

## Etude des potentialités du concept de Grille de Calcul pour la Simulation Electromagnétique de Micro-Systèmes Complexes

F. Khalil<sup>1,2</sup>, F. Coccetti<sup>1</sup>, H. Aubert<sup>1,2</sup>, R. Plana<sup>1,3</sup>, Y. Denneulin<sup>4</sup>, B. Miegemolle<sup>1</sup>, T. Monteil<sup>1</sup>

1 : LAAS-CNRS, 7 Avenue du Colonel Roche, 31077 Toulouse, France

2 : INPT-ENSEEIH, 2 Rue Charles Camichel, 31071 Toulouse, France

3 : Université Paul Sabatier, 118 Route de Narbonne, 31062 Toulouse, France

4 : LIG, antenne ENSIMAG, ZIRST51, av. J.Kuntzmann, 38330 Montbonnot  
Saint Martin, France

### Résumé

La conception et l'optimisation de Micro-Systèmes Electro-Mécaniques (MEMS) doivent s'appuyer sur des outils de simulation électromagnétique précis (rigoureux) et rapides. Or la complexité croissante de ces microsystèmes, c'est-à-dire le nombre de plus en plus élevé de paramètres à optimiser et/ou d'inconnues à déterminer génère des temps de calcul de plus en plus longs et nécessite des capacités mémoires de plus en plus importantes. De nos jours, les outils de simulation se heurtent très souvent aux limitations imposées par le matériel informatique.

Dans cette communication nous proposons d'explorer les potentialités du concept de grille de calcul pour la simulation électromagnétique des micro-systèmes radio-fréquences. A titre d'exemple, le calcul des  $2^6=64$  états de phase d'un déphaseur 6-bit à micro-commutateurs MEMS est distribué sur plusieurs nœuds d'une grille de calcul. Les temps de calcul associés à cette étude sont présentés et discutés.

### I. Introduction

L'augmentation constante des besoins en termes de puissance de calcul informatiques a toujours été un défi auquel la communauté informatique s'est confrontée. Même si les évolutions technologiques des ces dernières années ont permis d'aboutir à la création de machines de plus en plus puissantes, celles-ci ne fournissent toujours pas suffisamment de puissance pour effectuer des calculs d'une complexité élevée, ou traitant un trop grand nombre de données.

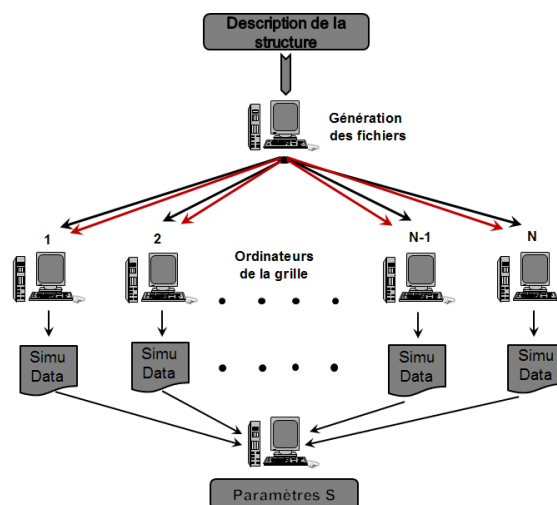


Figure 1: Layout du système réparti

Le calcul parallèle et/ou distribué est une réponse à ce problème [1]. Il s'agit de répartir le calcul sur un ensemble de machines, reliées entre elles par des réseaux rapides, afin d'augmenter les performances pour l'effectuer. Cette idée est à l'origine du calcul sur grille, ou *grid computing*.

Les applications de grilles de calcul et de données se retrouvent dans plusieurs domaines scientifiques. Dans cette communication, nous proposons d'explorer les potentialités du concept de grille de calcul pour la simulation électromagnétique des micro-systèmes radio-fréquences.

La Figure 1 représente la système de répartition des calculs sur les différents nœuds de la grille. Ayant les spécifications et les dimensions de la structure, une machine génère plusieurs fichiers d'entrée correspondant chacun à un état de cette structure. Ces fichiers, qui sont indépendants, sont ensuite répartis sur les machines de calcul sur lesquelles est installé le code de calcul. Les fichiers de sortie sont récupérés à la fin de calcul pour être analysés et calculer les distributions de champs ainsi que les paramètres S.

## II. Simulation électromagnétique d'un déphaseur 6-bit sur une grille de calcul

La simulation électromagnétique a été effectuée à l'aide du logiciel *Yet Another simulation PACKage* (YATPAC) [2]. YATPAC est un logiciel électromagnétique rigoureux basé sur la méthode TLM [3] et dont le déploiement sur une grappe (cluster) de quelques calculateurs s'est avéré très prometteur [4]. Cependant, et à notre connaissance, ce déploiement a été réalisé sur moins d'une dizaine de calculateurs et pour la simulation de structures relativement simples telles que des antennes triangles, des cornets et des cavités cylindriques. Nous proposons ici de l'étendre à la simulation paramétrique d'une structure complexe. Il s'agit d'un déphaseur 6-bit à micro-commutateurs MEMS représenté dans la Figure 2. Ce déphaseur coplanaire est chargé périodiquement par 6 capacités MEMS. Il peut être vu comme une ligne artificielle pour laquelle la vitesse de phase est contrôlée en commutant des capacités de l'état haut à l'état bas [5]. La tension d'actuation est de 75V. Le circuit a été réalisé sur un substrat de Silicium de 500µm d'épaisseur. Il occupe une surface de 0.9mm x 1.4mm. La distance entre les capacités binaires est de 40µm. Le conducteur central de la ligne coplanaire présente une largeur de 80µm and les deux fentes une largeur de 25µm.

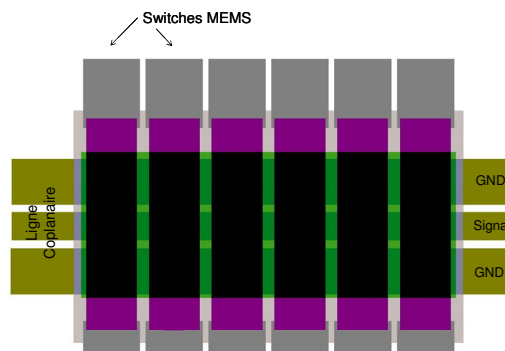


Figure 2: Layout du déphaseur à MEMS contrôlé par des capacités MEMS

Les 6 capacités MEMS réparties le long de la ligne coplanaire permettent de réaliser  $2^6=64$  états de phase différents. Dans un premier temps, le calcul de ces 64 états de phase a été effectué en utilisant : (1) un calculateur, (2) huit calculateurs et (3) une grappe de 64 calculateurs. Les résultats sont reportés dans le Tableau 1.

1 noeuds	8 noeuds	64 noeuds	Type de Calculateur (noeud)
96 heures	12 heures	1.5 heure	Mobile AMD Athlon 1.6GHz
48 heures	6 heures	0.75 heure	Intel Xeon 3.2GHz
40 heures	4.96 heures	0.62 heure	AMD Opteron 246 Bi Pro 2.0GHz

Tableau 1: temps de calcul pour différents environnements de calcul

En utilisant un simple PC double processeur 2.0GHz avec 2GB de RAM, le calcul de 64 états de phase entre 40MHz et 40GHz nécessite  $T_0/2$  jours. Ce même calcul sur une grille de 64 nœuds ne dure qu'une demi heure. Ce résultat a été obtenu en utilisant la plateforme GRID'5000 [6].

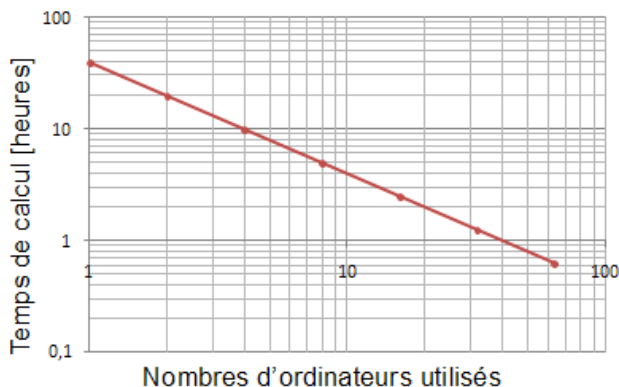


Figure 3: Temps de calcul en fonction du nombre d'ordinateurs

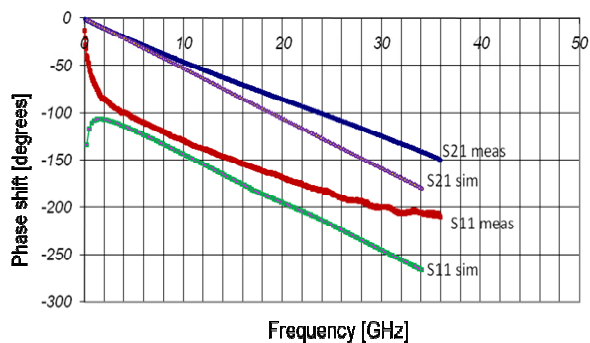


Figure 4 : Phases simulées et mesurées des paramètres S en fonction de la fréquence

Comme indiqué sur la Figure 3, nous avons vérifié que l'utilisation de N nœuds aboutissait bien à un temps de calcul donné par  $T_0/N$ , où  $T_0$  désigne la durée de la simulation lorsqu'un seul calculateur est utilisé. La Figure 4 représente les phases de  $S_{11}$  et de  $S_{21}$  (simulées et mesurées) en fonction de la fréquence. Les différences entre les résultats expérimentaux et numériques à mesure que la fréquence augmente sont dues au fait que le modèle de capacité MEMS introduit dans le simulateur est idéalisé (planéité parfaite du contact sous les micro-commutateurs MEMS).

### III. Conclusion

La simulation électromagnétique d'un déphaseur 6-bit à micro-commutateurs MEMS a été réalisée très avantageusement en déployant une méthode TLM sur une grille de calcul. L'utilisation du concept de grille de calcul avec un nombre plus important de nœuds (au delà de 1000 sur la plateforme Grid'5000) est en cours. Elle nous permettra de mener efficacement des optimisations paramétriques de structures plus complexes tels que des réseaux d'antennes de grande taille et des réseaux réflecteurs à MEMS.

**Remerciements :** Agence Nationale pour la Recherche (Projet MEG) et le Réseau d'Excellence Européen AMICOM.

- [1] M. Quinson: "Découverte automatique des caractéristiques et capacités d'une plate-forme de calcul distribué", thèse à l'ENS-Lyon, décembre 2003.
- [2] YATPAC – Yet Another TLM Package. <http://www.yatpac.org>
- [3] M. Krumpholz, P. Russer, "A Field Theoretical Derivation of TLM, " *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 42, no. 9, pp. 1660-1668, September 1994.
- [4] P. Lorenz, J. V. Vital, B. Biscontini, and P. Russer, "TLM-G – A Grid-Enabled Time-Domain Transmission-Line-Matrix System for the Analysis of Complex Electromagnetic Structures," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 53, no. 11, pp. 3631-3637, November 2005.
- [5] A. Borgioli, Y. Liu, A. S. Nagra, and R. A. York, "Low-Loss Distributed MEMS Phase Shifter," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 1, pp. 7-9, January 2000.
- [6] The official website of GRID5000. <https://www.grid5000.fr>