

Synthèse d'images réalistes de pluie et de ses interactions

Vincent Jolivet, Stéphane Mérillou.

Résumé

La modélisation et le rendu de phénomènes naturels constituent un enjeu majeur dans le domaine de la simulation numérique. Disposer de modèles de plus en plus précis permet une meilleure compréhension, visualisation et prédiction. La recherche en informatique graphique et en rendu (par exemple, pour la médecine, le cinéma, le jeu vidéo, ou encore l'architecture) a connu un essor considérable ces dernières années, profitant pleinement des évolutions technologiques. L'augmentation rapide des performances des architectures matérielles (CPU/GPU/RTX) et l'évolution des méthodes d'apprentissage automatique offrent la possibilité de réaliser des simulations à la complexité croissante. Les outils de visualisation doivent donc évoluer en conséquence, pour être capables de gérer des millions, voire des milliards d'éléments dans des délais raisonnables, tout en offrant une qualité de perception suffisante pour l'analyse des simulations. Ce projet s'inscrit dans cette tendance et, plus précisément, dans la création d'images de synthèse réalistes permettant une visualisation ou pré-visualisation interactive rapide. La modélisation des phénomènes météorologiques est primordiale pour obtenir des scènes extérieures visuellement convaincantes et immersives. Il y a seulement quelques années que les chercheurs ont commencé à s'intéresser à la simulation de la pluie en imagerie de synthèse. Une scène de pluie comprend de nombreux effets visuels, tels que l'apparition de cordes en raison de la persistance rétinienne, la réduction de la visibilité, ou encore de multiples interactions avec l'environnement (par exemple, les changements d'aspect des matériaux, les éblouissements, les érosions, les écoulements). Ce projet vise à modéliser ces phénomènes complexes et interdépendants, notamment pour réaliser une simulation en temps réel aussi physiquement réaliste que possible. L'accroissement constant de l'importance des applications graphiques en temps réel dans l'industrie nécessite d'atteindre un niveau de rendu toujours plus réaliste, que ce soit pour les jeux vidéo ou les simulations en temps réel au sens large.

Thématique

La plupart des travaux cherchant à représenter la pluie dans des mondes virtuels étudient le rendu des gouttes d'eau afin de simuler leur apparence et la gêne qu'elles occasionnent sur la visibilité des objets proches (premier plan). D'autres, complémentaires, se focalisent sur le rendu des cordes de pluie et tentent de reproduire certains phénomènes lumineux induits par la pluie.

Weber *et al.* [1] proposent une méthode permettant de représenter, en plus des gouttes, la dégradation optique par temps de pluie, les gouttes en suspension créant un milieu participant où de nombreuses interactions lumineuses se produisent. Toutes les gouttes présentes dans l'environnement perturbent la trajectoire initiale de la lumière, ce qui résulte en une atténuation de la visibilité en arrière-plan, plus ou moins marquée selon l'intensité des précipitations. Ceci est en fait un point très important, négligé jusqu'alors dans la littérature scientifique. Simuler uniquement les gouttes visibles au premier plan ne permet pas de percevoir la densité du phénomène à grande échelle. Il est donc nécessaire de proposer un rendu de cette dégradation optique en arrière-plan, en complément du rendu des gouttes visibles au premier plan. Weber *et al.* proposent une méthode multi-échelles pour le rendu de la pluie, prenant en compte à la fois les propriétés locales et globales du phénomène pour obtenir une corrélation entre les différentes échelles de perception et, donc, des résultats visuellement plus cohérents. Nous avons démontré qu'il est nécessaire de considérer les deux échelles de visibilité de la pluie pour parvenir à un rendu cohérent et réaliste. Les calculs relatifs à la génération des cordes et à l'atténuation de la visibilité s'appuient sur la même distribution de la taille des gouttes (voir Figure 1) et dépendent d'un seul paramètre : l'intensité des précipitations. La simulation de pluie peut être mise à jour en temps réel via cet unique paramètre, permettant ainsi de recalculer en continu la densité des cordes visibles et le phénomène d'extinction.



Figure 1 - Rendu d'une pluie forte à l'aide de notre modèle multi-échelles

Dans un environnement naturel, des objets tels que la végétation ou des bâtiments interceptent et retiennent l'eau de pluie, puis la restituent à travers soit d'écoulements, soit d'égouttements, en fonction des propriétés et de la géométrie de la structure de l'objet. La plupart des méthodes existantes se focalisent sur le rendu des gouttes et des cordes sans traiter les égouttements. Seuls Tatarchuk et Isodoro [3] ont proposé un rendu des égouttements, et plus spécifiquement provenant des toits, comme cela est illustré dans la vidéo de démonstration *Toyshop*. Les auteurs utilisent pour cela un système de particules dans lequel la position et la densité des gouttes sont laissées à l'appréciation de l'utilisateur. Aucun modèle scientifique ne permet de contrôler cette simulation et le sentiment de réalisme dépend uniquement des choix totalement arbitraires de l'utilisateur.

D'autres chercheurs ont quant à eux orienté leur recherche sur l'interaction entre les gouttes et les arbres. Yang *et al.* proposent à ce titre de construire des arbres selon un modèle hiérarchique afin de pouvoir contrôler précisément l'influence des gouttes sur chacune des feuilles. Leur méthode gère les gouttes en équilibre sur les feuilles jusqu'à leur chute. Ce papier a d'ailleurs fait l'objet de nouvelles contributions afin d'améliorer le niveau de détail et l'animation des arbres au contact des gouttes. Certaines méthodes ont travaillé sur le rendu des gouttes en contact avec des surfaces diverses. Toutes ces méthodes tentent de simuler un couplage dynamique entre les arbres et les gouttes de manière physiquement réaliste. Néanmoins, aucune de ces méthodes ne propose une véritable formulation pour modéliser le phénomène d'égouttement en temps réel, et cela en fonction des paramètres intrinsèques des arbres (espèce, indice de surface foliaire, etc.) et de l'intensité des précipitations.

Nous avons introduit une nouvelle méthode [2] pour le rendu des égouttements provenant du feuillage des arbres. Notre approche phénoménologique, basée sur une étude hydrologique, tient compte des paramètres intrinsèques des arbres pour déterminer la distribution des égouttements dans le temps et dans l'espace pour chaque taille de gouttes. Notre représentation fonctionnelle nous permet de contrôler efficacement la distribution, la forme et la densité des égouttements à tout instant pendant la simulation. Nous montrons également que l'implémentation choisie permet de gérer un grand nombre de gouttes en temps réel. La méthode présente l'avantage d'être indépendante de la complexité de la scène. Les figures 1 et 2 montrent respectivement une scène naturelle sous la pluie sans et avec les égouttements. Nous voyons ainsi l'importance de la seconde méthode : celle-ci nous permet d'obtenir des scènes visuellement plus réalistes puisque nous tenons compte désormais des interactions avec l'environnement naturel. Le modèle hydrologique approxime les interactions au sein de l'arbre et l'implémentation pour représenter le flux de gouttes sous chaque point complète l'approche.

La combinaison de la méthode d'atténuation et de la méthode d'égouttement offre des résultats visuellement réalistes.

[1] Y. WEBER, V. JOLIVET, G. GILET and D. GHAZANFARPOUR

A multiscale model for rain rendering in real-time

Computers & Graphics, vol. 50, 2015, pp. 61-70

[2] Y. WEBER, V. JOLIVET, G. GILET, K. NANKO, and D. GHAZANFARPOUR

A phenomenological model for throughfall rendering in real-time

Computer Graphics Forum, vol. 35, N° 4 (N° spécial d'EGSR 2016), 2016, pp. 13-23

[3] N. TATARCHUK et J. ISIDORO. *Artist-Directable Real-Time Rain Rendering in City*

Environments. Proceedings of the Eurographics Workshop on Natural Phenomena, NPH 2006, Vienna, Austria, 2006, p. 61–73.

[4] WANG, Q., ZHONGH, Z., HUO, Y. *et al.* State of the Art on Deep Learning-enhanced Rendering

Methods. *Mach. Intell. Res.* **20**, 799–821 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11633-022-1400-x>



Figure 2 - Modèle multi-échelles avec la prise en compte des égouttements

Objectifs

Les objectifs de ce projet se situent dans la continuité des travaux menés dans l'équipe SIR du laboratoire XLIM. Ces travaux ont permis la définition d'une nouvelle modélisation sous forme fonctionnelle du phénomène de pluie en chute libre ainsi que ses interactions avec des arbres. Cependant de nombreuses forces ne sont pas prises en compte, comme le vent ou encore les différents rebonds des gouttes d'eau induisant de nombreuses « réponses visuelles » telles que les écoulements, les flaques d'eau, ou encore l'érosion des matériaux.

L'augmentation des performances matérielles **GPU / RTX** et le développement de l'**apprentissage automatique**, ont permis l'émergence de nouvelles méthodes d'analyse et de synthèse d'images réalistes. Elles permettent notamment d'améliorer les rendus existants (rasterisation ou intégration de Monte Carlo) [4]. Ces méthodes pourront être utilisées dans le cadre de ce travail.

L'objectif de cette thèse est d'améliorer le modèle existant en proposant :

- Dans une première partie la prise en compte du vent et de turbulences locales ;
 - Dans une deuxième partie de généraliser la méthode de régénération de gouttes d'eau à la suite d'interaction des gouttes avec les objets de la scène qui, dans un premier temps retiennent l'eau, puis dans un second la libèrent sous forme d'égouttements puis d'écoulements ;
 - Dans une troisième partie l'ajout au modèle de pluie de réponses complémentaires telles que les éclaboussures, ruissèlements, changements d'aspects ou encore l'érosion.
-