

Appel à projets FARMAN 2014

SIMSURF 2

**Vers une simulation réaliste des états de surfaces
par calculs massivement parallèles
sur processeurs graphiques**

Pierre-Alain BOUCARD (LMT responsable scientifique)

Sylvain LAVERNHE (LURPA)

Christophe TOURNIER (LURPA responsable scientifique)



Résumé

Pour diminuer le temps de cycle de développement des produits, le LURPA développe des méthodes pour simuler l'évolution des écarts géométriques des surfaces tout au long du processus de fabrication. En particulier, le modèle proposé consiste à exécuter pour chaque opération d'usinage des centaines de millions d'intersections entre un réseau de droites et des primitives 3D, de type sphères, tores ou facettes triangulaires, pour déterminer les traces laissées par un outil coupant ou un abrasif sur une surface.

Le projet SIMSURF 1 (2012-2014) mené en collaboration avec le LMT a montré qu'il est possible de tirer parti des processeurs graphiques Nvidia pour accélérer les calculs de simulation d'usinage de manière significative par rapport à une configuration CPU multi-cœurs. Ainsi des diminutions de temps de calcul d'un facteur 10 ont été observées en simple précision (32-bit) et d'un facteur 3 en double précision (64-bit).

Malgré ces améliorations, les premiers essais ont montré que la simulation cinématique de l'enlèvement de matière par abrasion reste hors de portée. Pour passer un nouveau cap dans la diminution des temps de calcul, nous souhaitons explorer deux voies complémentaires. La première solution est l'utilisation du moteur de rendu par « ray tracing » OptiX développé par Nvidia. Ce moteur permet d'accélérer les calculs d'intersection entre des droites et des primitives 3D. La seconde solution, matérielle, consiste à exploiter plusieurs cartes de type Nvidia GeForce en mode 32-bit.

D'autre part il est indispensable de travailler sur le modèle de simulation proposé et en particulier sur la modélisation des outils abrasifs. En effet, la durée de vie d'un abrasif est relativement courte, de l'ordre de 100 secondes, et son usure doit être prise en compte dans le modèle. Il est donc nécessaire d'explorer les techniques d'érosion de maillage associées à des modèles éventuellement stochastiques pour simuler la perte d'efficacité de l'abrasif.

Le projet SIMSURF 2 a donc pour objet d'explorer les voies qui permettront une simulation réaliste des états de surface obtenus par abrasion. Pour cela, nous nous fixons plusieurs objectifs :

- L'utilisation du moteur de calcul OptiX pour accélérer les calculs,
- La mise en oeuvre de clusters de cartes GeForce pour accélérer les calculs,
- Le développement de modèles d'érosion de maillage pour la prise en compte de l'usure des abrasifs.

Ce projet, d'une durée de 2 ans, est porté par et Pierre-Alain Boucard (LMT, 10 %), Sylvain Lavernhe (LURPA, 10 %) et Christophe Tournier (LURPA, 10 %).

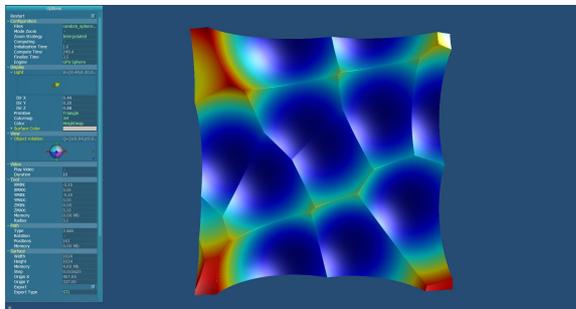
La première partie du travail sera menée par un étudiant l'école d'ingénieur type EPITA dans le cadre des stages de dernière année d'une durée de 6 mois. Le financement, d'un montant de 12 k€ pour ce type de prestation, sera assuré sur fonds propres. Une autre enveloppe de 2.5k€ de crédit de fonctionnement permettra de financer un stage de M2 au sujet de la modélisation des abrasif et de leur usure. Pour la réussite du projet, nous devons investir dans l'achat d'un cluster de 4 cartes graphiques de type GeForce pour 8.5 k€.

Le coût total du projet est donc de 23 k€ et nous souhaitons obtenir le soutien de l'institut Farman pour un montant de 11k€.

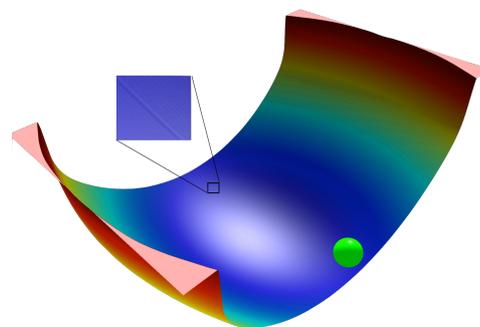
Problématique

Quelle que soit l'industrie considérée, l'ensemble des produits manufacturés possède des surfaces qui interagissent avec des éléments extérieurs et qui sont conçues pour assurer des fonctions techniques qui imposent les écarts géométriques ou/et les topographies de surface admissibles et donc les processus de fabrication. La compétitivité et la productivité des entreprises passent, en particulier, par la diminution du temps de cycle de développement des produits. Il est donc essentiel de pouvoir prédire et simuler l'évolution des écarts géométriques des surfaces tout au long du processus de fabrication afin d'en faciliter le réglage et d'optimiser son déroulement.

Afin de palier aux déficits de solutions proposées par les logiciels de FAO pour la simulation des écarts micro géométriques, nous avons précédemment développé, au sein du projet FARMAN SIMSURF 1 (2012-2014) un logiciel [1] qui s'appuie sur des méthodes de simulation issues de la littérature [2-3] et tire partie des architectures massivement parallèles des cartes graphiques. Nous avons utilisé en particulier la technologie CUDA proposée par la société Nvidia qui permet d'utiliser les capacités de calcul massivement parallèle des cartes graphiques pour implémenter des algorithmes exhibant un fort parallélisme. Cela a permis d'accélérer la simulation de manière significative par rapport à une configuration CPU multi-cœurs. Ainsi des diminutions de temps de calcul d'un facteur 10 ont été observées en simple précision (32-bit) et d'un facteur 3 en double précision (64-bit) pour des simulations de fraisage de finition 5 axes à l'outil hémisphérique ou torique.



Logiciel de simulation : Interface et résultat de simulation micro géométrique



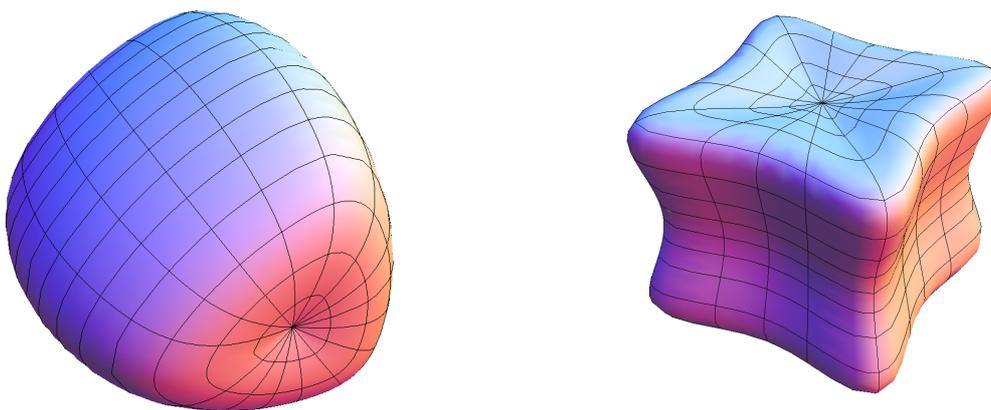
Simulation sur pièce industrielle

Ce logiciel permet de simuler l'enlèvement de matière à deux niveaux d'échelles géométriques. La première est celle utilisée actuellement par les logiciels de FAO (échelle mesoscopique). L'outil est modélisé par une entité canonique (cylindre, sphère ou tore) et l'ordre des défauts est celui des paramètres de calcul des trajectoires, c'est-à-dire 100 μm environ. La seconde échelle, microscopique, consiste à modéliser l'outil et ses arêtes de coupe en intégrant la vitesse de déplacement et de rotation de l'outil pour simuler les traces laissées par les dents. Les détails sont ici simulés avec une précision de l'ordre de 1 μm .

Les résultats obtenus par l'outil de simulation développé dans SIMSURF 1 permettent donc de simuler ces deux niveaux d'échelles géométriques dans des temps raisonnables (de l'ordre de quelques secondes) tout en prédisant les défauts géométriques et les textures de surfaces obtenues par enlèvement de matière, où la coupe de la matière est abordée d'un point de vue purement géométrique. Le challenge proposé par SIMSURF 2 est de pouvoir effectuer des simulations de défauts pour le procédé d'abrasion, mis en œuvre par exemple lors du polissage, avec des temps de calcul raisonnables - capacité non existante à ce jour dans la communauté.

Malgré les améliorations précédemment obtenues, les premiers essais ont montré que la simulation cinématique de l'enlèvement de matière par abrasion lors d'une opération de pré polissage reste hors de portée. En effet le défi est de pouvoir simuler les écarts géométriques générés par la succession de toutes les opérations d'usinage jusqu'à l'obtention d'états de surfaces poli-miroir obtenus par abrasion. Cette caractéristique de réflexion est atteinte lorsque les écarts géométriques sont de l'ordre de 50 nm, c'est à dire 10 fois inférieurs à la longueur d'onde de la lumière visible [4]. Il est donc nécessaire de passer aux échelles de défauts inférieures.

La troisième échelle est celle du grain abrasif de quelques dizaines de micromètres qui permet d'effectuer les opérations de pré polissage. Les particules sont agglomérées sur un support cylindrique, sphérique ou plan. Les détails sont de l'ordre de 100 nm (échelle nano). Il est donc nécessaire de modéliser les particules abrasives agglomérées qui usinent la surface. Cependant, la densité du maillage de l'abrasif et la longueur de la trajectoire trochoïdale 5-axes utilisée posent des problèmes de temps de calculs mais également d'allocation mémoire. De plus, il paraît indispensable d'enrichir les simulations de phénomènes réels plus complexes liés par exemple à l'usure des abrasifs. Une piste à exploiter pour faciliter la modélisation de l'usure des particules, est d'en avoir une représentation géométrique adaptée basée par exemple sur les Superquadrics [5] ou la superformule de Giellis [6].



Exemples de quadriques de Giellis

Objectifs

Quelle que soit l'échelle, la technique de simulation que nous avons retenue est celle du N-Buffer [2]. Cela consiste à partitionner l'espace avec des droites normales à la surface considérée et à calculer les intersections de la trajectoire de l'outil avec ce réseau de droite. Dans la simulation, l'outil peut lui-même être représenté par un maillage dont la taille influe directement sur le temps de calcul. La méthode consiste à calculer les intersections entre le maillage de l'outil et le N-buffer pour des positions successives de l'outil représentant son mouvement le long de la trajectoire.

L'opération de base est identique à celle effectuée lors des opérations de « ray-tracing », il s'agit du calcul de l'intersection d'un triangle et d'une droite. Le problème est donc massivement parallèle puisque dans une première approche purement cinématique [7], il n'existe aucune notion d'antériorité. Pour réduire davantage le temps de calcul, nous souhaitons mettre en oeuvre le moteur de lancer de rayon OptiX développé par Nvidia pour calculer les intersections entre les droites qui partitionnent l'espace et les primitives (triangles, sphères) qui représentent l'outil [8]. L'avantage est de pouvoir exécuter des fonctions de bas niveau, parfaitement adaptées par définition à l'architecture des cartes graphiques Nvidia. De plus, ces calculs seront exécutés sur des « clusters » de GPUs pour réduire encore les temps de calcul. Cet objectif requiert des compétences pointues en informatique c'est pourquoi cette partie sera menée par un stagiaire de dernière année d'école d'ingénieur en informatique. Ainsi il serait possible de tirer profit simultanément d'une meilleure exploitation des bibliothèques Nvidia, mais également des compétences et expertises des stratégies de répartition de calcul sur clusters actuellement pratiquées au LMT en calcul de structure. L'utilisation de bibliothèques spécialisées dans la gestion de plusieurs GPUs est une piste à explorer (SkePU [9], MVAPICH2 [10]).

Le deuxième objectif est la définition d'un modèle pour représenter les outils abrasifs. Pour les opérations de pré polissage, les abrasifs sont des grains calibrés à différentes tailles selon le grade, et disposés sur des supports. En premier lieu, il est plus simple de travailler sur un maillage résultant de l'identification par moyen optique de la topographie de l'abrasif. Cela permettra d'avoir un premier modèle pour tester les performances des nouvelles implémentations logicielles et matérielles de la simulation. Ainsi les différents moyens de mesure dont disposent le LURPA et le pôle Ile de France de l'AIP Primeca pourront être utilisés pour obtenir des géométries représentatives.

Pour obtenir une simulation plus réaliste du procédé, il est nécessaire de disposer d'un modèle géométrique qui puisse intégrer l'usure de l'abrasif. Par conséquent, des méthodes d'érosion de maillage doivent être mises en oeuvre et recalées par rapports aux essais d'usure menés précédemment [11]. En effet, le laboratoire a développé un abaque décrivant la géométrie de contact surfacique outil-surface ainsi que la pression de contact locale ; cette table de données servirait de base pour la prise en compte de l'érosion sur la géométrie des abrasifs.

Enfin une réflexion sur l'intégration de ce comportement mécanique et géométrique dans le calcul doit être menée. En effet, lors des stratégies de simulation d'enlèvement matière précédemment établies, il était possible de paralléliser totalement les calculs géométriques. La causalité induite par l'érosion cumulée en polissage oblige à redéfinir les stratégies de calculs parallèles. Il serait alors particulièrement important d'étudier le couplage entre le comportement mécanique et la géométrie résultante pour simuler rapidement une surface polie.

Organisation

Ce projet, d'une durée de 2 ans, est porté par l'équipe suivante :

- Pierre-Alain Boucard, professeur, LMT - responsable scientifique, 10 %.
- Sylvain Lavernhe, MCF, LURPA, 10%
- Christophe Tournier, professeur, LURPA - responsable scientifique, 10 %.

Demands financières

Le montant total du projet est de 23 k€, dont 12 k€ de salaire pris sur fonds propres et l'aide demandée s'élève à 11 k€ (8.5 k€ Investissement/2.5 k€ fonctionnement)

Références

- [1] F. Abecassis, S. Lavernhe, C. Tournier, P-A. Boucard, Performance Evaluation of CUDA programming for machining simulation, International Conference on Graphics Engineering, Madrid (Spain), June 2013
- [2] R. Jerard, R. Drysdale, K. Hauck, B. Schaudt, and J. Magewick. Methods for detecting errors in numerically controlled machining of sculptured surfaces. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 9(1):26–39, 1989.
- [3] Y. Quinsat, L. Sabourin, and C. Lartigue. Surface topography in ball end milling process: Description of a 3d surface roughness parameter. *Journal of materials processing technology*, 195(1-3):135–143, 2008.
- [4] P. Beckmann. Scattering by composite rough surfaces. *Proceedings of the IEEE*, 53(8):1012 – 1015, 1965.
- [5] A.H. Barr, Superquadrics and angle-preserving transformations. *IEEE Comput. Graphics Appl.* 1(1) : 11-23, 1981.
- [6] J. Gielis, A generic geometric transformation that unifies a wide range of natural and abstract shapes, *American Journal of Botany* 90(3): 333-338, 2003.
- [7] F. Klocke, O. Dambon et B. Behrens : Analysis of defect mechanisms in polishing of tool steels. *Production Engineering*, 5:475–483, 2011.
- [8] Nvidia OptiX Ray Tracing Engine, Programming guide, Version 3.0, 2012.
- [9] M. Majeed, U. Dastgeer, and C. Kessler : Cluster-SkePU : A Multi-Backend Skeleton Programming Library for GPU Clusters. *Proc. Int. Conf. on Parallel and Distr. Processing Techniques and Applications (PDPTA-2013)*, Las Vegas, USA, 2013.
- [10] MVAPICH: MPI over InfiniBand, 10GigE/iWARP and RoCE : <http://mvapich.cse.ohio-state.edu>
- [11] A. Guiot, Modélisation et simulation du procédé de prépolissage automatique sur centre d'usinage 5 axes, Thèse de doctorat en génie mécanique, ENS de Cachan, 212 p., Décembre 2012