



Offre n°2022-04769

Doctorant F/H ThurstonVR - Réalité virtuelle dans des espaces non-euclidiens

Type de contrat : CDD

Niveau de diplôme exigé : Bac + 5 ou équivalent

Fonction : Doctorant

A propos du centre ou de la direction fonctionnelle

Le centre Inria Rennes - Bretagne Atlantique est un des huit centres d'Inria et compte plus d'une trentaine d'équipes de recherche. Le centre Inria est un acteur majeur et reconnu dans le domaine des sciences numériques. Il est au cœur d'un riche écosystème de R&D et d'innovation : PME fortement innovantes, grands groupes industriels, pôles de compétitivité, acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur, laboratoires d'excellence, institut de recherche technologique

Contexte et atouts du poste

Dans le cadre d'un partenariat entre l'IRMAR, institut de recherche en Mathématiques, et l'équipe de recherche en réalité virtuelle du centre de recherche Inria, Hybrid, ce projet de thèse inter-disciplinaire financé par une bourse 80 Prime combine géométries non euclidiennes et réalité virtuelle.

Le but du projet est de proposer une nouvelle méthodologie pour augmenter la compréhension des géométries non-euclidiennes à travers une exploration en réalité virtuelle (temps réel, 3D).

Les fondements de la géométrie euclidienne remontent aux grecs anciens. Dans ses travaux qui compilent le savoir de son époque, Euclide formule cinq postulats dont tout le reste découle. Longtemps ce socle fut perçu comme inébranlable. Très tôt, le cinquième postulat a cependant joué un rôle particulier : de nombreux mathématiciens ont cherché, en vain, à démontrer qu'il pouvait se déduire des quatre autres. Au XIXème siècle, Gauß, Bolyai et Lobatchevski ont observé qu'il existait d'autres géométries possibles, dites non-euclidiennes, comme autant de « mondes parallèles », dans lesquelles le cinquième postulat d'Euclide n'est pas toujours vrai. Cette découverte a fondamentalement changé notre approche de la géométrie.

Depuis, les mathématiciens on cherché à « classier » toutes les géométries possibles. La conjecture de géométrisation de Thurston – démontrée par Perelman – stipule que toute variété de dimension trois, fermée, orientable et indécomposable peut être découpée le long de tores, de sorte que l'intérieur de chaque sous-variété peut être muni d'une structure géométrique parmi les huit modèles suivants appelés *géométries de Thurston* : les géométries isotropes E_3 , S_3 et H_3 , les géométries produits $H_2 \times E$ et $S^2 \times E$, ainsi que les groupes de Lie Nil, Sol et $SL(2, R)$.

Inspiré par les travaux de Weeks [12] et Berger [9], une équipe internationale de quatre mathématiciens dont Rémi Coulon (IRMAR) a développé un logiciel, sous forme d'une application web (<http://www.3-dimensional.space>) pour simuler ce que verrait un habitant dans chacune d'elle [1]. La difficulté vient du fait que la lumière ne se déplace en général pas en ligne droite. Le rendu graphique final est très déroutant, même pour des experts. Cela témoigne à quel point certains aspects de ces géométries restent mystérieux. La nouveauté de notre projet sera de mettre en place un programme d'interactions *multi-sensorielles* dans ces géométries, en réalité virtuelle via un casque ou une salle immersive comme la plateforme Immersia.

L'équipe Hybrid de l'IRISA est spécialiste de la Réalité Virtuelle et des interactions multi-sensorielles [2]. Adossée au centre INRIA Rennes Bretagne-Atlantique et au laboratoire IRISA, Immersia (<https://www.irisa.fr/immersia>) est une plateforme de recherche de réalité virtuelle. Elle est constituée d'un équipement immersif de grande taille plongeant l'utilisateur dans un monde visuel, auditif et haptique de haute qualité. Cet outil technologique de 10m de large, 3m de haut et 3m de profondeur permet une interaction avec un monde virtuel. Elle dispose également d'un dispositif unique d'interaction bi-manuelle haptique dans tout l'espace capable de transporter un utilisateur.

Immersia est avant tout un outil de recherche, ouvert à la population scientifique, qu'elle soit régionale, nationale ou européenne, académique ou industrielle. Membre d'une infrastructure de recherche nationale regroupant les grands équipements de visualisation et d'interaction, elle est associée à plusieurs projets PIA (DemoES AIR, EUR Digisport, Equipex+ Continuum) et participe à de nombreux projets internationaux (INTEREG, H2020, JPI...).

Un travail préliminaire a été réalisé en 2020/2021 par des étudiants de l'INSA qui ont implémenté au sein de la plateforme Immersia cinq des huit géométries de Thurston.

La méthodologie proposée donnera au mathématicien de nouvelles clefs pour développer son intuition. Plus encore que le résultat final, c'est le chemin à parcourir qui sera source de progrès. En effet les problèmes à résoudre pour donner vie à ces géométries sont souvent éloignés des préoccupations habituelles des mathématiciens. Voici un exemple très simple. Pour calculer un ce problème n'est pas encore résolu. On se contente pour le moment d'un ombrage approximatif.

Ce projet est donc une manière de poser un regard neuf sur des mathématiques anciennes. Il permet de soulever des problèmes de recherche originaux. Voici quelques exemples de pistes à explorer.

- Comme la lumière, le comportement des ondes sonores est très différent d'une géométrie à l'autre. Nous souhaitons explorer les modèles de propagation et de rendu des ondes sonores ainsi que leur perception « spatialisée » dans les univers non Dans un premier temps il faudra analyser l'équation des ondes dans les géométries de Thurston. Une seconde étape, qui relève du traitement du signal, consistera à élaborer les filtres nécessaires, de sorte que lorsque l'utilisateur émet un son, les enceintes lui renvoient un signal simulant le rendu sonore dans chacune des géométries. Le rendu graphique des géométries de Thurston a déjà permis de mettre en lumière des comportements très surprenant qu'il a fallu analyser [10,11]. Nous sommes extrêmement curieux d'expérimenter ce que cette fonctionnalité apportera à notre compréhension des univers non-euclidiennes.
- Lorsque la géométrie n'est pas isotrope, tous les mouvements dont nous avons l'habitude ne correspondent pas forcément à des isométries. Par exemple le stabilisateur d'un point dans Sol est un groupe Il en résulte qu'un geste aussi simple que tourner la tête ne peut se faire sans déformation. Un habitant de Sol devrait donc ressentir des contraintes s'exerçant sur lui. Certains mouvements nécessiteront plus d'effort que d'autres. Comprendre ce phénomène passe par l'étude des lois physiques dans les mondes non euclidiens. L'équipement d'Immersia permettra d'expérimenter une navigation haptique, c'est à dire avec une perception des efforts physiques nécessaires aux déplacements.
- A partir du moment où on place un utilisateur en interaction avec un environnement, non-euclidien dans notre cas, un problème de performance se pose pour que cette interaction puisse être réalisée en temps réel interactif (très faible latence pour le calcul de tous les phénomènes mathématiques et/ou physiques). Un travail d'optimisation de fond est donc nécessaire pour enrichir l'outil, améliorer la qualité du rendu, tout en maintenant les performances requises pour un usage en temps réel. En effet, si la fréquence de rafraichissement des images n'est pas assez élevée, l'utilisateur pourrait être sujet à des effets désagréables (maux de têtes, nausées, etc) connus sous le nom de cybercinétose. Cela suppose notamment de revisiter les outils mathématiques mis en œuvre pour le rendu 3D des géométries, le calcul de la propagation du son, les déplacements dans l'environnement.

Références

[1] Coulon, E. A. Matsumoto, H. Segerman, and S. J. Trettel *Ray-marching Thurston geometries*. ArXiv 2010.15801, 2020. à paraître dans *Experimental Math*.

[2] Nicolas, R. Gagne, C. Tavernier, Q. Petit, V. Gouranton, and B. Arnaldi *Touching and interacting with inaccessible cultural heritage*. *Presence : Teleoperators and Virtual Environments*, 24(3) :265–277, 2015.

[3] Bruno Arnaldi, Pascal Guitton, Guillaume Réalité virtuelle et réalité augmentée : mythes et réalités. ISTE éditions, pp.324, 2018

[4] François Lehericey, Valérie Gouranton, Bruno Arnaldi. GPU Ray-Traced Collision Detection: Fine Pipeline Reorganization. *Proceedings of 10th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP'15)*, Mar 2015, Berlin, Germany

[5] Morgan Le Chénéchal, Thierry Duval, Valérie Gouranton, Jérôme Royan, Bruno The Stretchable Arms for Collaborative Remote Guiding. *Proceedings of International Conference on Artificial Reality and Telexistence Eurographics Symposium on Virtual Environments*, 2015, Kyoto, Japan

[6] Francesco Grani, Ferran Argelaguet Sanz, Valérie Gouranton, Marwan Badawi, Ronan Gagne, et . Audio-Visual Attractors for Capturing Attention to the Screens When Walking in CAVE Systems. *Sonic interaction with a virtual orchestra of factory machinery*, IEEE VR, Mar 2014, Minneapolis, United States.

[7] Vailland, , Grzeskowiak, F., Devigne, L., Gaffary, Y., Fraudet, B., Leblong, E., ... & Babel, M. (2019, June). User-centered design of a multisensory power wheelchair simulator: towards training and rehabilitation applications. In *2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*(pp. 77-82). IEEE

[8] Guillaume Claude, Valérie Gouranton, Rozenn Bouville Berthelot, Bruno Arnaldi, #SEVEN, a Sensor Effector Based Scenarios Model for Driving Collaborative Virtual Environment, ICAT-EGVE, International Conference on Artificial Reality and Telexistence, Eurographics Symposium on Virtual Environments, Dec 2014, Bremen,

[9] Pierre Berger, *Espaces Imaginaires*, <http://espaces-imaginaires.fr>,

[10] Rémi Coulon, Elisabetta Matsumoto, Henry Segerman, and Steve Trettel, *Non-euclidean virtual reality III: Nil*, Proceedings of Bridges 2020: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture (Phoenix, Arizona), Tessellations Publishing, 2020, 153–160.

[11] Rémi Coulon, Elisabetta Matsumoto, Henry Segerman, and Steve Trettel, *Non-euclidean virtual reality IV: Sol*, Proceedings of Bridges 2020: Mathematics, Art, Music, Architecture, Education, Culture (Phoenix, Arizona), Tessellations Publishing, 2020, 161–168.

[12] Jeffrey Weeks, *Curved Spaces, a flight simulator for multiconnected universes*, available from <http://www.geometrygames.org/CurvedSpaces/>

Compétences

Ce projet nécessite une double compétence mathématique et informatique. L'ordinateur est un outil dénué d'initiative qui ne fait qu'exécuter les instructions qu'on lui donne ! Aussi, chaque fonctionnalité que nous projetons développer nécessitera un travail en amont à la frontière entre géométrie, topologie, analyse numérique, optimisation, pour modéliser les objets mathématiques à implémenter, et identifier les algorithmes pour les calculer.

L'équipe Hybrid est spécialisée dans le domaine de la réalité virtuelle, la réalité augmentée, et des interaction multimodales dans ces environnements [3]. Dans le cadre de ces recherches, les membres de l'équipe Hybrid s'intéressent à la fois à la performance de la simulation [4], aux modalités d'interaction [5], aux problématiques de perception visuelle et sonore [6], à la qualité de l'expérience de l'utilisateur [7] et enfin à l'augmentation de la productivité des applications de RA/RV par la proposition d'abstractions logicielles [8].

Les contraintes concrètes (liés au matériel informatique, aux problèmes de performances, etc) seront autant de défis à résoudre mathématiquement.

Cette thèse serait dirigée par Rémi Coulon et Valérie Gouranton. L'accent y sera mis sur les aspects mathématiques du projet. Il est en effet important de bien clarifier cette partie avant de se lancer dans l'implémentation machine. La tâche du doctorant serait de développer le volet de perception multi sensorielle et interaction de l'application.

Quand bien même leur implication n'est pas strictement nécessaire, nos collaborateurs américains avec lesquels ce projet a démarré seront conviés à participer. Leur expertise concernant les interactions physique dans les géométries de Thurston pourra être utile.

Avantages

- Prise en charge à 50 % des frais de transport en commun sur le trajet domicile-travail ou FMD.
- Restauration subventionnée
- Prise en charge partielle des frais de mutuelle
- Possibilité de télétravail (à hauteur de 90 jours annuels) et d'aménagement du temps de travail

Rémunération

Rémunération mensuelle brute de 1982 euros les deux premières années et 2085 euros la troisième année

Informations générales

- **Thème/Domaine** : Interaction et visualisation
- **Ville** : Rennes
- **Centre Inria** : [Centre Inria de l'Université de Rennes](#)
- **Date de prise de fonction souhaitée** : 2022-10-01
- **Durée de contrat** : 3 ans
- **Date limite pour postuler** : 2022-06-17

Contacts

- **Équipe Inria** : [HYBRID](#)
- **Directeur de thèse** :
Gouranton Valerie / Valerie.Gouranton@irisa.fr

A propos d'Inria

Inria est l'institut national de recherche dédié aux sciences et technologies du numérique. Il emploie 2600 personnes. Ses 215 équipes-projets agiles, en général communes avec des partenaires académiques, impliquent plus de 3900 scientifiques pour relever les défis du numérique, souvent à l'interface d'autres disciplines. L'institut fait appel à de nombreux talents dans plus d'une quarantaine de métiers différents. 900 personnels d'appui à la recherche et à l'innovation contribuent à faire émerger et grandir des projets scientifiques ou entrepreneuriaux qui impactent le monde. Inria travaille avec de nombreuses entreprises et a accompagné la création de plus de 200 start-up. L'institut s'efforce ainsi de répondre aux enjeux de la transformation numérique de la science, de la société et de l'économie.

Attention: Les candidatures doivent être déposées en ligne sur le site Inria. Le traitement des candidatures adressées par d'autres canaux n'est pas garanti.

Consignes pour postuler

Merci de déposer en ligne CV, lettre de motivation et éventuelles recommandations

Sécurité défense :

Ce poste est susceptible d'être affecté dans une zone à régime restrictif (ZRR), telle que définie dans le décret n°2011-1425 relatif à la protection du potentiel scientifique et technique de la nation (PPST). L'autorisation d'accès à une zone est délivrée par le chef d'établissement, après avis ministériel favorable, tel que défini dans l'arrêté du 03 juillet 2012, relatif à la PPST. Un avis ministériel défavorable pour un poste affecté dans une ZRR aurait pour conséquence l'annulation du recrutement.

Politique de recrutement :

Dans le cadre de sa politique diversité, tous les postes Inria sont accessibles aux personnes en situation de handicap.