

que la structure soit matérielle et durable. Qu'un ordinateur et des programmes interviennent dans le processus de création ne doit pas nous faire nier que ces œuvres sont élaborées. Dans la photographie et le cinéma, les artistes utilisent de nombreux dispositifs techniques, dont l'ordinateur qui joue un rôle pour les effets spéciaux, l'ajustement et la correction des paramètres de luminosité et de contraste, etc. L'utilisation d'outils techniques n'exclut pas qu'il y ait un travail, de l'imagination, du talent, voire du génie.

Les programmes qui calculent des fractales produisent certes facilement des images étonnantes, comme les appareils photo numériques qui se règlent automatiquement sans demander de compétence; mais seul celui qui les manipule, qui explore leur potentialité, fait acte de création.

Un autre facteur complique l'évaluation des productions par ordinateur : les outils informatiques évoluent très vite et il est délicat de distinguer ce qui se fait tout seul et ce qui exige efforts et savoir-faire. La loi de Gordon Moore selon laquelle les performances informatiques sont décuplées tous les cinq ans environ autorise l'exploration d'objets mathématiques qui étaient hors de portée, notamment des fractales en trois dimensions.

Une évolution récente

Depuis 2010, l'idée des hybridations (voir l'encadré ci-dessous) a été mise en œuvre pour la création de fractales 3D. Grâce à ce passage dans l'espace, l'art fractal propose des formes analogues à celle du monde réel, mais sublimées, enrichies et

géométriquement parfaites. En 2015, une multitude de logiciels prennent en compte les nouveaux procédés mathématiques de création de fractales. Le véritable créateur se donne le temps de parcourir les espaces rendus accessibles par les logiciels, de s'y promener, d'y tracer ses propres chemins, d'orienter son regard pour y découvrir des trésors cachés. Comme en photographie, ses visions sont personnelles et inimitables.

L'un des artistes est Jérémie Brunet, qui vient de publier *L'art fractal. Aux frontières de l'imaginaire* (Pole, 2014). Ce livre offre près de 150 images de fractales 3D. La richesse, la variété et la beauté d'un monde nouveau éblouissent et subjuguent. Le principal logiciel qu'il utilise se nomme *mandelbulb3D*, qu'a développé un certain Jesse [c'est un pseudonyme]. Jérémie

L'hybridation, source

Les dessins fractals ont longtemps été bidimensionnels, voire tridimensionnels, mais déduits simplement de méthodes liées à la dimension 2. En particulier, on ne connaissait pas d'équivalent dans l'espace 3D de l'ensemble de Mandelbrot, autrement dit l'ensemble des points c du plan complexe tels que la suite $0, f(0), f(f(0)), f(f(f(0))), \dots$, où $f(z) = z^2 + c$, reste bornée.

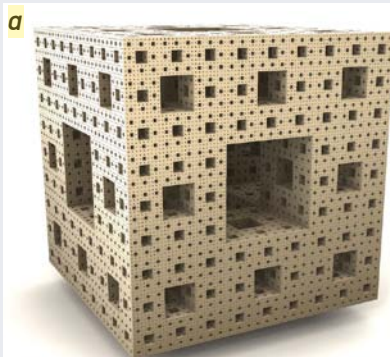
À partir de 2009, des méthodes, consistant dans un premier temps à trouver des adaptations, à la dimension 3, de l'opération $z \rightarrow z^2$ pour $z = x + iy$

complexe, ont permis de progresser, c'est-à-dire de disposer d'algorithmes efficaces et simples produisant des objets fractals de dimension 3.

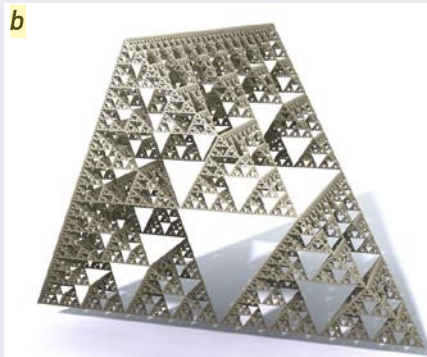
Des avancées dans les algorithmes de représentation des fractales 3D (par exemple les algorithmes dits de *ray marching*) et leur programmation ont multiplié les possibilités, ouvrant les portes à une formidable variété de formes et d'images, et à l'expression d'une sensibilité artistique nouvelle : l'art fractal.

Parmi les méthodes utilisées, l'hybridation est une source féconde. L'idée est de prendre non

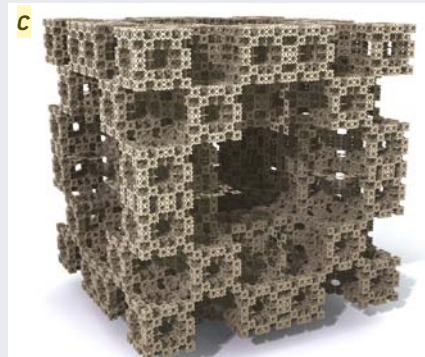
pas une seule fonction f et de déterminer la présence ou non dans la fractale du point de coordonnées (x, y, z) en observant le comportement de la suite $(x, y, z) \rightarrow f(x, y, z) \rightarrow f(f(x, y, z)) \rightarrow f(f(f(x, y, z))) \rightarrow \dots$, mais de considérer deux fonctions (ou plus) f et g déjà connues pour engendrer des fractales et de déterminer les points de la fractale selon la suite provenant de l'utilisation à la fois de f et de g .



Éponge de Menger [M]



Fractale 3D de Sierpinski [S]



Hybride MSMS

Brunet a suivi et influencé les évolutions et les perfectionnements du logiciel, produisant des images qui étonnent Jesse lui-même.

Une partie importante des images de Jérémie Brunet est obtenue par la méthode d'hybridation. Il combine deux à six formules selon des « rythmes » variés. Cette méthode permet de considérer plusieurs fractales de base et de les combiner (voir les figures ci-dessous). Le choix des paramètres de rendu transforme ces objets en œuvres. Jérémie Brunet est aussi connu pour ses films, promenades dans le monde des fractales 3D (www.youtube.com/user/bib993). Et les sculptures qu'il réalise en utilisant les techniques de l'impression 3D permettent de toucher les nouvelles formes mathématiques (www.shapeways.com/shops/3dfractals).

La précision, la délicate unité résultant de l'utilisation d'un même algorithme mathématique dans toutes les parties de l'œuvre, les subtiles répétitions approximatives de structures complexes, la disposition de tout cela dans l'espace en respectant les règles de la perspective et l'ajout d'une série soigneusement choisie d'effets photographiques, tout cela est inconcevable sans machine.

Trois étapes de création

Le travail à l'origine des images fractales se décompose en trois étapes.

La première est celle des formules et des procédés de calcul. L'agilité et l'expertise mathématiques sont à l'œuvre : il a fallu attendre 2009 pour que des formules produisant des structures fractales

tridimensionnelles pleinement satisfaisantes soient élaborées.

La seconde étape est celle, informatique, de la mise au point et du perfectionnement des techniques de visualisation, et de leur programmation. Pour obtenir de bons rendus, il faut non seulement s'appuyer sur les formules et procédés mathématiques découverts dans la première étape, mais aussi utiliser des algorithmes de représentation en trois dimensions, dont certains doivent être adaptés ou réinventés.

Ainsi, en infographie, pour obtenir de bons rendus, on décompose souvent les éléments d'une scène en triangles très nombreux tirés des équations des faces ou des surfaces qui délimitent les objets présents. Or ce n'est pas possible directement avec les images fractales 3D, car les objets qu'on cherche à figurer se présentent

d'images fractales

On peut par exemple utiliser la règle :

$$(x, y, z) \rightarrow f(x, y, z) \rightarrow g(f(x, y, z)) \rightarrow f(g(f(x, y, z))) \rightarrow \dots$$

Des schémas d'utilisation plus complexes, du type $(f, f, g, g, \dots)$, $(f, g, f, f, g, f, f, g, \dots)$, etc., ouvrent d'autres possibilités.

En voici quelques-unes :

- L'éponge de Menger $(f, f, f, f, \dots)$, ou M (image a).
- La fractale 3D de Sierpinski $(g, g, g, g, \dots)$, ou S (image b).

- L'hybride MSMS... $(f, g, f, g, \dots)$ (image c).
- L'hybride SMSM... $(g, f, g, f, \dots)$ (image d).
- L'hybride SMMSMM... $(g, f, f, g, f, f, \dots)$ (image e).
- L'hybride MSSMSS... $(f, g, g, f, g, g, \dots)$ (image f).

Selon une autre hybridation, à partir de deux fonctions donnant des fractales, on construit une troisième avec la fonction $h = \alpha f + (1 - \alpha)g$ (avec α compris

entre 0 et 1). En faisant varier le paramètre α , on passe continûment de la fractale associée à f à celle associée à g . Le livre *L'art fractal. Aux frontières de l'imagerie* de Jérémie Brunet utilise de nombreuses hybridations.

Parmi les logiciels permettant de créer des images fractales 3D, citons : *Apophysis* (<http://apophysis.org/>), *Incendia* (<http://www.incendia.net/>),

Fragmentarium (<http://syntopia.github.io/Fragmentarium/>), *Mandelbulb3D* (<http://mandelbulb.com/>), *Mandelbulber* (<http://sourceforge.net/projects/mandelbulber/>), *Ultrafractal* (<http://www.ultrafractal.com/>), *Xenodream* (<http://www.xenodream.com/>).

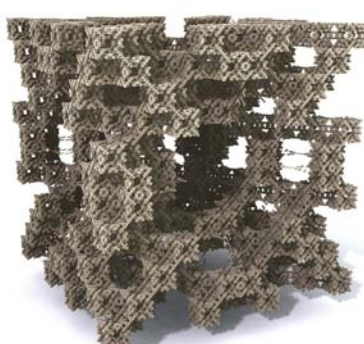
D'autres informations sont disponibles sur www.fractalforums.com.

d



Hybride SMSM

e



Hybride SMMSMM

f



Hybride MSSMSS