

# L'INFORMATIQUE GRAPHIQUE POUR ÉTENDRE NOTRE PENSÉE

L'immémorial besoin humain de représenter le monde pour l'appriivoiser et le comprendre, inventer et créer, connaît une révolution grâce à l'informatique graphique. **Marie-Paule Cani**, en pointe de ces recherches, en dévoile les stupéfiantes avancées et les défis.

**R**éprésenter le monde a toujours été pour l'homme un moyen de l'appriivoiser et le comprendre, mais aussi de planifier ses actions et concevoir les éléments à y construire.

## INFORMATIQUE

Dans le cadre de notre partenariat avec l'Académie des sciences, les académiciens nouvellement élus fin 2019 présentent un éclairage sur leur discipline et ses enjeux scientifiques, éthiques, politiques et sociétaux, à travers leur expérience personnelle.

Des schémas des géomètres de l'Antiquité aux planches de Léonard de Vinci, des illustrations naturalistes aux maquettes des architectes, on voit à l'évidence combien ces représentations permettent de communiquer, mais aussi, pour leurs créateurs, de préciser leur vision ou leurs inventions. Ainsi, comme l'a si bien résumé le chercheur en sciences cognitives Colin Ware, « parce

qu'elles sollicitent les aires visuelles de notre cerveau, (...) les représentations graphiques constituent de véritables outils cognitifs, permettant de renforcer et d'étendre notre pensée ».

## AVANCÉES ET DÉFIS

Ces dernières années, grâce aux avancées de ma discipline, « l'informatique graphique », ces représentations sont devenues de véritables prototypes virtuels, 3D et animés, au sein desquels on peut se plonger pour mieux interagir. On peut créer des formes statiques mais aussi des objets en mouvement, les observer sous tous les angles et à tous les niveaux de détail, et les agencer pour former de vé-

ritables « mondes virtuels ». Cela permet de créer la maquette numérique d'un bâtiment en projet et d'y emmener les décideurs en visite virtuelle, de concevoir et de simuler le fonctionnement d'un mécanisme et d'y adjoindre des calculs de résistance ou de déformation, de représenter et d'animer le corps humain et ses organes, pour enseigner l'anatomie ou pour la planification chirurgicale, d'animer un personnage réaliste, avec ses vêtements, sa chevelure, pour les besoins d'une publicité ou d'un film, ou encore de créer des mondes virtuels complets, avec leurs montagnes, leurs forêts et cascades, pour entraîner les futurs pilotes ou y scénariser des aventures exaltantes pour le cinéma ou le jeu vidéo.

Pour autant, avons-nous gagné en capacités de représentation, pour mieux comprendre le monde ou pour faciliter la création ? La plupart des logiciels de modélisation 3D demandent des années de formation, de Catia de Dassault – système destiné aux ingénieurs – à Maya d'Autodesk – dédié aux créateurs de films. Certaines branches professionnelles comme l'architecture ont pris le tournant du numérique, renonçant de plus en plus souvent à entraîner leurs étudiants aux médias traditionnels (dessin, maquettes physiques). Mais, contrairement à ces anciens médias, les logiciels 3D restent peu adaptés aux ébauches successives, ne permettant pas la superposition d'hypothèses ou la représentation de l'incertitude. Ils encouragent au contraire le « copier-coller », ce qui peut parfois conduire à brider la créativité. Pour les personnes ne maîtrisant pas le numérique, le seul



## PROFIL

Professeure d'informatique à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences, **Marie-Paule Cani** est chercheuse en informatique graphique 3D dont elle est une pionnière et dont l'importance croît aussi bien dans les arts et les humanités que les sciences et la technologie. Les dernières avancées pourraient révolutionner les tâches d'imagination, de conception et d'expression.

moyen de représentation reste de saisir un papier et un crayon, avec l'inconvénient que le dessin restera prisonnier de la feuille, qu'il sera impossible de tourner autour, de zoomer, ou de voir l'objet s'animer. De plus, nos capacités à dessiner ne tendent-elles pas à diminuer, en particulier chez les jeunes, avec le temps passé derrière les écrans et la disparition du dessin scientifique des formations, comme celle de la « leçon d'anatomie » dessinée au tableau, qui a accompagné des générations d'étudiants en médecine ? Dans le domaine de la biologie, les chercheurs sont partagés entre des schémas 2D trop simplistes et des images réelles dont la complexité ne facilite pas la compréhension, rendant la conception et la communication d'un modèle mental du phénomène difficile. Pour expliquer leur vision au public, ils devront avoir recours à un animateur 3D qui les aidera à la traduire en film de vulgarisation. Cependant, le contenu sera alors prédéfini, et ne pourra constituer en rien un bocal d'expérimentation virtuel pour le biologiste qui l'a conçu.

**« Depuis deux décennies, les chercheurs en informatique graphique se sont saisis du problème de la création des contenus 3D, pour la mettre à la portée du plus grand nombre. »**

## DE LA TRANSPARENCE DES OUTILS AUX SYSTÈMES D'AIDE À LA CRÉATION

Depuis deux décennies, les chercheurs en informatique graphique se sont saisis du problème de la création des contenus 3D, tentant de mettre cette dernière à la portée du plus grand nombre. On peut distinguer trois grandes phases dans ces recherches. Le premier défi a été d'aller vers une « transparence des outils », permettant à l'utilisateur de créer par gestes, en se consacrant uniquement à la forme créée, sans avoir à se soucier de sa représentation interne, de ses degrés de liberté, des algorithmes mis en jeu, ni des menus grâce auxquels les invoquer. J'ai contribué avec mon équipe dès le début des années 2000 à la mise au point de systèmes immersifs de sculpture virtuelle, permettant l'ajout et la suppression de matière, puis à leur extension aux déformations locales et globales, à volume constant. Ces techniques de sculpture ont été complétées par des méthodes d'esquisse pour créer en 3D : puisque nous sommes capables d'imaginer une forme volumique à partir d'un dessin, il s'agit de donner à la machine les règles pour la créer. Ces deux approches sont venues inspirer toute une génération de logiciels commerciaux plus faciles d'accès, comme ZBrush, pour la sculpture de personnages, ou Google Sketch-up, pour le dessin de modèles architecturaux.

Assez vite, nous avons réalisé que, pour aller plus loin, des connaissances devaient être intégrées aux modèles 3D afin qu'ils réagissent de la manière attendue aux gestes créatifs. Ces modèles « intelligents » nous ont permis, par exemple, de créer un vêtement 3D à partir d'un simple dessin de mode, en exprimant la contrainte que ce vêtement soit constitué de morceaux de surfaces « développables », c'est-à-dire pouvant être mises à plat. Nous avons introduit des objets virtuels capables de s'adapter automatiquement lorsqu'ils sont copiés-collés sur un nouveau support – par exemple des vêtements capables de s'adapter automatiquement à la morphologie du personnage qui les porte. Enfin, cette nouvelle génération de modèles nous a permis d'étendre la sculpture interactive aux objets structurés capables de maintenir leurs propriétés, comme un bâtiment dont les murs s'allongent mais dont les fenêtres se dupliquent lorsqu'il est étiré.

En parallèle, nous nous sommes intéressés à la création de vastes scènes naturelles, et à leur animation. La multitude des connaissances à intégrer aux modèles nous a conduits à monter des collaborations )))

### « Nous pouvons analyser les distributions d'arbres et de plantes obtenues par microsimulation d'écosystèmes, puis en habiller des paysages, qui seront autosimilaires mais nulle part identiques, comme notre monde ! »

passionnantes avec des chercheurs d'autres disciplines, des biologistes aux géologues, permettant la création en quelques minutes d'un arbre 3D respectant des règles biologiques à partir d'un dessin multirésolution, ou de sculpter interactivement des chaînes de montagnes en repoussant à la main, sur une tablette tactile, des plaques tectoniques virtuelles l'une contre l'autre. Cependant, on ne peut pas tout décrire par des règles explicites à maintenir, et travailler à partir d'exemples peut constituer un gain de temps remarquable. Nous avons récemment mis au point une méthode permettant d'analyser les distributions d'arbres et de plantes obtenues par microsimulation d'écosystèmes, puis de les reproduire pour habiller de vastes paysages, qui seront autosimilaires mais nulle part identiques, comme notre propre monde ! L'un des défis actuels consiste à étendre ces méthodes d'apprentissage et de synthèse à partir d'exemples à des contenus animés, comme les troupeaux d'animaux, avec la perspective de permettre aux scientifiques, par exemple aux paléontologues avec lesquels nous travaillons, de s'immerger et d'interagir avec un monde virtuel complet reflétant l'état actuel de leurs connaissances.

#### LA TENTATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Que ce soit par l'intégration de connaissances et la modélisation du raisonnement, ou par l'apprentissage à partir d'exemples, les systèmes d'aide à la création que je viens d'évoquer relèvent de l'intelligence artificielle, prise au sens large. Avec le développement récent des méthodes d'apprentissage profond, le public autant que certains scientifiques se demandent si nous ne pourrions pas mettre au point de véritables « IA créatives », c'est-à-dire des systèmes qui court-circuiteraient l'humain pour créer à notre place. Je ne doute pas que cela devienne possible, avec en particulier l'émergence des réseaux adverses génératifs, capables de créer des contenus similaires à partir d'énormes bases de données d'exemples appris. Mais à quoi bon engendrer à grands frais des objets au hasard, sans dessein préalable ? N'oublions jamais que nous, les humains, sommes seuls à décider ce que nous demandons aux machines ! Pour ma part, je préfère imaginer le système de prototypage virtuel du

futur comme un espace de cocréation, où l'utilisateur tiendra toujours les rênes de la création et la guidera vers l'objectif qu'il s'est fixé, avec l'assistance de la machine pour dupliquer automatiquement les détails, adapter les formes à leur support, ou calculer des dimensions précises compte tenu des contraintes. Utilisé avec mesure, l'apprentissage profond restera utile là où les méthodes plus légères ne suffisent pas, par exemple pour que le système apprenne à interpréter au mieux les gestes créatifs.

En conclusion, j'espère contribuer à concevoir un nouveau média numérique aussi facile d'accès qu'un papier et un crayon, mais qui permette d'ébaucher puis de raffiner des mondes 3D en mouvement, ouvrant de nouveaux espaces d'interaction et d'expérimentation.

Permettant à chacun de préciser sa pensée et de la mettre à l'épreuve, ce média facilitera aussi le partage des connaissances entre scientifiques, professionnels et avec le public. ★

## EN SAVOIR PLUS

### LE SITE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Le cours de Marie-Paule Cani au Collège de France (2015), « **Façonner l'imaginaire : de la création numérique 3D aux mondes virtuels animés** » : [www.college-de-france.fr/site/marie-paule-cani/course-2014-2015.htm](http://www.college-de-france.fr/site/marie-paule-cani/course-2014-2015.htm)  
Sa leçon inaugurale est visionnable sur le site du Collège de France.

« **Du design numérique à la création de mondes virtuels animés** », conférence de M.-P. Cani à l'université de Corse (2016) : [www.youtube.com/watch?v=lmql0PVir9M&t=1237s](https://www.youtube.com/watch?v=lmql0PVir9M&t=1237s)

Deux exemples de logiciels issus des recherches de son équipe, utilisables en ligne : [www.lix.polytechnique.fr/geovic/software.html](http://www.lix.polytechnique.fr/geovic/software.html)



Les modèles 3D intelligents réagissent de la manière attendue aux gestes créatifs. Ainsi ce vêtement va s'adapter automatiquement à la morphologie.