arêtes de couplage de l'hyper-graphe hyper-arêtes de couplage de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge (avec technique



(h) Influence de la variation du cout des sur les communications (avec technique



sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur les communications (avec technique des points fixes).

Fig. 2.8 - Influence de la variation du poids des sommets et du cout des hyper-arêtes normales et de couplage de la zone de recouvrement de l'hyper-graphe sur l'équilibrage de charge et les communications (avec technique des points fixes) (II).

Stratégie	figure	coût He			poids v		Equi	librage du po	pids	Communication		
Strategie		cHe	N	В	Ν	В	tota	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD	
PHg_HA_CU	2.9 (a)	50	1	1	1	1	12.5;0.03	12.5;5.7	12.5;13	2;4	0;3	
PHg_HA_CC_S	2.9 (b)	50	1	1	1	10	12.5;0.09	12.5;14	12.5;3.3	2;4	1;3	
PHg_HA_CC_H	2.9 (c)	50	1	10	1	1	12.5;0.05	12.5;7.0	12.5;16	2;5	0;4	
PHg_HA_CC_SH	2.9 (d)	50	1	10	1	10	12.5;0.15	12.5;18	12.5;4.2	1;4	1;3	



Fig. 2.9 – Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe et en rajoutant des hyper-arêtes des couplage.

	1					•	_			-	
Stratégie	figure	coût He			poids v		Equ	ilibrage du p	oids	Communication	
Strategie		cHe	N	В	Ν	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD
PHg_PF_SHC	2.10 (a)	0	1	1	1	10	12.5;0.07	12.5;0.4	12.5;0.02	1;2	2;3
PHg_PF_SHC	2.10 (b)	0	1	10	1	10	12.5;0.12	12.5;0.6	12.5;0.02	1;2	2;3
PHg_PF_AHC	2.10 (c)	50	1	1	1	1	12.5;0.04	12.5;0.1	12.5;0.14	1;2	1;2
PHg PF AHC	2.10 (d)	50	1	10	1	10	12.5;0.08	12.5;0.5	12.5;0.06	1;3	1;3



Fig. 2.10 – Partitionnement du maillage d'une géometrie simple en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique des points fixes.

Stratógia	figuro	Equ	oids	Communication		
Strategie	ngure	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD
PHg_MC 2.		12.5;0.22	12.5; 0.23	12.5;0.27	4;6	2;6



Fig. 2.11 – Partitionnement du maillage en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique de multi-contraintes ( $PHg_MC$ ).

#### 2.2 Cas d'une géometrie plus complexe

On a étidié dans la section 2.1 les résultats que nous avons obtenu dans le cas d'une géometrie simple. On va voir dans cette section ce que nous avons obtenu dans le cas d'une géometrie plus compliquée.

Stratégio	figuro	coût A		poids S		Equ	uilibrage du p	poids	Communication		
Strategie	Inguie	Ν	В	N	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD	
PG_CU	2.12 (a)	1	1	1	1	12.5;0	12.5;0.9	12.5;10	3;4	0;4	
PG_CC_S	2.12 (b)	1	1	1	4	12.5;0	12.5;4.6	12.5;12	3;5	0;4	
PG_CC_A	2.12 (c)	1	4	1	1	12.5;0	12.5;1.2	12.5;13	3;5	0;4	
PG_CC_SA	2.12 (d)	1	4	1	4	12.5;0	12.5;4.5	12.5;12	3;5	0;3	

#### 2.2.1 Comparison des différentes stratégies de partitionnement



(a) Avec un coût uniforme sur la zone normale et la zone de recouvrement (PG CU).



(b) Avec un coût supplémentaire de couplage pour les sommets (PG\_CC\_S).

7,00 5,00 5,00 4,00

3,00 2,00 1,00



(c) Avec un coût supplémentaire de couplage pour les arêtes (PG\_CC\_A).

(d) Avec un coût supplémentaire de couplage pour les sommets et les arêtes(PG\_CC\_SA).



#### 2.2. CAS D'UNE GÉOMETRIE PLUS COMPLEXE

Stratógia	figuro	coût He			poids v		Equi	ibrage du po	ids	Communication		
Strategie	Ingule	cHe	N	В	N	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD	
PHg_CU	2.13 (a)	0	1	1	1	1	12.5;0	12.5;1	12.5;11	2;4	0;4	
PHg_CC_S	2.13 (b)	0	1	1	1	4	12.5;0.04	12.5;3.7	12.5;10	2;4	0;3	
PHg_CC_H	2.13 (c)	0	1	4	1	1	12.5;0	12.5;1.2	12.5;13	2;4	0;4	
PHg_CC_SH	2.13 (d)	0	1	4	1	4	12.5;0	12.5;4.7	12.5;13	2;4	0;4	



Fig. 2.13 – Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe.

Stratógia	figuro	со	ût He	e	poids v		Equ	librage du poi	ds	Communication		
Strategie	ligure	cHe	N	В	N	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD	
PHg_HA_CU	2.14 (a)	50	1	1	1	1	12.5;0.07	12.5; 1.29	12.5;14	2;4	0;3	
PHg_HA_CC_S	2.14 (b)	50	1	1	1	4	12.5;0.03	12.5;4.57	12.5;12	2;4	0;3	
PHg_HA_CC_H	2.14 (c)	50	1	4	1	1	12.5;0.09	12.5; 2.99	12.5;33	3;7	0;8	
PHg_HA_CC_SH	2.14 (d)	50	1	4	1	4	12.5;0.16	12.5;6.54	12.5;18	3;5	0;5	



Fig. 2.14 – Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe et en rajoutant des hyper-arêtes des couplage.

#### 2.2. CAS D'UNE GÉOMETRIE PLUS COMPLEXE

Stratégie	figure	coût He			poids v		Equilibrage du poids			Communication	
		cHe	N	В	N	В	total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD
PHg_PF_SHC	2.15 (a)	0	1	1	1	1	12.5;0	12.5; 0.02	12.5;0.20	2;2	2;2
PHg_PF_SHC	2.15 (b)	0	1	4	1	4	12.5;0.2	12.5;0.2	12.5;0.06	2;3	2;2
PHg_PF_AHC	2.15 (c)	50	1	1	1	1	12.5;0.1	12.5; 0.12	12.5;0.12	3;6	1;3
PHg_PF_AHC	2.15 (d)	50	1	4	1	4	12.5;0.2	12.5;0.2	12.5;0.02	2;2	1;3



(c)-(d) Avec hyper-arêtes de couplages (PHg\_PF\_AHC).

Fig. 2.15 – Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique des points fixes.

Stratógia	figure	Εqι	Communication			
Strategie		total	ph1	ph2	FE-FE	FE-MD
PHg_MC	2.16	12.5;0.22	12.5; 0.23	12.5;0.53	2;5	2;4



Fig. 2.16 – Partitionnement du maillage d'une géometrie complexe en le modélisant par un hypergraphe en utilisant la technique de multi-contraintes (PHg MC).

#### 2.3 Meilleur résultats

D'après les comparaisons précédentes on constate qu'on obtient les meilleurs résultats avec la technique des points fixesn ce qui confirme notre prédiction. En effet, le fait de partitionner séparément la région de recouvrement et la région normale garantit équilibrage de charge entre tout les processeurs et pendant les deux phases de la simulation.

# **3** Ce qui reste à faire

Actuellement je suis en train d'integrer le nouveau module d'équilibrage de charge avec *LibMultiScale*. Il faudrai metre à jour les anciens fichiers de cmake et adapter les entrées-sorties des différentes fonction et adapter les structures de données que nous avons utilisé avec les structures existantes. Cela nous permetra de valider expérimentalement les résultats de mesures théoriques que nous avons obtenu et présenté au chapitre 2.

Pour l'instant nous utilisons METIS pour le partitionnement du graphe mais nous avons constaté que la mémoire n'est pas bien gérée dans ce cas. Nous allons donc, tester avec SCOTCH pour comparer les résultats entre les stratégies de partitionnement de graphes et d'hypergraphe.

Il y a plusieurs types de dépendances de calcul pour les éléments finis. Nous avons choisi dans un premier temps de modéliser les éléments finis par les sommets du graphe et de l'hypergraphe. Dans un second temps nous allons modéliser les sommets du maillage par les sommets du graphe et de l'hypergraphe.