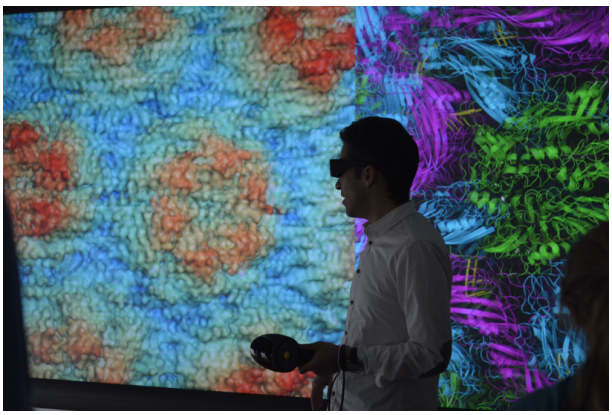
L'ENS Cachan voit grand avec le mur d'images SHIVA

L'École Normale Supérieure de Cachan s'est dotée d'un dispositif immersif 3D stéréoscopique nommé SHIVA, acronyme de *SHared Interaction & Visualization Area*. Il s'agit principalement d'une dalle murale en verre d'une taille de 5,5 m de longueur par 2 m de hauteur. Deux projecteurs Full HD projettent par l'arrière une image 3D de 3335x1200 pixels offrant une vision stéréoscopique de grand confort par l'intermédiaire de lunettes 3D actives.



Le dispositif est également équipé d'un système de tracking infra-rouge permettant le plongement immersif et l'interaction au moyen de *joysticks* ou de capteurs installés sur le corps humain. L'ensemble est complété par un système de son spatialisé 7.1 et un multiplexeur de flux multimédia. Des travaux ont permis l'intégration de SHIVA dans l'une des grandes salles de l'ENS Cachan, servant autant pour les réunions institutionnelles de l'Ecole (Conseil d'Administration, Conseil scientifique) que dispositif expérimental pour la Recherche et l'Enseignement.

SHIVA, équipement de DIGISCOPE

SHIVA, est l'une des composantes du projet DIGISCOPE, Équipement d'Excellence du Programme Investissements d'Avenir (lauréat 2010, EquipEx ANR-EQPX-10-26-1), dont le porteur de projet est Michel Beaudoin Lafon, Professeur au LRI (Laboratoire de Recherche en Informatique), Université Paris-Sud Orsay. Doté de 6,7 M€, DIGISCOPE est un dispositif de moyens de visualisation et d'interaction installés sur plusieurs sites de l'Université Paris-Saclay : CEA, École Centrale Paris, École Normale Supérieure de Cachan, PCRI/INRIA, Maison de la Simulation, Télécom Paristech, Université Paris-Sud Orsay, Université de Versailles Saint-Quentin. DIGISCOPE a pour ambition de créer un réseau collaboratif d'équipement de visualisation volontairement hétérogènes. Chaque équipement a sa spécificité : C.A.V.E., grande surface d'affichage, grande résolution, interaction tactile/3D/haptique, son spatialisé. Il est envisagé aussi l'installation de moyens de télé-présence donnant ainsi l'impression aux utilisateurs distants d'être réunis dans une même salle de travail. DIGISCOPE devrait être totalement déployé d'ici la fin 2015 et constituera une infrastructure étendue de visualisation unique au monde.

Au sein de l'ENS Cachan, SHIVA est un équipement propre de l'Institut FARMAN (Fédération de Recherche CNRS FR 3311), institut Fédératif regroupant cinq Laboratoires de l'École autour de la modélisation, la simulation numérique et l'Ingénierie des systèmes complexes : Centre de Mathématiques et de leurs Applications CMLA UMR CNRS 8536, Laboratoire de Mécanique et Technologies LMT Cachan UMR CNRS 8535, Laboratoire de Spécifications et Vérification LSV UMR CNRS 8643, La-

boratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée LURPA EA 1385, et Laboratoire des Systèmes Avancés et Technologies de l'Information et des Systèmes SATIE UMR CNRS 8029.

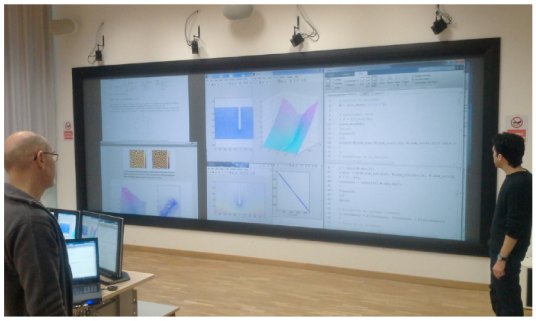
SHIVA, pour quoi faire ?

A l'époque de la miniaturisation des moyens d'information et de communication (*smarphone*, *tablet*) dans un environnement de données distribuées et partagées (*cloud*), DIGISCOPE joue au contraire la carte des grandes surfaces de visualisation et des espaces immersifs. La montée en puissance du "*Big Data*" (grandes masses de données) notamment pour la découverte scientifique et technologique, l'extraction de connaissances, la prise de décision, la gestion des incertitudes ou les statistiques conduit forcément au besoin croissant de visualiser et d'interagir avec les données. Par exemple, il peut s'agir du besoin de représenter plusieurs vues du même objet pour se faire une opinion ou dégager un consensus, ou encore de représenter un "nuage" de différentes données du même type. Les "données" sont à prendre ici au sens large : données géographiques, temporelles, spatio-temporelles, paramétrées, graphes et relations, images IRM, images de tomographes, résultats de simulation numérique, modèles, informations sur les incertitudes, etc.

SHIVA, premiers cas d'utilisation

Cours et travaux pratiques de mise en œuvre de méthodes numériques

Il s'agit là d'un cas d'utilisation de SHIVA dans un contexte de formation. Des travaux pratiques (TP) de mise en œuvre de méthodes numériques pour la modélisation et la simulation vont nécessiter l'utilisation d'un ensemble de documents et outils tels que l'énoncé (au format *pdf*), un environnement de développement informatique (par exemple Matlab ou Scilab), un mode "*command-line*" pour la vérification de code, différents type de rendus graphiques de résultats, et l'utilisation d'un tableau blanc pour l'accompagnement du TP et les développements théoriques ou techniques.



Avec un équipement standard (tableau + vidéo-projecteur), on est très souvent limité par la taille d'affichage pour visualiser l'ensemble des outils et documents. Un mur d'image tel que SHIVA offre une surface étendue sur laquelle on peut arranger toutes les "vues" du TP. D'autres perspectives s'offrent évidemment à nous : l'utilisation par exemple d'une tablette avec stylet en guise de tableau blanc interactif visionné sur SHIVA. La possibilité aussi de pouvoir exporter les résultats de simulation des étudiants permet la comparaison des résultats directement sur le mur.

Visualisation de dynamiques conformationnelles de molécules

La visualisation 3D est essentielle pour la compréhension des structures et des fonctions des macromolécules biologiques. Les outils de visualisation (PyMol, VMD, Raster3D, PMV, Chimera) offrent de puissants moyens pour aborder cette analyse de systèmes biologiques complexes. Ils jouent un rôle de

plus en plus important dans la manipulation et l'exploration intuitive d'objets biologiques à l'échelle moléculaire et atomique. Au sein de l'ENS Cachan, Luba Tchertanov, Directrice de Recherche CNRS et son équipe utilisent désormais ce mur pour leur recherche scientifique d'intérêt clinique. SHIVA offre l'opportunité d'études et de descriptions de cibles thérapeutiques à tous niveaux de granulation : atomique, moléculaire, assemblage, en mode statique ou dynamique, et est complémentaire à la compréhension de leurs fonctions à l'état physio-pathologique.

La visualisation 3D stéréoscopique telle qu'elle est présentée sur la plateforme SHIVA, permet de s'interroger sur les interactions entre les protéines formant de grands ensembles moléculaires complexes (voir figure ci-contre) ou d'une protéine avec la membrane biologique. La dynamique en 3D, permettant de percevoir les changement séquentiels d'images en fonction du temps, semblent particulièrement adaptées pour étudier des changements de conformation globaux des bio-molécules, tels qu'ils sont observés en cours des simulations de dynamique moléculaire à grande échelle. La représentation de ces processus sans visualisation appropriée est plus complexe que la description d'un fantôme. SHIVA permet l'utilisation de différents niveaux de représentation : stéréoscopique, dynamique ou haptique.

Simulation de tsunami, intégration et visualisation dans Google Earth

La simulation et la visualisation de vagues tsunami provoquées par un tremblement de terre ou un glissement de terrain sous-marin sont utiles à plusieurs raisons. La première est l'évaluation du risque sous deux aspects : l'urgence et la planification. En urgence, il est très important de pouvoir se rendre compte de la taille de l'inondation possible des terres ainsi que de la trajectoire et du temps d'arrivée des vagues tsunami. Les variations importantes de l'inondation, dues aux caractéristiques variables de l'origine du tsunami, vont avoir une influence sur la façon de planifier des secours ou d'organiser des évacuations de la population vivant dans les zones à risques.

Avoir un grand écran de visualisation avec des capacités 3D immersif et interactif permet d'englober une plus grande région pour la prise de décision collaborative d'un groupe d'experts réunis en urgence. D'un point de vue planification, des cartes de risques construites à partir de possibles scénarios doivent être présentées aux décideurs. Ces cartes devraient de manière idéale inclure des incertitudes possibles autour d'un scénario moyen, et cela requiert des capacités de visualisation 3D immersive et interactive pour pouvoir s'immerger et naviguer dans les possibles surfaces de risque d'inondation. La deuxième raison de l'utilisation de moyens avancés de visualisation est la recherche scientifique. En effet, le groupe de recherche en statistique du Professeur Serge Guillas de l'University College de Londres au Royaume-Uni (professeur invité au CMLA en 2014) se penche particulièrement sur l'incertitude des caractéristiques des vagues de tsunami. La visualisation 3D avec effet de transparence permet ainsi de comprendre où, pourquoi et

comment ces incertitudes dans les mesures de profondeur de l'océan peuvent se propager aux vagues tsunami.

Visualisation et manipulation de résultats et champs numériques 3D

Paraview est une application *opensource* d'analyse de données et de visualisation de résultats de simulation qui s'appuie sur les outils de visualisation VTK (*Visualization ToolKit*). *Paraview* gère nativement l'affichage stéréoscopique.

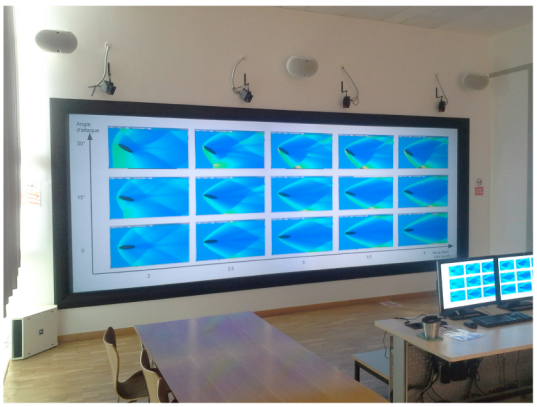
Il est donc possible de visualiser des champs de calcul tridimensionnels de manière stéréoscopique et de naviguer (rotation, translation, zoom) entre les lignes de courants, les nuages de points et les rendus volumiques.

Paraview inclut un système de *plugins* pour des tâches spécifiques, et en particulier un outil de contrôle distant (*Paraview Mobile Remote Control*) depuis un dispositif léger mobile de type *smartphone* ou tablette, via le *Wifi*.

Après une période de mise en route pendant laquelle SHIVA a fonctionné de manière autonome et isolée, nos objectifs sont à présent de mettre en place des liaisons directes et haut débit 10 Gbit avec d'autres dispositifs. On pourra d'une part interagir avec les autres plate formes de DIGISCOPE mais d'autre part travailler sur des flux de données fournis par des ressources de calcul ou d'images comme par exemple le Centre de Calcul du Laboratoire de Mécanique de l'Ecole Normale Supérieure (LMT Cachan) ou son tomographe à rayons X (EquipEx MATMECA). Le tomographe LMT est un scanner 3D doté de moyens d'essais mécaniques in-situ permettant la génération d'images tridimensionnelles de matériaux sous chargement.

Exploration d'un ensemble paramétré de résultats de calcul

Les grands dispositifs de visualisation sont particulièrement intéressants quand un grand volume de données doit être affiché simultanément pour guider l'exploration, faire des choix, trouver un compromis ou prendre une décision. C'est particulièrement vrai en analyse de données et statistiques dans un contexte *Big Data*.



C'est aussi de plus en plus vrai pour l'analyse des résultats de simulation numérique dans un contexte CAE (*Computed-Aided Engineering*). La tendance est aujourd'hui de tenir compte dans les calculs des incertitudes ou de déterminer les "réponses" en fonction de toutes les configurations et régimes de fonctionnement possibles. On est alors amené à calculer des familles de solutions de problèmes aux dérivées partielles. Les "données" ne sont plus seulement spatiales ou temporelles, mais dépendent de paramètres, en dimension éventuellement grande. Pour réduire aussi bien la complexité de taille des résultats numériques et faciliter leur manipulation, il faut utiliser des techniques de réduction de complexité ou de réduction de modèles (*reduced-order modeling*). Par exemple, la photo ci-contre montre une carte de résultats de

calculs d'écoulements supersoniques autour d'un obstacle (profil d'aile) en fonction de la vitesse infinie amont d'une part et de l'angle d'attaque d'autre part, illustrant sur une seule vue l'ensemble des régimes d'écoulement possibles.

Calcul de fluide accéléré sur GPU avec visualisation et interaction temps réel

Le dispositif SHIVA connecté à des moyens de calcul performants équipés de cartes graphiques généralistes (GPGPU) permet d'explorer des pistes nouvelles de visualisation de calcul et d'interaction quasi temps-réel en *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sur des maillages de taille intermédiaire, typiquement de l'ordre de 1024^2 points.

Il est ainsi possible de résoudre les équations de Navier-Stokes 2D à moyen nombre de Reynolds en temps réel à condition que le solveur numérique se prête bien à la parallélisation sur GPU. Nous explorons des schémas de volumes finis d'ordre élevé ainsi que des méthodes Lattice Boltzmann (à la croisée des automates numériques et des solveurs différences finies sur grille cartésienne).

Parmi les fonctionnalités originales qui ont été mises en œuvre, mentionnons l'ajout à la volée d'obstacles dans le calcul permettant d'observer instantanément la réponse du fluide. Cela ouvre la voie à de nouveaux modes de préconception (preliminary design) où l'utilisateur peut se faire une idée des pistes intéressantes à explorer. Une fois les pistes identifiées, on peut terminer l'optimisation de design au moyen d'un code de calcul intensif.

En perspective, on envisage d'étendre ces fonctionnalités au cas de simulation et d'interaction temps-réel d'écoulements tridimensionnels avec les problématiques de visualisation associées. L'ENS Cachan est labellisée CUDA Research Center par NVIDIA (2013-2014), animé par Florian De Vuyst, Professeur et chercheur au CMLA.

Contacts

Auteurs : Florian De Vuyst (CMLA ENSC), Serge Guillas (UCL), Atman Kendira, Christophe Labourdette (CMLA ENSC), Luba Tchertanov (LBPA ENSC)

florian.de-vuyst@cmla.ens-cachan.fr,
s.guillas@ucl.ac.uk,
atman.kendira@cmla.ens-cachan.fr,
christophe.labourdette@cmla.ens-cachan.fr,
luba.tchertanov@ens-cachan.fr

Responsables techniques SHIVA : Atman Kendira, Christophe Labourdette
Responsable scientifique SHIVA : Florian De Vuyst

Références

[1] EquipEx DIGISCOPE, http://www.digiscope.fr

[2] Des écrans géants pour le travail collaboratif, l'Usine nouvelle n°3372 (10 avril 2014).