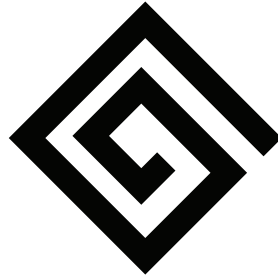


La 3D résout le mystère de la Grande Pyramide



www.3ds.com/khufu

Contacts Presse \
Dassault Systèmes EMEA

Virginie BLINDENBERG
Arnaud MALHERBE

Tel /
+ 33 (0) 1 55 49 84 21
+ 33 (0) 1 55 49 87 73

Mail /
virginie_blindenbergs@ds-fr.com
arnaud_malherbe@ds-fr.com

/ Contacts Presse :
Ketchum pour Dassault Systèmes France

Céline ROUHEN
Nawel YOUNSI

Tel /
+ 33 (0) 1 53 32 56 82
+ 33 (0) 1 53 32 56 21

Mail /
celine.rouhen@ketchum.fr
nawel.younsi@ketchum.fr

 \ **Sommaire**

- 01_** Édito : Comprendre et transmettre... en 3D !
- 02_** Kheops, un géant dans le désert
- 03_** Le mystère de la Grande Pyramide
- 04_** La naissance d'une théorie,
l'intuition d'un homme
- 05_** Jean-Pierre Houdin-Dassault Systèmes :
histoire d'une rencontre
- 06_** La simulation 3D au service de la théorie
- 07_** La 3D, média du XXIe siècle
- 08_** La révolution 3D
- 09_** Annexe 1 : Biographies
- 10_** Annexe 2 : La théorie en images
- 11_** Annexe 3 : Glossaire

Comprendre et transmettre... en 3D !

C'est l'histoire d'une rencontre. D'une rencontre entre le passé et l'avenir. Entre l'Histoire et la haute technologie. Et surtout entre des hommes que rien ne préparait à une telle aventure en commun.

L'un cherche à résoudre une énigme multimillénaire ; les autres, penchés sur leurs écrans d'ordinateur, s'efforcent de conjuguer le futur au présent. Pour que leurs routes puissent se croiser, il fallait un lieu de rencontre. Ce point de ralliement, en fait, fut double : la pyramide de Kheops et la 3D.

Tout a commencé il y a 4 500 ans, lorsque qu'une civilisation ne possédant ni le fer, ni la roue, ni la poulie, construisit l'un des monuments les plus mystérieux de toute l'histoire de l'humanité : la pyramide de Kheops, en Égypte. Comment ? Nul ne le sait aujourd'hui avec certitude. C'est précisément cette énigme jamais élucidée qui a conduit les équipes de Dassault Systèmes, leader mondial de la technologie « 3D temps réel », à apporter leur soutien à un architecte, Jean-Pierre Houdin, auteur d'une théorie révolutionnaire sur cette fameuse Grande Pyramide.

L'Histoire a souvent prouvé que toute grande théorie scientifique repose avant tout sur une intuition. Celle de Jean-Pierre Houdin a changé le cours de sa vie, puisque depuis maintenant huit ans, il se consacre à l'élaboration de la première véritable théorie scientifique capable d'expliquer intégralement la construction de la pyramide de Kheops.

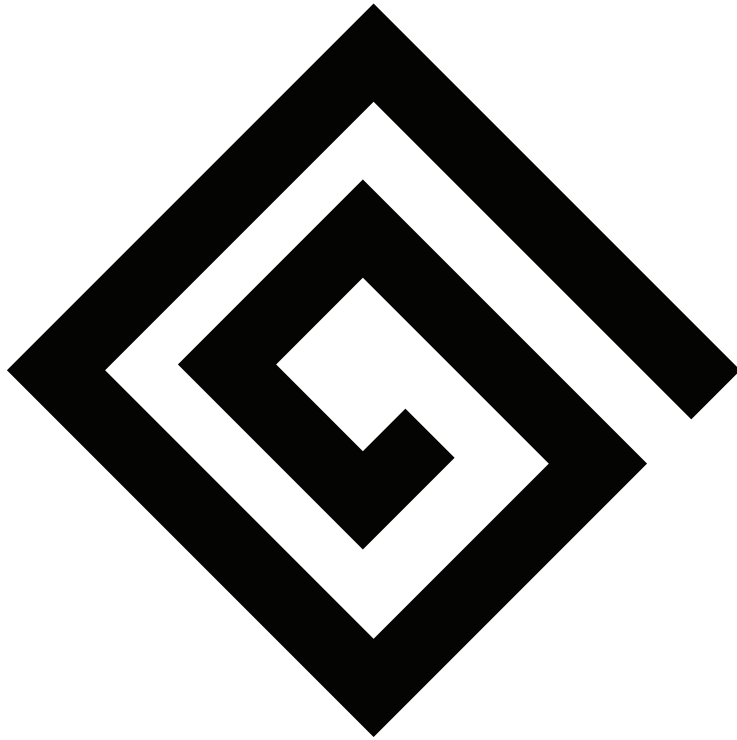
Dassault Systèmes dispose de nouveaux outils de 3D permettant de concevoir et simuler en trois dimensions les plus beaux projets industriels de notre temps. Des projets « irréalisables » hier encore, et qui, aujourd'hui, défient la raison et bousculent les genres établis. En permettant, par exemple, de concevoir un avion géant, un immeuble futuriste ou une simple voiture en un temps record, les outils de 3D industrielle permettent de penser différemment, donc d'innover. Mais la notion d'innovation devrait-elle forcément être liée au futur ? Ne pourrait-elle pas aider à revisiter le passé au service d'idées neuves ? Séduit par la passion de Jean-Pierre Houdin et motivé par le défi, Dassault Systèmes s'est mobilisé depuis deux ans afin de passer l'ensemble de sa théorie au crible d'outils scientifiques 3D.

Et parce que nous pensons aussi que la 3D sera l'un des médias du XXI^e siècle, nous avons souhaité partager cette formidable aventure humaine avec le plus grand nombre. C'est ainsi qu'est né le premier dispositif de réalité virtuelle permettant de remonter le temps et de visiter en temps réel le chantier spectaculaire de la pyramide de Kheops. Que ce soit sur l'écran géant de la Géode ou sur celui d'un ordinateur connecté à Internet.

C'est à ce fabuleux voyage à travers le temps que nous vous invitons à présent. Entre passé et futur...

Mehdi Tayoubi

Dassault Systèmes



La dernière merveille du monde

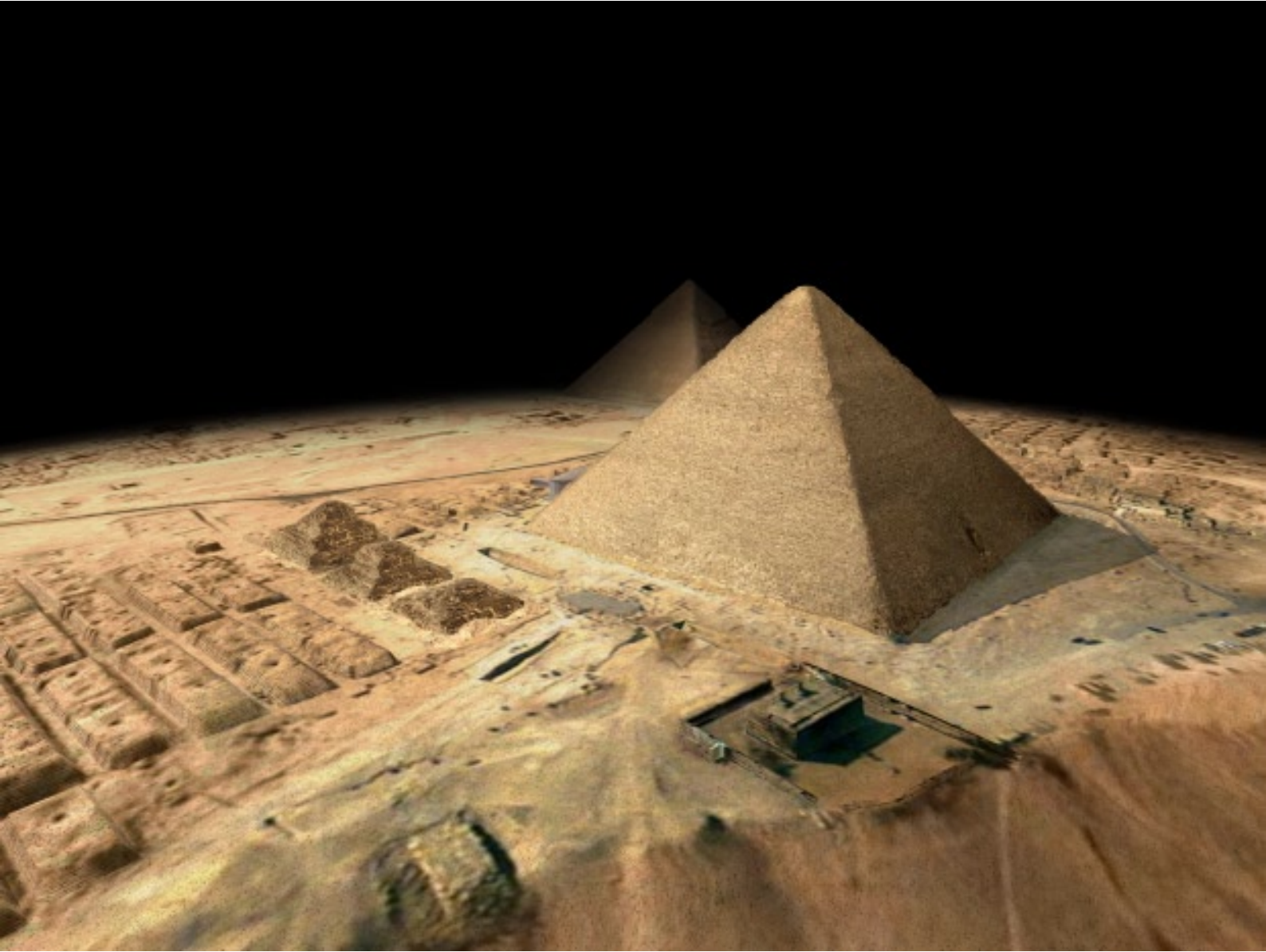
Par définition, une pyramide est un grand monument à base quadrangulaire dotée de quatre faces triangulaires. Pour les historiens, il s'agit d'une sépulture royale de l'Égypte ancienne. Pour l'humanité tout entière, les trois pyramides de Kheops, Khephren et Mykerinos, dressées sur le plateau de Guizeh, aux portes du Caire, en Égypte, constituent à la fois un trésor et une énigme.

De ces pyramides, on sait qu'elles furent conçues pour abriter les dépouilles de trois pharaons, près de trois millénaires avant notre ère. Si le plus impressionnant de ces colosses de pierres, la pyramide de Kheops, a été contemplé et photographié un nombre incalculable de fois, ses entrailles demeurent toujours un mystère, évocatrices de trésors fabuleux et de malédictions légendaires.

On dit de la Grande Pyramide qu'elle est la dernière des sept merveilles du monde encore existante, la seule qui ait résisté jusqu'ici à la folie des hommes et à la colère des éléments. Du haut de ses 146 m, elle fut jusqu'à la construction de la Tour Eiffel le monument le plus élevé de l'Histoire. Et pourtant on ne sait toujours pas comment et en combien de temps elle fut construite par des hommes ne connaissant ni le fer, ni la roue, ni la poulie. Et l'on ignore aussi quelles découvertes inattendues elle pourrait bien encore receler sous ses parois de pierres.

Témoin de 4 500 ans d'Histoire, la pyramide de Kheops a vu défiler les plus grands hommes de ce monde. Des hommes qui ont admiré la démesure de ce qu'elle symbolise, qui ont rêvé de conquêtes infinies ou d'une vie immortelle. Puissants éphémères comme quidams de tous ces siècles passés sont venus arpenter ses pierres. Certains, enivrés par cette étrange sensation, se sont dit qu'une telle démesure ne pouvait être humaine et que seule une civilisation inconnue, lointaine, avait pu réaliser un tel prodige...

02_ Kheops, un géant dans le désert



La Grande Pyramide entre mythe et réalité

Au travers des âges, le secret de la construction de la pyramide de Kheops s'est perdu. De sa genèse on a tout imaginé, de l'impossible à l'extrême farfelu. Les véritables indices sont maigres : quelques lignes sur l'architecte royal Hemiounou, sensé l'avoir édifiée en une vingtaine d'années seulement afin que le grand Kheops puisse reposer à temps au cœur de ce vaisseau de calcaire et de granit. Un navire pour l'éternité du Roi.

Quelques phrases d'Hérodote. Autre indice peut-être : le fameux historien grec voyagea en Égypte vers l'an 450 avant JC, soit plus de 2 000 ans après la construction de la pyramide. Il recueillit sur place les légendes locales qui ont perduré jusqu'à maintenant. Hérodote décrit ainsi dans son livre un roi tyrannique, des centaines et des centaines d'esclaves traînant des pierres et, curieusement, des machines placées à flanc d'édifice qui auraient servi à soulever des pierres d'un étage à l'autre.

Quatre siècles plus tard, un autre historien grec parla, lui, d'une immense rampe frontale qui aurait permis d'acheminer tous les blocs jusqu'au sommet. D'autres évoquèrent une rampe extérieure hélicoïdale construite en briques crues qui ne résiste à l'analyse.

La thèse des grandes rampes. Ces immenses rampes demandent un volume de pierres quasiment équivalent à celui de la pyramide elle-même.

De plus, elles nécessitent d'incessants arrêts de chantier pour être agrandies. Ces rampes sont soit courtes, mais trop pentues pour être utilisables, soit en pente douce, mais longues de plusieurs kilomètres. Et qu'est-il advenu des matériaux utilisés ?

Il paraît alors déraisonnable de construire toute la pyramide avec une rampe frontale...

La thèse des machines. C'est l'hypothèse rapportée par Hérodote : ces machines auraient permis de monter les blocs d'une assise à l'autre.

Une théorie décrit aussi l'utilisation de leviers et de cales pour soulever chaque bloc d'une dizaine de centimètres à chaque poussée. Mais comment hisser ainsi des blocs de 65 tonnes ? Des hommes feraient contre-poids pour lever le bloc qui serait ensuite amené à sa position par traction ? Une opération lente, dangereuse et inopérante pour les gros blocs...

En outre, ces machines nécessitent un support plat. Il faut donc ravalier la façade à la fin des travaux et les délais sont bien trop courts pour une telle tâche. Des machines ont peut-être été utilisées, mais elles ne sont pas à la base de la méthode de construction.

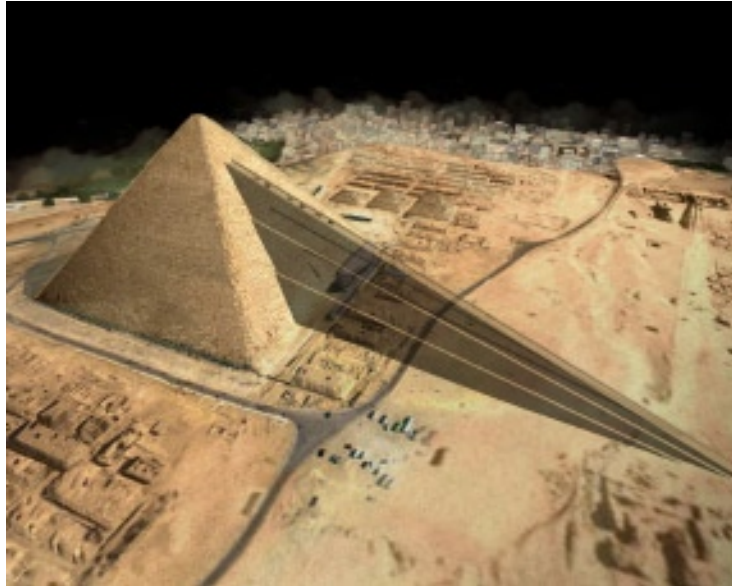
La rampe en spirale. C'est l'hypothèse la plus populaire aujourd'hui. Une rampe extérieure en colimaçon aurait été construite autour de la pyramide. Elle possède trois avantages :

- constituée de briques crues, elle utilise relativement peu de matériaux.
- sa construction progressive suit le chantier sans trop le ralentir.
- elle offre une pente douce et constante de 8%.

Pourtant, en pratique, cela ne peut fonctionner car il est impossible de contrôler la géométrie de la pyramide masquée par la présence de la rampe. De plus, la rampe est fragile et s'effondre régulièrement, la rotation dans les angles est hasardeuse et le passage est étroit.

Alors... Il est temps de trouver une solution rationnelle au mystère de la pyramide de Kheops ; une solution qui permette d'expliquer l'intégralité de sa construction en répondant à toutes les questions qu'elle soulève depuis si longtemps.

03_ Le mystère de la Grande Pyramide



La thèse des grandes rampes.



La thèse des machines.



La rampe en spirale

Par Jean Pierre Houdin

L'homme derrière la théorie

Je suis né en 1951 à Paris, mais j'ai grandi à Abidjan, en Afrique, où mon père dirigeait alors une entreprise de BTP. Petit, je passais ainsi mon temps libre sur les chantiers, pendant que ma mère, médecin, prenait soin de ses malades dans un dispensaire de brousse. Mon intérêt pour le monde de la construction est sans doute né au cours de cette première époque de ma vie. De retour à Paris, et après mon baccalauréat, j'ai intégré naturellement les Beaux-Arts, section architecture...

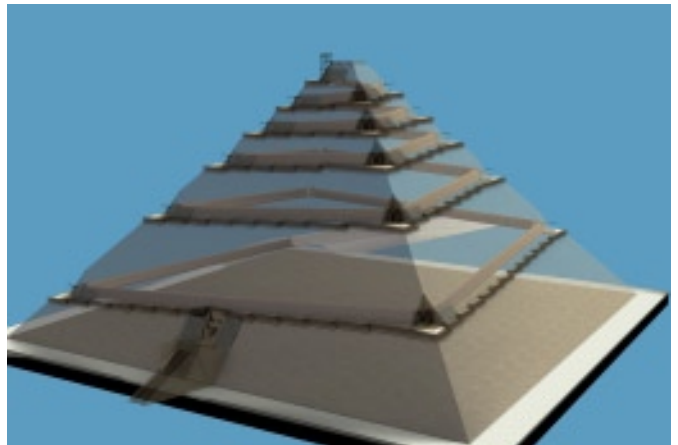
Diplômé en 1976, je me lance comme architecte indépendant, profession que j'exercerai pendant vingt ans.

Je participe à la construction de nombreux édifices d'habitations et de bureaux en Ile de France. Parallèlement, avec ma femme Michelle et notre ami Laurent, nous ouvrons un salon/galerie d'art aux activités avant-gardistes (« Les Enfants Gâtés »), qui accueille pendant dix ans des dizaines de jeunes artistes, et devient un des lieux du Paris artistique au tournant des années 80/90.

En 1996, Michelle me convainc de tourner une page et nous décidons de prendre une année sabbatique à New York !

Je pars sans programme précis mais avec mille idées en tête : j'ai envie d'apprendre à nouveau et de travailler librement, sans contraintes, mais avec passion... C'est l'époque rêvée pour ce genre d'idées, puisque ces années voient Internet se développer de façon incroyable. Cette nouvelle donne apporte au monde de nouvelles perspectives dans tous les domaines, et bien sûr le travail. J'apprends donc à me servir d'Internet, à dessiner grâce aux premiers outils de dessin numérique, et je m'engage dans la construction de sites Internet. À New York d'abord, puis en France, puisque je rentre à Paris en 1998, avec un nouveau métier et de nouvelles expériences.

Soudain une idée ...
Et si elle avait été construite de l'intérieur ?



Le 2 janvier 1999, alors que je suis de nouveau à New York, mon père, ingénieur à la retraite, regarde une émission présentée par François de Closets, consacrée à la construction des pyramides. Il confronte les théories avancées à l'époque à son œil d'expert ingénieur en construction. Elles ne résistent pas. Et il a ce déclic : les pyramides ont été construites de l'intérieur ! Une idée révolutionnaire, puisqu'elle balaie toutes les autres hypothèses avancées jusqu'alors. Il fait appel à moi, architecte, rôdé à la 3D pour l'épauler dans ses recherches.

Dans le courant de l'année 2000, nous rencontrons des membres de l'équipe ayant travaillé sur le mystère de la pyramide de Kheops en 1986, sous l'égide de la Fondation EDF. Ils nous présentent des plans sur lesquels nous découvrons une anomalie dans la construction, un détail des esquisses qu'aucune des hypothèses ne peut expliquer. Cette anomalie, baptisée « construction en spirale », correspond parfaitement à l'allure d'une rampe construite à l'intérieur et qui aurait servi en partie à son édification !

« Cette idée révolutionnaire balaie toutes les autres hypothèses avancées jusqu'alors. »

En 2003, mon père crée l'Association Construction la Grande Pyramide (ACGP) afin de soutenir le projet. Elle va me permettre de rencontrer de nouveaux experts.

En 2005, Dassault Systèmes m'accueille avec enthousiasme au sein de son tout récent programme de mécénat « Passion For Innovation ». Nous décidons ensemble de passer la théorie au crible des solutions de 3D industrielle et scientifique de Dassault Systèmes.

Je vais enfin pouvoir analyser et valider ma théorie dans le monde virtuel 3D qui permet aux industriels d'aujourd'hui de bâtir le réel.

La reconstitution en trois dimensions du chantier de cette construction gigantesque grâce à ces logiciels nous permet de tester en temps réel si une approche est plausible, si l'organisation humaine et matérielle qu'elle implique est optimale et cohérente et si elle ne s'oppose pas aux lois immuables de la physique et de la mécanique. Des centaines de calculs et d'algorithmes permettent d'évaluer la cohérence de ce que nous concevons, de vérifier si nos modèles et hypothèses défient les lois de la gravité ou vont à l'encontre des forces et des matières que l'on manipule.

Les simulations viennent valider et enrichir ma théorie en m'incitant sans cesse à me poser de nouvelles questions pour qu'aucune ombre ne demeure dans le mystère de la construction de la Grande Pyramide.

Mais il ne suffit pas de valider la théorie, encore faut-il l'expliquer, la transmettre, partager avec le public le secret de la construction de l'unique survivante des sept merveilles du monde.

Nous décidons ainsi ensemble avec Dassault Systèmes de pousser le défi encore plus loin en nous servant de la 3D comme média pédagogique et d'offrir le premier voyage dans le temps interactif et en relief sur l'écran géant de la Géode, mais aussi sur Internet sur www.3ds.com/khufu. Une première mondiale, avant la

mission scientifique sur le terrain qui nous permettra d'aller sonder la pyramide pour apporter les dernières preuves de l'existence de la rampe interne...



L'apport de la 3D scientifique. Jean-Pierre Houdin explique l'historique des fissures de la Chambre du Roi, qui a pu être retracé précisément grâce à la simulation scientifique par éléments finis.



La théorie révélée par son inventeur. Jean-Pierre Houdin, muni des lunettes 3D relief l'explique.

Le programme "Passion for Innovation"

Dassault Systèmes et Jean-Pierre Houdin

Innover, c'est oser sortir des sentiers battus, remettre parfois en question ce qui paraît immuable. L'innovation anime les hommes les plus passionnés et les plus téméraires, parce qu'ils vont proposer une nouvelle idée ou une autre façon de voir les choses. Mais innover, c'est également avoir la bonne intuition, et connaître suffisamment son domaine pour en repenser certains aspects, à l'aide des bons outils. Ces derniers vont permettre d'émettre des hypothèses et de les valider. Toutes les théories avancées jusqu'à présent concernant la pyramide s'appuient sur le postulat d'une construction externe. Et si la Grande Pyramide de Kheops avait été construite de l'intérieur ?

La passion et l'innovation en commun. Partant de cette hypothèse, Jean-Pierre Houdin s'attaque à l'un des plus anciens mystères de l'Histoire en repensant intégralement la construction de la pyramide de Kheops pour proposer une théorie inattendue. Il bouleverse ainsi les convictions établies à l'aide de technologies 3D temps réel, permettant d'envisager sous un angle nouveau l'un des chantiers les plus emblématiques du monde.

Jean-Pierre Houdin va travailler sur son projet pendant six ans, persuadé que la pyramide doit être envisagée comme le premier grand chantier industriel de l'Histoire, planifié par de véritables ingénieurs sous l'Antiquité. Il imagine, pas à pas, toutes les étapes du chantier. Lorsque la rencontre avec Dassault Systèmes a lieu, le modèle théorique et rationnel est établi, les indices du terrain sont répertoriés.

Le programme de mécénat «Passion for Innovation» de Dassault Systèmes a pour vocation de contribuer à la réalisation de projets innovants à but non lucratif en



La Machine à voyager dans le temps du XXIe siècle.

leur apportant son soutien par le biais de prêts de ses logiciels 3D, de formation et par l'apport de compétences spécifiques.

Jean-Pierre Houdin et les équipes de Dassault Systèmes pilotées par Mehdi Tayoubi décident donc de relever un double défi :

- 1- Utiliser les outils 3D industrielle et scientifique pour valider la théorie. En effet, si ces logiciels permettent aujourd'hui à tous les clients de Dassault Systèmes (Boeing, Toyota, Nokia...) de concevoir et simuler à la fois les produits et les processus d'un programme industriel dans un environnement virtuel en 3D avant de passer à la fabrication réelle, il est alors possible de reconstruire intégralement la pyramide en prenant en compte tous les aspects du chantier (hommes, matériaux, processus, contraintes historiques...).

Les outils 3D industrielle et scientifique de Dassault Systèmes sont utilisés pour valider la théorie de Jean-Pierre Houdin.

2-

Utiliser la 3D temps réel comme média pédagogique pour partager, expliquer la théorie : permettre aux internautes du monde entier de visiter librement et vivre le chantier en 3D temps réel tel qu'il était il y a 4 500 ans, mais également de pouvoir suivre toutes les étapes de la construction.

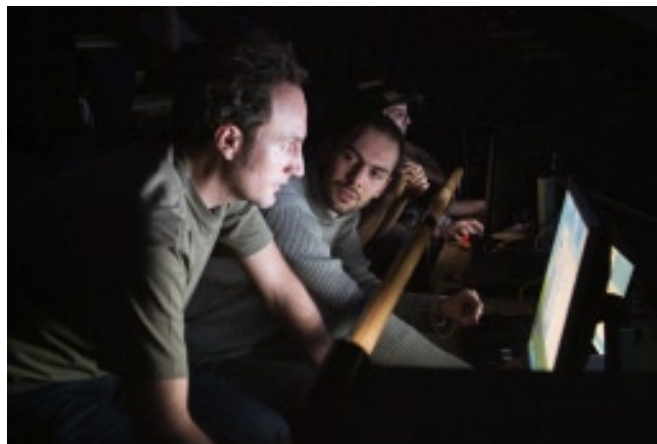
Transformer la Géode en plus grand centre de réalité virtuelle relief au monde avec une expérience 3D immersive unique, pilotée en temps réel par sept ordinateurs connectés en réseau.

Une équipe multidisciplinaire d'une quinzaine de personnes (ingénieurs, créatifs, développeurs...) va accompagner quotidiennement le chercheur pendant près de deux ans, la passion repoussant sans cesse les limites.

Tandis que la pyramide se construit peu à peu dans un environnement virtuel, validant ainsi les hypothèses de la théorie, la 3D permet de « voir » différemment et amène à se poser de nouvelles questions avec, à la



Olivier Begin, manager du service usine numérique et Jacques Jaworski consultant en gestion de cycle de vie produit (PLM) devant une simulation de process.



Près d'une quinzaine de passionnés de tous horizons rejoindront l'aventure au fur et à mesure. David Nahon et Fabien Barati, Spécialiste Virtools, responsable des produits et solutions de réalité virtuelle Dassault Systèmes.

clef, de nouvelles simulations. C'est ainsi que la théorie est affinée et intégralement vérifiée dans un environnement virtuel, véritable antichambre du réel : de la rampe externe pour bâtir les premières assises, en passant par la rampe interne en spirale courant sous les faces de la pyramide et le système de contre-poids pour hisser les poutres de la Chambre du Roi, jusqu'à l'historique des craquements de ces poutres, tout est simulé !

Ce travail de modélisation, de calcul et de simulation en 3D confirme à toute l'équipe le respect qu'elle doit à ce peuple sans roue et sans poulie qui édifia ce bâtiment de 146 mètres de haut, il y a 45 siècles.

Permettre au public d'arpenter librement le chantier en 3D temps réel.



La Géode transformée en labo de réalité virtuelle pour les premiers tests. De gauche à droite : David Nahon, Fabien Barati, Emmanuel Guerriero, Geoffrey Subileau, Sébastien Kuntz.

Une fois ce travail accompli, la deuxième phase du projet démarre pour permettre de partager cette aventure passionnante en 3D, via Internet, et d'offrir à la Géode une expérience sans précédent. Munis de leurs lunettes 3D relief, les voyageurs du temps sont plongés dans un périple interactif et stéréoscopique sur le plateau de Guizeh, il y a 4 500 ans. Libres de leurs mouvements, ils suivent Jean-Pierre Houdin qui les fait pénétrer pour la première fois dans le couloir interne de la pyramide !

Intuition, hypothèses et vérifications. Comme toute aventure scientifique, cette dernière a démarré par une intuition, suivie d'une longue étape d'hypothèses et de vérifications.

La preuve est faite, et c'est la première fois, que la pyramide peut être intégralement construite en une vingtaine d'années, en suivant tous les processus

décrits dans les outils de 3D.

Un certain nombre d'indices comme les relevés de microgravimétrie d'EDF de 1986 existent déjà. Mettant en évidence les différences de densité, la microgravimétrie laisse penser qu'il existe des creux à l'intérieur de la pyramide...

Les dernières preuves. Il ne reste plus maintenant à Jean-Pierre Houdin qu'à se rendre sur le terrain au cours d'une mission officielle scientifique. Celle-ci est soutenue, entre autres experts, par Rainer Stadelman, ancien directeur de l'Institut d'archéologie allemand du Caire, spécialiste des pyramides, Bob Brier, égyptologue, professeur de philosophie expert mondialement reconnu dans le domaine des momies, et Marc Buonomo, chef de projet de l'innovant et impressionnant Viaduc de Millau. Objectif : sonder la pyramide et apporter **les dernières preuves** qui finiront de résoudre le mystère de la construction de la pyramide de Kheops.





La première machine à remonter le temps interactive et en relief fonctionne.
Nous sommes prêts à partager en 3D l'émotion de ce passionnant chantier.

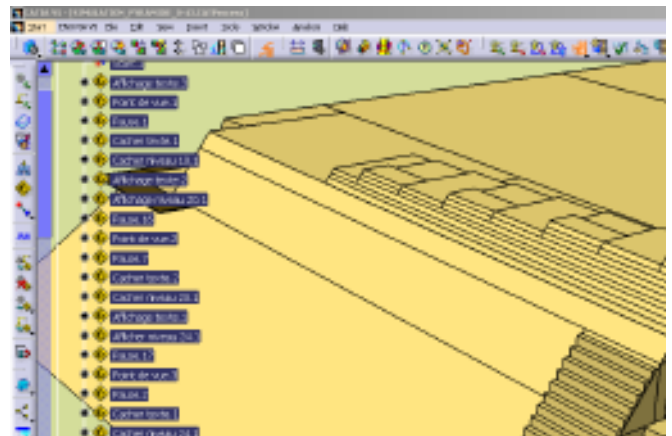
L'apport scientifique de la 3D à la théorie

La théorie de Jean-Pierre Houdin est la première à avoir été validée au moyen des logiciels de modélisation et de simulation 3D les plus performants. Elle est aussi la première théorie à expliquer la construction de la Grande Pyramide de bout en bout, en répondant à toutes les questions. Si l'on devait aujourd'hui reconstruire une pyramide à l'identique en utilisant les matériaux et les contraintes de l'époque, le chantier s'étalerait sur une vingtaine d'années. Aucune autre théorie ne le permettait jusqu'à présent.

Dassault Systèmes a mis à la disposition de Jean-Pierre Houdin l'ensemble de ses solutions, habituellement utilisées dans l'industrie pour concevoir et gérer tout type d'objet, de la simple bouteille d'eau minérale aux systèmes les plus complexes tels qu'un avion, une automobile ou un bâtiment spectaculaire conçu par l'architecte Frank Gehry. La simulation 3D permet aussi de valider l'ensemble de la chaîne de production (organisation, séquençage des tâches, ergonomie des postes de travail, relations entre les centres de production...).

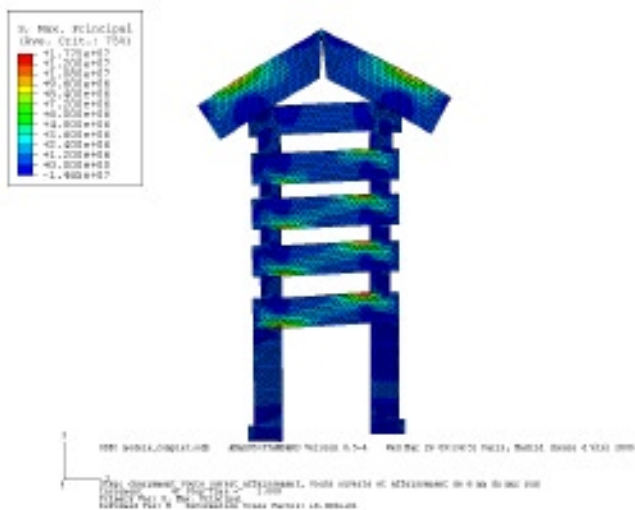
Seules la conception et la simulation en 3D permettent aujourd'hui aux industriels de produire rapidement et à moindre coût, en travaillant sur des « doubles virtuels » de leurs produits ou de leurs usines. La 3D temps réel permet de se montrer plus créatif,

plus audacieux et de réussir la fabrication dès le premier essai grâce à l'anticipation de l'ensemble du cycle de vie du produit avant même de passer à la réalité. Si l'on considère que la construction de la Grande Pyramide fut un chantier industriel avant l'heure, il paraît naturel de lui appliquer les mêmes méthodes et les mêmes outils. La Grande Pyramide a donc été modélisée en 3D et les processus de construction développés dans la théorie de Jean-Pierre Houdin ont été simulés scientifiquement.



Modélisation de la pyramide en 3D dans CATIA, logiciel de conception 3D.

La simulation 3D scientifique et industrielle au service de la première théorie complète sur la construction de la Grande Pyramide



Analyse de la Chambre du Roi dans SIMULIA – Ce logiciel est habituellement utilisé par les industriels pour simuler le comportement de leurs produits en fonctionnement et détecter à l'avance les faiblesses de structure afin d'y remédier dès la phase de conception. Ici, il a permis d'expliquer l'historique des fissures de la Chambre du Roi, qui a pu être retracé précisément grâce à la simulation scientifique par éléments finis.

La théorie en 3 points

1_

Une rampe externe à double chaussée permet un approvisionnement massif en gros blocs de pierre jusqu'au niveau 43 m, représentant 73% du volume total de la pyramide. Construite dès le départ à sa longueur maximale (environ 400 m) avec une pente de 8%, chaque chaussée est utilisée tour à tour pour monter les blocs et rehaussée de deux assises pour permettre la construction de l'assise suivante. Le chantier ne s'arrête ainsi jamais pour rehausser la rampe au fur et à mesure

2_

Une rampe interne en spirale court sous la « peau » de la pyramide avec une pente douce de 7% pour terminer la pyramide au-delà de 43 m de haut. Construite dès le départ au pied de la pyramide, cette rampe reste inutilisée durant les premières années de construction. Elle sera ensuite alimentée par le démontage progressif de la rampe externe dont les blocs, retaillés pour fournir des pierres d'environ 2 tonnes, seront hissés par la rampe interne. À la fin de chaque volée, des paliers en encoche ménagés à ciel ouvert permettent la rotation à angle droit des blocs et leur départ dans la volée suivante au moyen de potences de bois. En fin de construction, les encoches sont progressivement rebouchées en redescendant vers le pied de l'édifice au moyen de pierres gardées en réserve sur la paroi, non loin des encoches.

3_

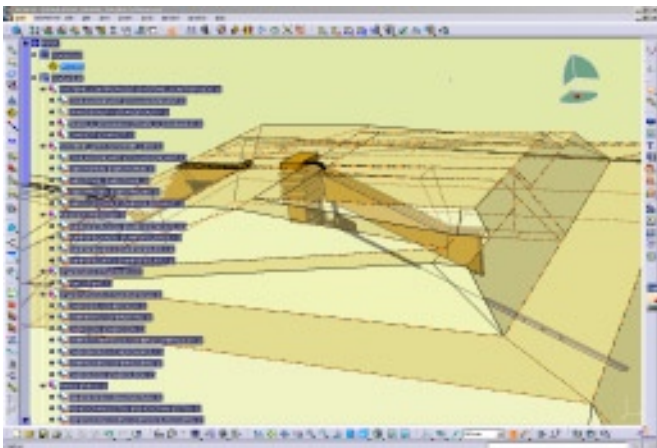
L'utilisation de la Grande Galerie comme « grue de chantier » pour faire circuler un chariot-contrepois lesté de pierre sur un train de rouleaux de bois. Ce contrepois fournit la force motrice pour hisser les énormes blocs de granit, formant les cinq plafonds de la Chambre du Roi jusqu'au niveau 60 m. Certains de ces blocs pèsent près de 63 tonnes.

Le processus de validation par la 3D

La modélisation /

Première étape indispensable

La modélisation, déclinée en trois étapes, consiste à obtenir un « double virtuel » de la pyramide avec un comportement identique à la véritable pyramide vis-à-vis des lois de la physique.



Modélisation de la pyramide en 3D. La pyramide est dessinée en trois dimensions dans CATIA avec ses côtes exactes. L'ensemble du monument, avec toute la distribution interne de couloirs et de chambres funéraires est bien visible. Le modèle 3D peut être manipulé et observé sous tous les angles. Des effets de transparence permettent même d'examiner l'édifice virtuel comme on ne pourrait le faire avec la vraie pyramide. Le modèle 3D permet également de mesurer instantanément la distance entre deux points dans l'espace, permettant ainsi de tester rapidement de multiples hypothèses et de ne retenir que les plus prometteuses. Seule la modélisation 3D permet de travailler aussi rapidement où que l'on soit, sur un simple ordinateur portable !

_1

La modélisation géométrique

consiste à créer la pyramide en 3D, avec les cotes exactes disponibles et avec toute la distribution de couloirs intérieurs et de chambres funéraires. On peut ainsi manipuler le modèle géométrique à sa guise : le faire tourner pour l'examiner sous tous les angles, procéder à des coupes, examiner par transparence la distribution des couloirs internes et des chambres funéraires etc. Impossibles à effectuer sur la vraie pyramide, les manipulations du modèle 3D permettent toutes sortes d'observations très rapides. Le modèle 3D a notamment permis à Jean-Pierre Houdin d'acquérir une meilleure connaissance du monument et d'établir des rapprochements entre certaines mesures (on peut en effet obtenir instantanément la distance entre deux points du modèle). Effectuer des recoupements entre certains dénivelés et la longueur de divers ouvrages internes de la pyramide fournit des pistes ou des confirmations à l'architecte dans l'élaboration de sa théorie.

_2

La modélisation physique

Le modèle géométrique ne permettant pas d'effectuer des simulations, la modélisation physique consiste à enrichir la géométrie des caractéristiques physiques des matériaux constituant la pyramide. À l'aide des logiciels de Dassault Systèmes intégrant les lois de la physique, il devient possible de simuler le comportement de la pyramide virtuelle comme s'il s'agissait de la vraie : résistance des matériaux, effet du poids de la pyramide sur elle-même, etc. On peut facilement savoir où l'on trouve du calcaire ou du granit, mais aussi connaître leurs paramètres physiques (densité, élasticité...) et intégrer ces données dans le modèle géométrique qui se rapproche ainsi du modèle réel.

_3

La modélisation fonctionnelle

La théorie de Jean-Pierre Houdin fait intervenir un certain nombre de systèmes mécaniques tels que des traîneaux ou un chariot circulant sur un train de rouleaux de bois. Ces systèmes sont bien connus en mécanique avec leurs caractéristiques et leurs différences (ainsi, les frottements ne sont pas les mêmes pour un patin qui glisse sur un rail ou une charge se déplaçant sur un rouleau). Ces caractéristiques sont intégrées dans le modèle 3D afin d'obtenir un modèle complet possédant les dimensions, les paramètres physiques et fonctionnels de la véritable pyramide.

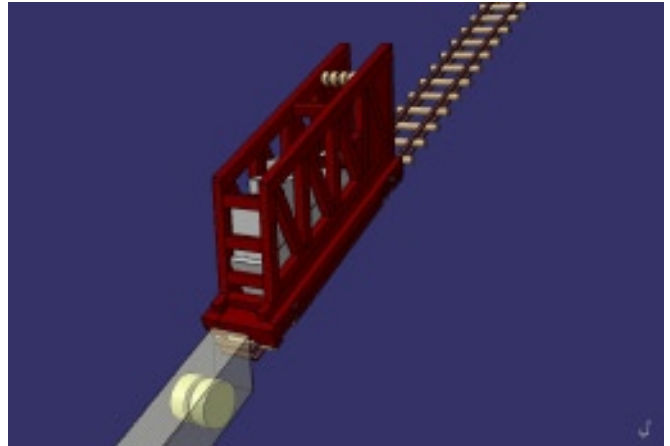
-
**Toute démarche scientifique
comporte trois étapes :
l'intuition qui mène à la théorie,
la démonstration
et la preuve expérimentale.**

La simulation /

Le modèle 3D étant obtenu, on peut donc utiliser toute la gamme de solutions logicielles de Dassault Systèmes pour simuler les processus de construction suggérés dans la théorie de Jean-Pierre Houdin et vérifier leur validité et leur cohérence. Ces logiciels servent habituellement aux industriels pour simuler dans les moindres détails les processus de fabrication d'un produit, de la conception des usines jusqu'aux chaînes de production (disposition et programmation des robots, vérification de l'ergonomie des postes de travail grâce à des mannequins virtuels). Ces outils ont donc été appliqués à la construction indiquée par Jean-Pierre Houdin.

Aucune incohérence, ni impossibilité n'a été mise en évidence. Mieux, la simulation intégrale du processus de construction permet de valider la théorie suggérée consistant à estimer la durée du chantier à une vingtaine d'années (durée du règne de Kheops).

En effet, les logiciels Dassault Systèmes prennent en compte le paramètre très important du temps. Aujourd'hui, l'industrie fait tout pour raccourcir ce que l'on appelle « les temps de cycle ». Il faut concevoir et



Validation scientifique du système du contrepoids : dans CATIA, le fonctionnement du système est intégralement vérifié, avec notamment les mouvements relatifs de ses différents composants.

produire plus vite, afin de mettre ses produits sur le marché avant la concurrence. Les logiciels Dassault Systèmes permettent donc l'optimisation des tâches à tous les niveaux en intégrant la dimension temporelle.

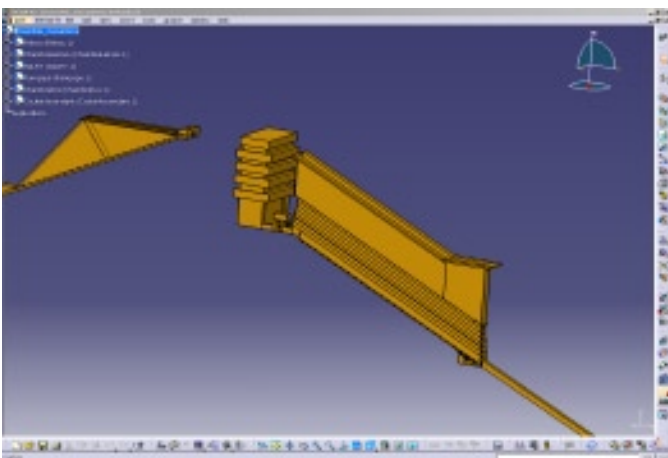
Du virtuel au réel. Sans se substituer aux observations effectuées sur le terrain, l'observation du modèle 3D et la simulation de son comportement permettent de mieux préparer les missions d'observation.

Toute démarche scientifique comporte trois étapes dans un ordre immuable :

- L'intuition qui mène à la théorie (« La pyramide a été construite de l'intérieur »)
- La démonstration rigoureuse de la théorie
- La preuve expérimentale

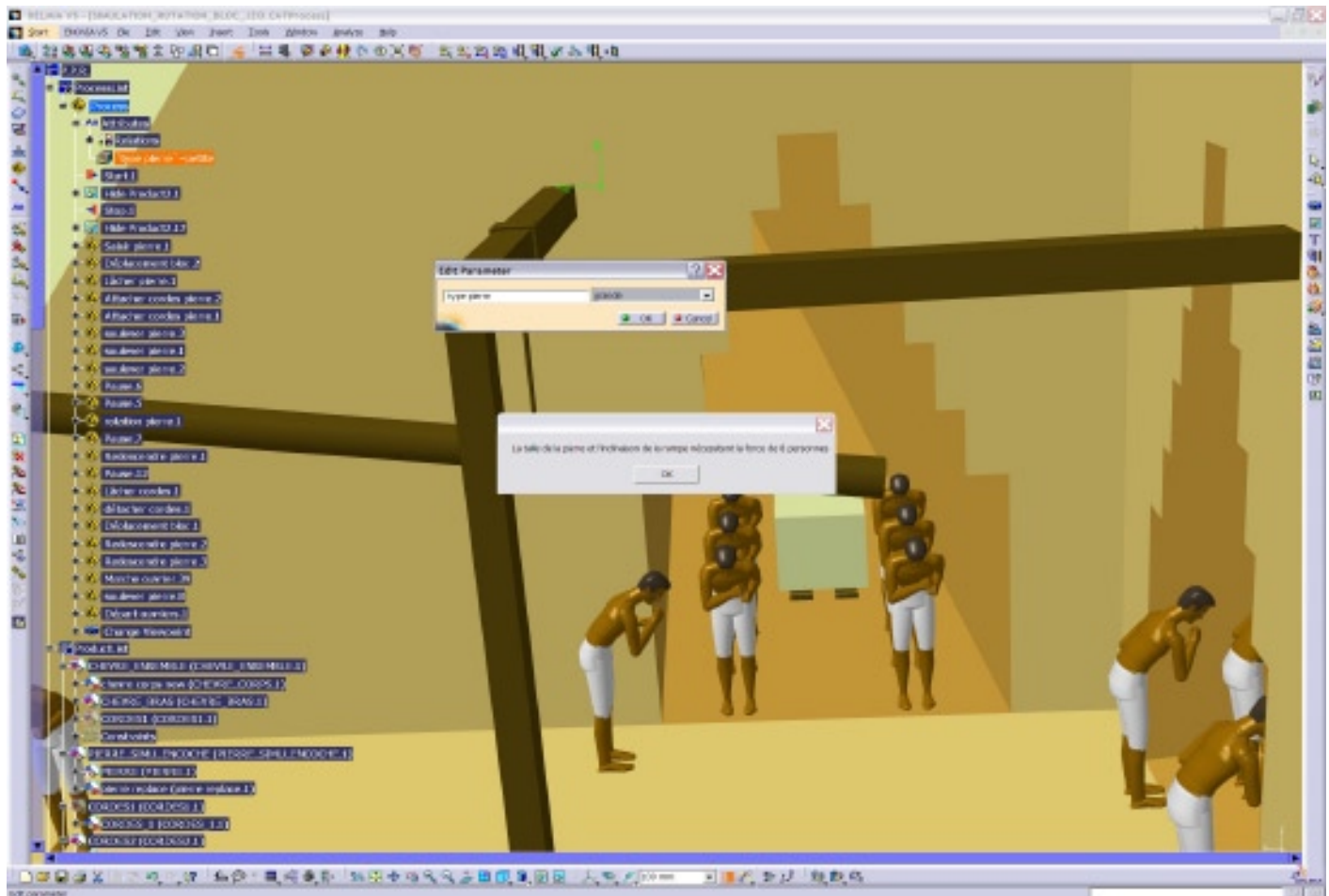
La modélisation et la simulation 3D ayant apporté une démonstration, il faut maintenant aller sur le terrain et vérifier expérimentalement la présence de la rampe interne.

À ce stade, le modèle 3D sera encore utile pour aider au placement des appareils de détection et de mesure afin d'aboutir à un résultat dans les meilleures conditions, sans endommager le monument.



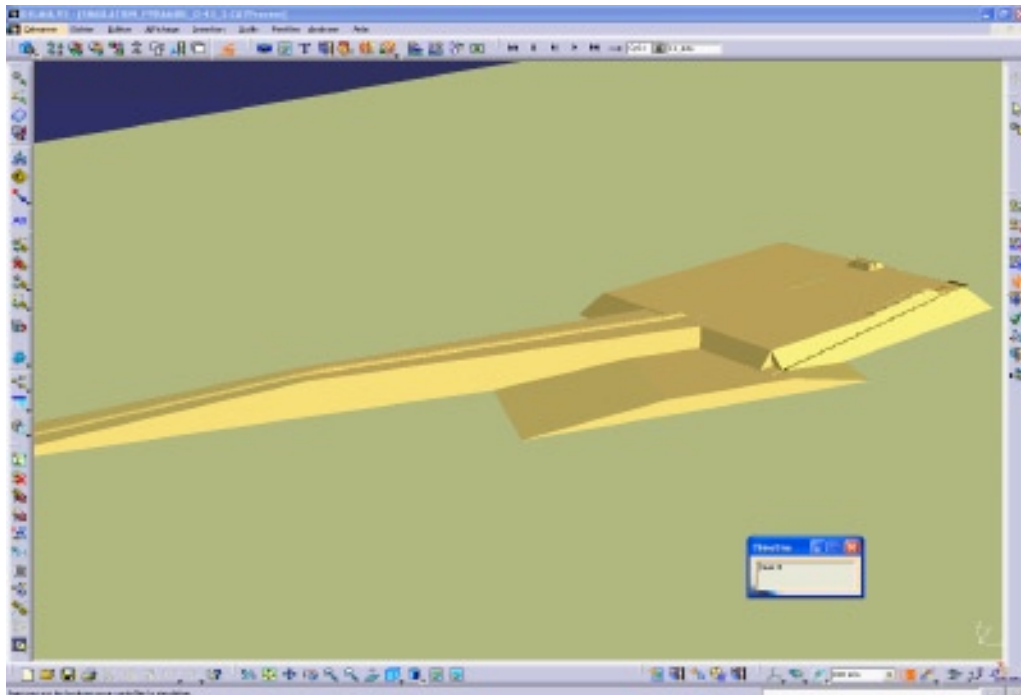
Modélisation 3D de la grande galerie et de la Chambre du Roi. Le modèle 3D permet de cacher certains éléments pour mieux focaliser son attention sur ceux que l'on désire étudier. Cela offre un réel confort pour l'étude de certains points précis.

La technologie 3D en images

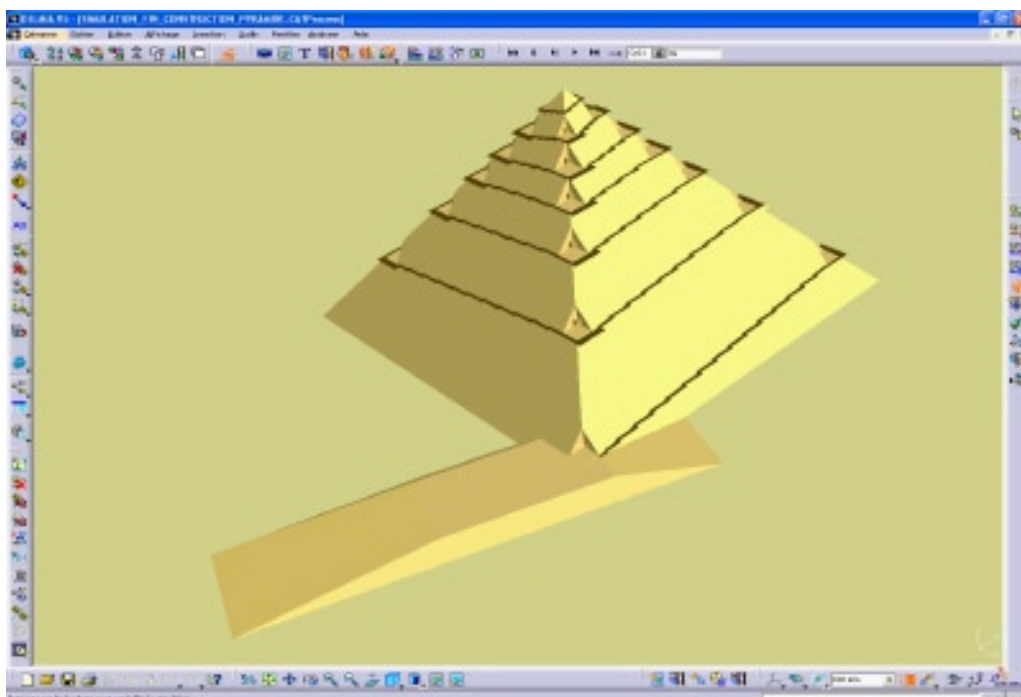


Validation scientifique avec DELMIA du système de rotation des blocs sur les plateformes en encoche. Les solutions DELMIA sont utilisées dans l'industrie pour concevoir et valider les chaînes de production. DELMIA intègre autant les aspects mécaniques que les aspects humains. Ainsi, les personnages visibles ci-dessus sont des « humains virtuels » dont on connaît les limites physiques (force et temps de traction maxima). Cela permet de vérifier non seulement que le système fonctionne (aspect mécanique) mais aussi que le nombre d'ouvriers nécessaire est compatible avec l'espace disponible sur la plateforme (aspect humain). Enfin, DELMIA intègre la dimension temporelle, permettant de vérifier que la rotation d'un bloc prend environ une minute.

06c_ La simulation 3D scientifique au service de la théorie



Simulation intégrale du processus de construction dans DELMIA : ce logiciel permet également de simuler les grandes étapes de la construction, visualisant leur enchaînement logique tout en tenant compte du facteur temps. Nous sommes ici à la neuvième année du règne, et la rampe externe procure au chantier un approvisionnement massif en pierres de bonne taille.



Le chantier à la vingtième année du règne : DELMIA a permis de suivre d'un bout à l'autre le déroulement correct du processus de construction suggéré par la théorie de Jean-Pierre Houdin.

La 3D temps réel pour tous

L'avenir de la communication en générale et du web en particulier est en 3D, que ce soit au travers des communautés de partage et d'échange en 3D, de services d'impression d'objets en couleur, de la conception et de l'agencement de produits en ligne à la demande, de l'essayage de lunettes ou de vêtements sur son double virtuel...

La 3D temps réel offre une expérience plus immersive et interactive, suscitant l'intérêt. Les utilisateurs s'approprient les concepts plus aisément qu'avec tout autre type de médias. Tout contenu Web interactif gagne donc en puissance en gagnant une dimension. À peine a-t-on annoncé la naissance du Web nouvelle génération Web 2.0, que l'on voit donc déjà poindre le Web 3D. Avec sa technologie de 3D multiplateformes Virtools, par exemple, Dassault Systèmes entend jouer un rôle majeur dans la 3D au service du plus grand nombre, avec le développement d'applications interactives sur Internet.

Le projet Kheops et le site www.3ds.com/khufu sont des illustrations des possibilités offertes par la 3D temps réel.

La technologie Virtools. Virtools est, par certains aspects, à la 3D ce que Flash est à la 2D. Permettant une mise en scène aisée du contenu et une gestion simple des interactions, Virtools est une solution qui donne vie à la 3D. Elle permet aussi, à partir d'un même



Sur Internet. www.3ds.com/khufu

contenu, de créer une expérience 3D temps réel en ligne ou dans des dispositifs de réalité virtuelle par exemple. Si des services comme Second Life ont montré la voie à de nombreux annonceurs qui se sont pris au jeu de la 3D et des communautés, avec Virtools, c'est tout un monde d'expériences en 3D véritablement différenciantes qui s'ouvre et dont la seule limite est l'imagination.

Dassault Systèmes et la Géode se sont associés afin de créer la plus grande salle de réalité virtuelle relief en 3D temps réel du monde. S'appuyant sur les solutions Virtools de Dassault Systèmes, sept ordinateurs en



Un seul et même outil pour créer une expérience interactive 3D multi plateforme



En utilisant des dispositifs grand public de Réalité virtuelle

**Le média du XXIe siècle :
Web 3D et émotion géante interactive.**

réseau permettent de reconstituer en relief le chantier de Kheops tel qu'il fut il y a 4 500 ans et de naviguer librement à l'intérieur au gré des questions du public. Ainsi, après l'inauguration de la « Géode Films 3D », de la « Géode HD » et de la « Géode Live », Dassault Systèmes et la Géode lancent, à présent, la « Géode Réalité Virtuelle », plus grande salle de réalité virtuelle 3D relief et temps réel au monde.

Il s'agit d'une première mondiale qui préfigure les installations et mises en scène du futur, combinant réel et virtuel grâce à l'immersion en relief. La seule limite de ce dispositif unique au monde est l'imagination des créateurs de contenu qui peuvent, grâce à Virtools, aussi bien diffuser leurs créations sur Internet que

Séance de test à la Géode (DS transforme la Géode en plus grande salle de réalité virtuelle au Monde) ou le contenu est piloté en temps réel par un « 3dj », vj de la 3D. En fonction des questions de la salle on se déplace dans le chantier de la pyramide comme les premiers touristes d'un voyage dans le temps.



L'émotion sur écran géant à la Géode

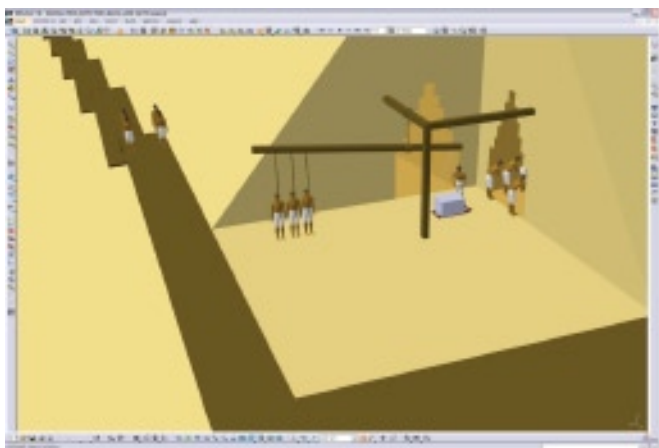


sur un écran géant comme celui de la Géode (avec une image de 25 m de large et une surface de 400 m² !). Dassault Systèmes et la Géode vont rendre ces expériences accessibles afin que le grand public les découvre dans ce dôme spectaculaire (26 m de diamètre, 1 000 m²). **La révolution 3D est en marche...**

Innovation et création en 3D

Les technologies 3D temps réel, à l'instar de la représentation en perspective inventée au XV^e siècle, révolutionnent le monde dans lequel nous vivons. Qu'elle soit scientifique ou support de communication et de partage, ou encore application interactive, la 3D devient l'outil et le média incontournable du XXI^e siècle. En modifiant notre perception du monde et en offrant des expériences interactives inédites, la 3D est par excellence une technologie au service de l'innovation.

Si elle a déjà bouleversé le monde du jeu vidéo, le cinéma d'animation ou encore le secteur industriel, la 3D sort de son univers d'initiés pour révolutionner de plus en plus de domaines. La théorie de Jean-Pierre Houdin constitue une véritable innovation née de la 3D temps réel. Elle est aussi dévoilée, partagée et expliquée avec le grand public, grâce à cette technologie.



3D temps réel comme outil scientifique au service de l'innovation

La démarche d'innovation

1 Sans intuition, pas d'innovation !

En favorisant les changements de points de vue, en permettant de manipuler et de jouer avec les concepts, la 3D permet de voir les choses différemment et suscite de nouvelles idées. Ainsi, c'est en voyant les fissures de la Chambre du Roi apparaître, grâce aux logiciels utilisés pour simuler par exemple des crashes tests, que l'intuition de la cause de l'affaissement du mur Sud est née chez Jean-Pierre Houdin. De nombreux détails de la théorie ont en outre été affinés grâce à la visite du chantier en 3D temps réel avec les casques de réalité virtuelle, l'expérience et l'émotion du virtuel amenant à perfectionner tous les détails du chantier pour qu'ils soient le plus réaliste et le plus plausible possible.

2 Le bon outil

Innover, c'est aussi valider des hypothèses, procéder à des tests, essayer des voies qui s'avèrent parfois sans issue, avant de trouver la solution. Les outils 3D utilisés dans de nombreuses industries permettent de changer en temps réel les données d'un problème et de visualiser instantanément le résultat sur son écran. La théorie de Jean-Pierre Houdin et ses différentes hypothèses ont été analysées et simulées en 3D jusqu'à la construction intégrale de la pyramide dans un environnement virtuel.

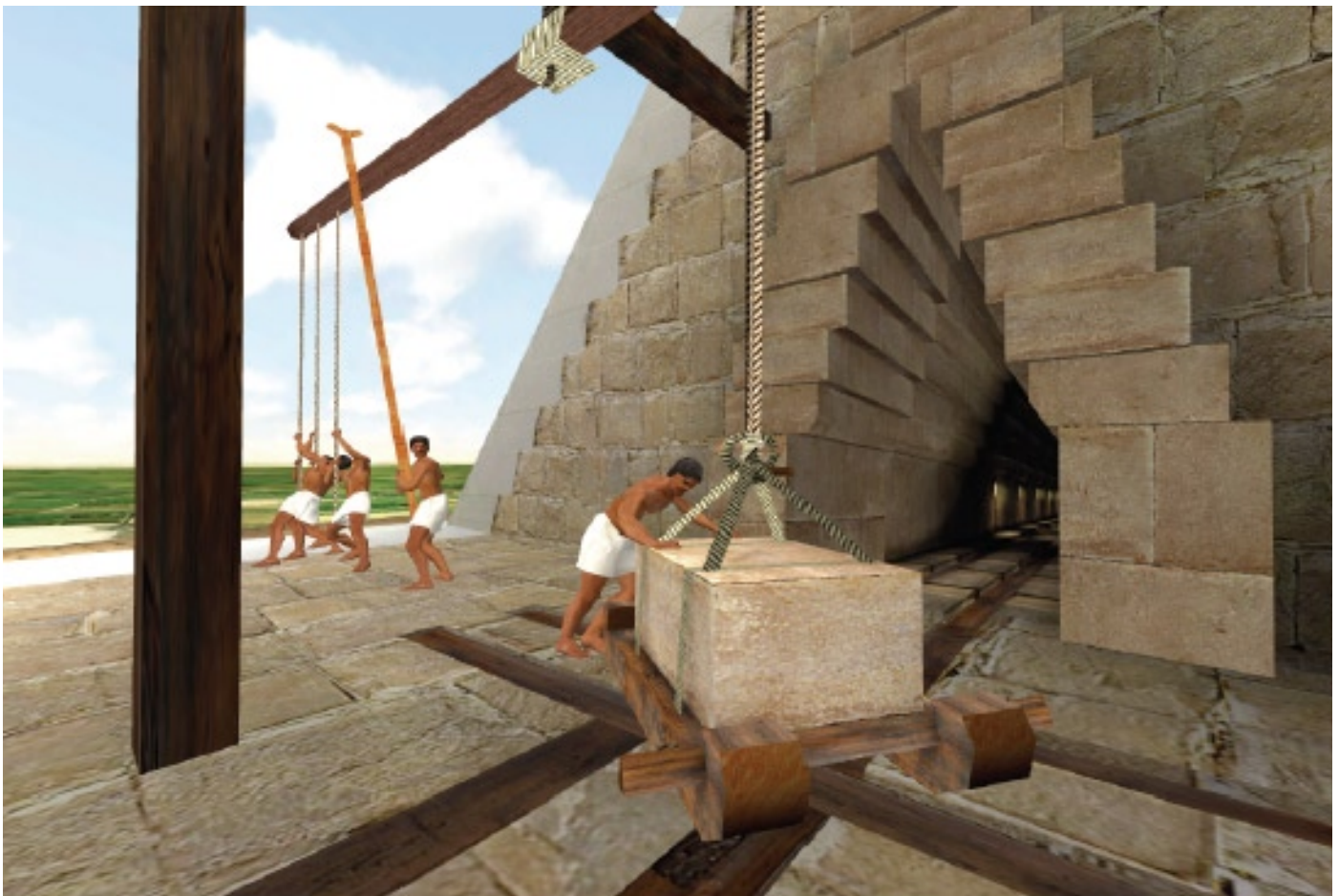
-
La vocation de Dassault Systèmes est de favoriser l'innovation et la créativité du plus grand nombre grâce à la 3D temps réel.

3_

Apprendre et partager

Innovater, c'est aussi être capable de faire comprendre ce que l'on a inventé pour que le plus grand nombre reconnaisse et s'approprie une invention. La 3D, véritable langage visuel universel, permet de comprendre facilement des concepts a priori complexes. Les applications 3D interactives constituent dans de nombreuses industries un excellent outil de formation (par exemple l'apprentissage des gestes de maintenance dans l'aéronautique). Quand on ajoute à celles-ci une dimension virtuelle permettant d'immerger complètement l'utilisateur dans un univers sensoriel, reproduction du réel, la 3D temps réel n'en est que plus puissante par l'émotion qu'elle suscite.

Hier développées en 2D sur des technologies comme Flash, les applications interactives ludo-éducatives gagnent une dimension supplémentaire pour offrir tant au grand public qu'aux spécialistes, une expérience d'apprentissage d'un genre nouveau. Dassault Systèmes en offre une illustration, en donnant au grand public la possibilité de visiter en 3D temps réel le site de Guizeh tel qu'il était il y a 4 500 ans. On peut ainsi comprendre pas à pas la théorie en s'appropriant les contenus, en les manipulant et en choisissant ses propres points de vue. Les technologies et les logiques du jeu vidéo sont mises à disposition du plus grand nombre grâce à Internet.



3D temps réel comme média au service de l'émotion.

Biographies



**Jean-Pierre Houdin **
Architecte

Né en 1951 à Paris, Jean-Pierre Houdin a grandi à Abidjan, en Afrique, où son père, ingénieur, dirigeait une entreprise de BTP. Enfant, il a passé son temps libre sur les chantiers, où son intérêt pour le monde de la construction est sans doute né. Plus tard à Paris, il intègre les Beaux-Arts, section architecture. Diplômé en 1976, il se lance comme architecte indépendant, profession qu'il exerce pendant vingt ans. Il participe à la construction de nombreux édifices d'habitation et de bureaux en Ile de France. Parallèlement, avec sa femme Michelle et un ami, il ouvre un salon-galerie d'art aux activités avant-gardistes qui devient un des lieux du Paris artistique au tournant des années 80/90.

Fin 1996, il part à New York, à une période qui voit Internet se développer de façon considérable. Il apprend à se servir d'Internet, à dessiner grâce aux premiers outils de dessin numérique, et s'engage dans la construction de sites Internet. À New York d'abord, puis à Paris où il rentre en 1998.

En 1999, son père, assistant à une émission de télévision consacrée à la construction des pyramides, a l'intuition que les pyramides ont pu être bâties de l'intérieur. Il fait appel à son fils Jean-Pierre, architecte rôdé à la 3D pour l'épauler dans ses recherches. En 2005, Jean-Pierre Houdin rencontre Mehdi Tayoubi et Richard Breitner dans le cadre du programme de mécénat « Passion For Innovation » de Dassault Systèmes. L'aventure Kheops est en marche.



/ Mehdi Tayoubi
Directeur marketing & communication online
Directeur du programme «Passion for Innovation»

Né en 1974, à Casablanca, Mehdi Tayoubi grandit dans un milieu multiculturel. À 17 ans, ce passionné d'innovation dépose un brevet d'invention pour les équipements de valises de voyage. Installé à Paris, il intègre une prépa HEC, en 1992, avant de plonger dans le monde de l'art où il organise des événements culturels. En 1995, l'arrivée d'Internet lui permet d'établir le lien entre créativité et technologie (création d'une application pour les experts en arts, site de recrutement...). Fort de diverses expériences dans les nouveaux médias, il intègre une agence de communication où il prend en charge le développement des activités Web avant de rejoindre l'agence Web Orange Art en 1998, en tant que consultant pour le compte de clients comme Lexmark, l'Oréal ou Volkswagen. Convaincu que le Web s'exprimera en 3D, il crée en 2000 la filiale Ultra Orange spécialisée en 3D temps réel et lance les premières applications Web 3D. Il rejoint Dassault Systèmes, leader de la 3D industrielle, et prend la direction de la stratégie marketing et communication online, poste qu'il occupe depuis 2001. Il crée une équipe pluridisciplinaire où autodidactes, ingénieurs, créatifs et diplômés d'écoles de commerce se côtoient pour innover. Il conçoit avec Richard Breitner le programme de mécénat en ligne « Passion for Innovation » en 2005. Fin 2006, il lance avec son équipe la première communauté en ligne de partage et d'échanges de modèles 3D temps réel, www.teapotters.com. Il imagine et pilote le projet Kheops, une aventure où la 3D temps réel industrielle et la 3D temps réel de l'émotion se mettent au service de la théorie de Jean-Pierre Houdin.



/ Richard Breitner

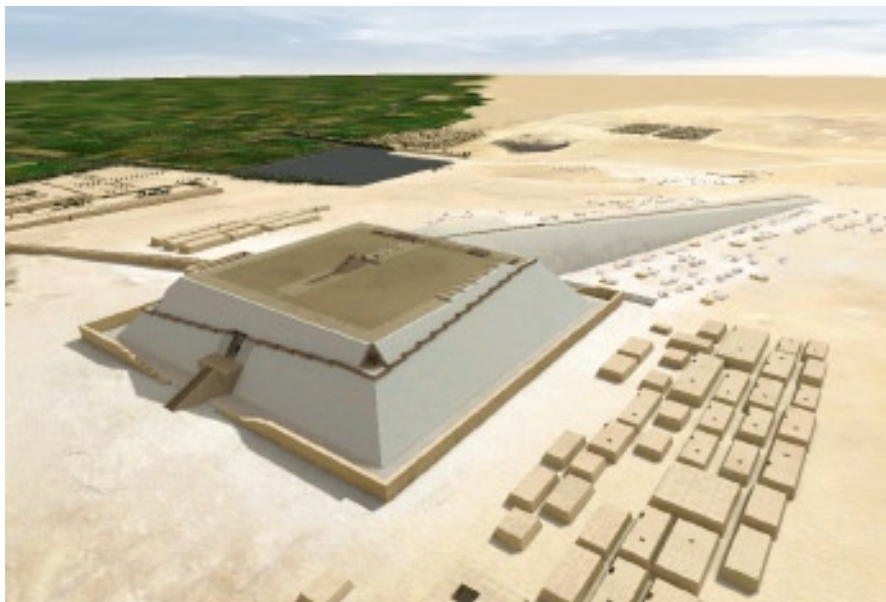
Chef de projet Web.

Responsable du programme «Passion for Innovation»

Ingénieur de 44 ans, ce passionné d'aviation commence sa carrière à la SNECMA en 1987, où il est déjà ingénieur-système CATIA, le célèbre logiciel de CFAO de Dassault Systèmes. Après un bref passage chez IBM au Centre International de Support CATIA, il rejoint Dassault Systèmes en 1992 et occupe divers postes en maintenance et industrialisation sous UNIX. En 1997, il se passionne pour l'Internet, apprend le langage HTML en deux heures et élabore ses premiers sites Web. Il sera à l'origine du développement des premières versions des sites de Dassault Systèmes. En 2001 il rejoint l'équipe de Mehdi Tayoubi pour mettre en place le système de gestion de contenu Web. Au fur et à mesure des versions successives, il gère l'internationalisation du site de Dassault Systèmes, aujourd'hui en dix langues. L'exemple d'un collègue handicapé qui réalise de manière autonome un projet personnel sous CATIA lui donnera l'idée du programme de mécénat technique «Passion for Innovation» dans lequel s'inscrit le projet Kheops pour lequel il coordonne notamment les simulations scientifiques 3D. Outre l'Internet et l'Égypte ancienne, il se passionne également pour la musique, les philosophies orientales et la poésie japonaise classique. Il a coutume de dire qu'il lui faudrait neuf vies pour apprendre et faire tout ce qui l'intéresse.



5ème année du règne. La rampe externe à double chaussée permet un approvisionnement en pierre massif pour construire les premières assises de la pyramide. Elle restera en service pour construire les 43 premiers mètres de l'édifice.



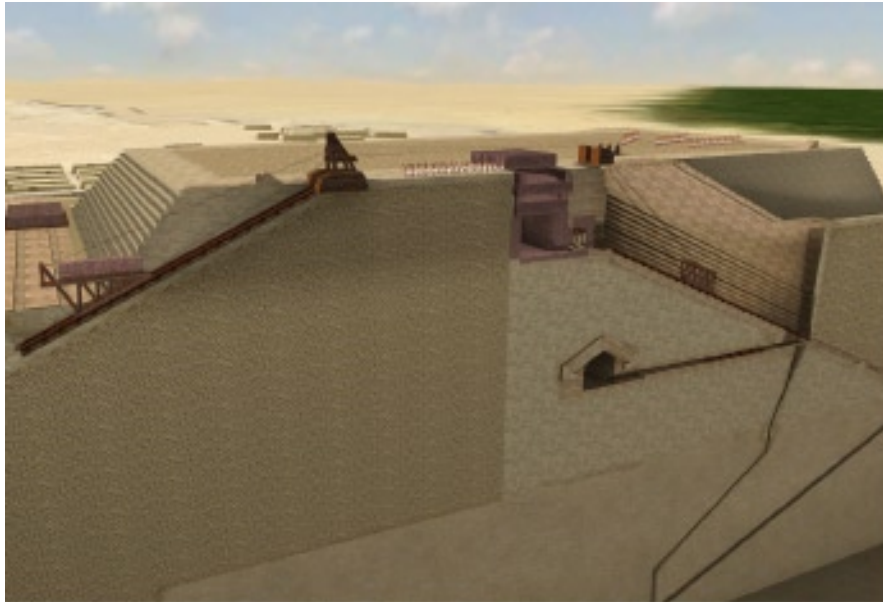
14ème année du règne. Le chantier est au niveau +43m, vu du Nord-Ouest. La rampe extérieure atteint son niveau maximum, la rampe intérieure comporte déjà 3 volées mais en raison de sa géométrie, elle ne perturbe pas l'approvisionnement du chantier. Les poutres des plafonds de la Chambre du Roi sont hissées à ce niveau avec l'aide du contreponds circulant dans la Grande Galerie.



15^{ème} année du règne. La rampe intérieure débouche au niveau +43m, elle n'est pas encore utilisée pour construire la pyramide mais est déjà intégrée dans la pyramide depuis le niveau +7m. A droite, le second degré est en cours de construction pour permettre la mise en place des plafonds de la Chambre du Roi.



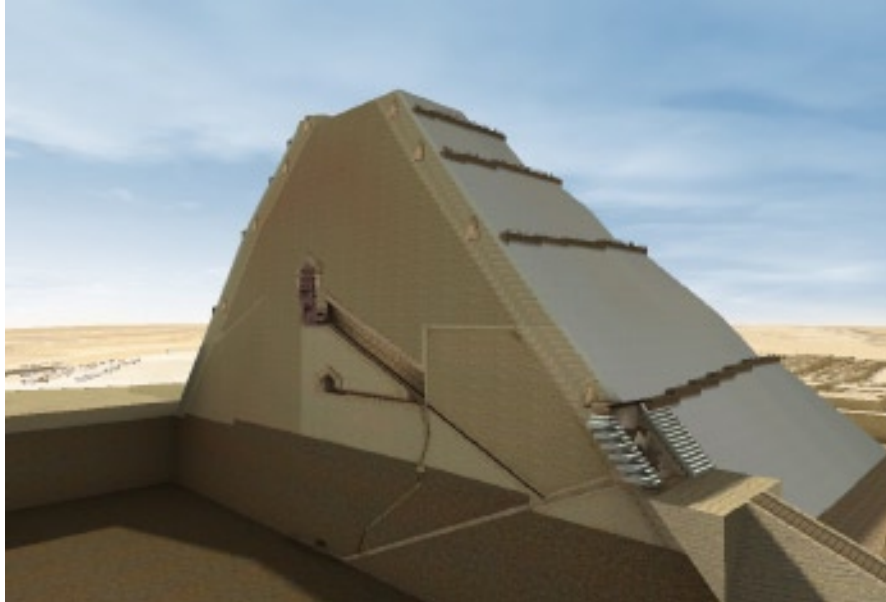
15^{ème} année du règne. La pyramide ressemble à une pyramide à 2 degrés : le premier, définitif, de la base au niveau +43m, le second, en retrait d'une vingtaine de mètres des faces, du niveau +43m au niveau +54m. Ce degré est construit autour de la Chambre du Roi, au fur et à mesure de sa construction. A ce niveau +54m, le 3^{ème} plafond est en cours de mise en place.



15ème année du règne. Les poutres de granit formant la Chambre du Roi sont montées au moyen du contrepoids et mises en place définitivement dans chacun des plafonds. Etage par étage, la chambre du Roi est ainsi construite avec l'assistance du contrepoids qui réduit considérablement le nombre d'ouvriers nécessaire.



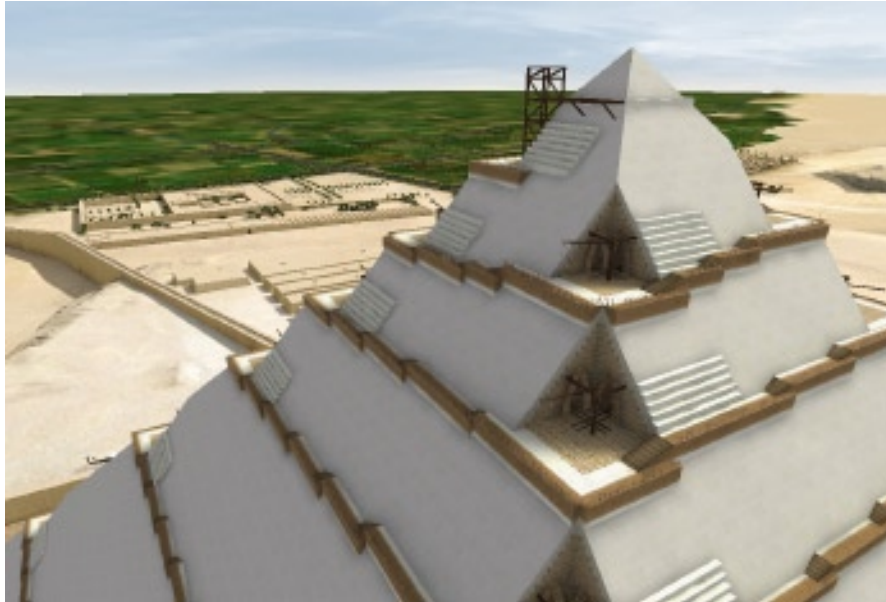
15ème année du règne. Le chantier est aux niveaux +43m et +54m, vu du Nord-Ouest. Toutes les poutres de la Chambres du Roi sont dans l'enceinte de la pyramide, soit encore sur l'aire de stockage au niveau +43m, soit déjà en place dans les 3 premiers plafonds. La rampe extérieure est toujours en service et permet d'approvisionner les matériaux pour construire le second degré.



19ème année du règne. Le niveau +113m est atteint. Coupe Nord-Sud vue depuis le Nord-Est. On distingue les sections de la rampe intérieure dans la maçonnerie de soutien. La Chambre du Roi est profondément noyée dans la masse du monument. Les craquements du 1er plafond n'ont pas encore eu lieu.



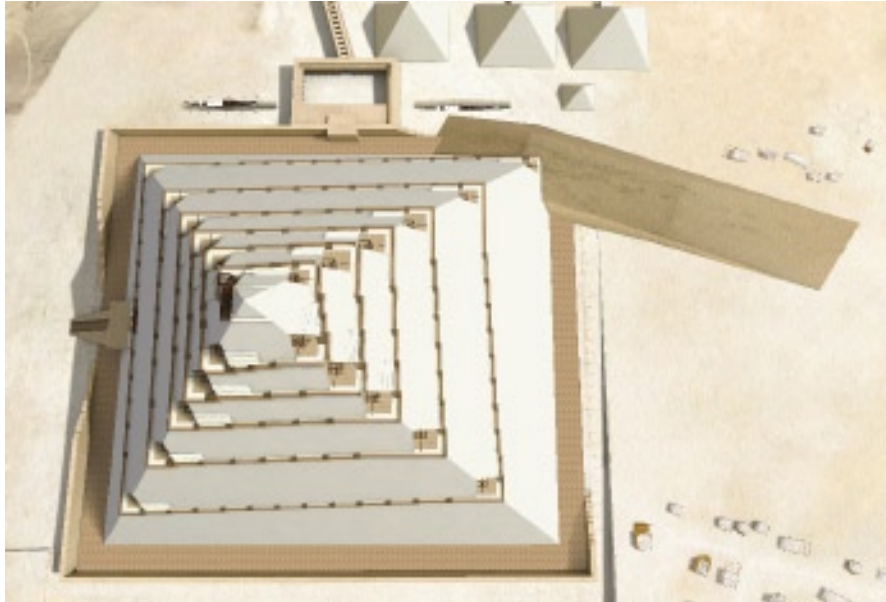
19ème année du règne. Le chantier, vu du Nord-Ouest, atteint le niveau +113m. La Chambre du Roi est terminée depuis longtemps, la pyramide est construite avec les matériaux récupérés lors du démantèlement de la rampe extérieure. Les blocs sont dorénavant transportés par la rampe intérieure jusqu'à leur place définitive.



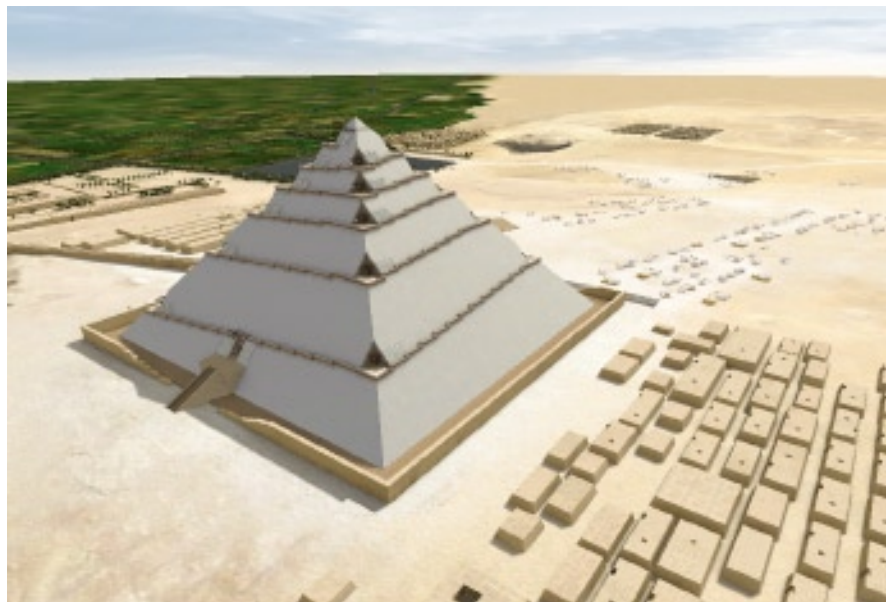
20ème année du règne. La pyramide est terminée, le pyramidion est en place au sommet du monument.



20ème année du règne. Le sommet est atteint, les travaux de parachèvement vont commencer depuis le sommet et en redescendant : rebouchage des encoches, démontage de la coursive extérieure, surfacage des derniers blocs de façade encore bruts.



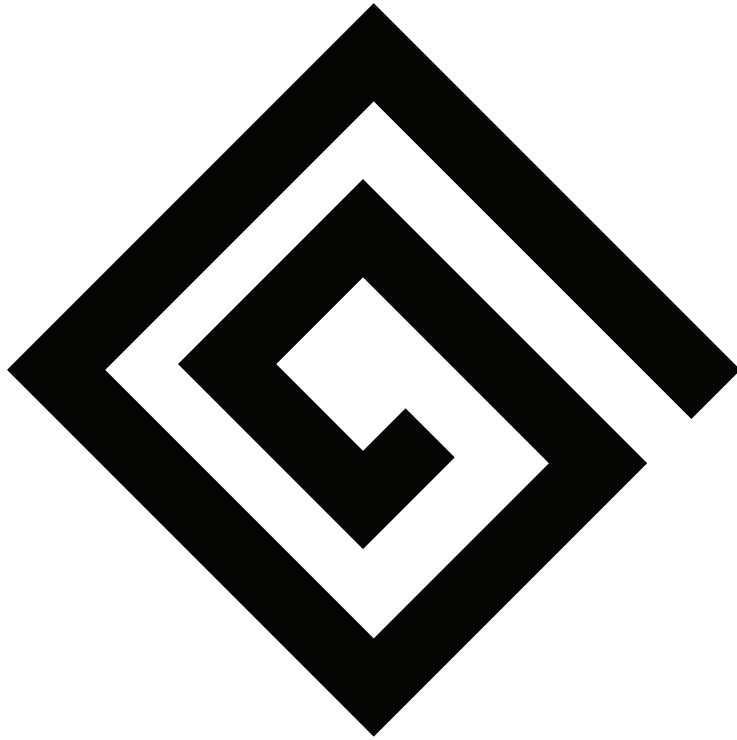
20ème année du règne. La pyramide est terminée, il ne reste de la rampe extérieure que la partie basse d'accès à la rampe intérieure dans l'angle Sud-Est. Les travaux de parachèvement vont débiter.



20ème année du règne, vue sous un autre angle. Le chantier principal est terminé, le pyramidion est en place au sommet ; les travaux de parachèvement vont commencer depuis le sommet.



23ème année du règne. Les funérailles de Kheops ont eu lieu, le Roi repose maintenant dans le sarcophage de sa Chambre au niveau +43m ; les Egyptiens avaient méthodiquement estimé les limites des craquements des poutres des trois premiers plafonds et avaient jugé la Chambre parfaitement capable d'affronter l'Eternité. Le chantier s'était achevé à la fin de la 21ème année du règne avec le rebouchage des encoches, le démontage de la coursive extérieure et le ravalement des derniers blocs.



Glossaire

Dassault Systèmes est le leader mondial

sur le marché des solutions logicielles de gestion de cycle de vie des produits (Product Lifecycle Management, ou PLM) s'appuyant sur la puissance de la représentation en trois dimensions (3D). Ses applications logicielles et services permettent aux entreprises de toutes tailles de créer et de simuler numériquement les produits ainsi que les procédés et les ressources nécessaires à la fabrication et à la maintenance de ces produits. Dassault Systèmes a pour objectif de proposer des solutions permettant à tous d'imaginer, de partager et d'expérimenter en 3D afin de favoriser le partage, dans l'ensemble de l'entreprise, du savoir-faire inhérent au développement du produit, depuis sa conception jusqu'à sa maintenance.

3D temps réel /

La 3D temps réel consiste à afficher sur un écran les images d'un environnement en trois dimensions, ajoutant à la sensation de profondeur une possibilité d'interaction en temps réel.

L'utilisateur, comme il le ferait dans un jeu en 3D, est libre de ses mouvements, peut se déplacer « virtuellement » à sa guise, et interagir avec les objets 3D qui l'entourent.

La 3D temps réel se différencie ainsi de la 3D classique des films d'animation où l'ensemble de ce l'on voit est pré-calculé et regardé de manière passive. Le spectateur d'un film d'animation 3D classique ne peut pas, par exemple, interagir dans le scénario ou changer d'angle de vue.

La qualité d'affichage de la 3D temps réel dépend de la puissance du matériel et des cartes graphiques 3D. Ces dernières se démocratisant et évoluant rapidement, la qualité des environnements 3D évolue tant au point de vue du graphisme que du rendu, rejoignant peu à peu la qualité de la 3D pré-calculée des studios d'animation de 3D traditionnelle.

• CATIA pour la conception virtuelle des produits

CATIA permet de simuler la totalité des processus de conception industrielle, du concept initial jusqu'à la conception du produit, l'analyse et l'assemblage. Les produits CATIA couvrent tout type de besoins techniques et de concentration et s'intègrent de façon transparente avec les autres produits du portefeuille de solutions PLM de Dassault Systèmes.

• DELMIA pour la production virtuelle

DELMIA permet de créer, gérer et contrôler les processus de production et de maintenance. Les applications de DELMIA s'appuient sur le modèle Produit, Processus et Ressources, unique en son genre, qui couvre l'ensemble des secteurs industriels, notamment l'automobile, l'aéronautique et la construction navale.

• SIMULIA pour la simulation virtuelle

SIMULIA est la plate-forme multi-physique ouverte qui offre des capacités de simulation réaliste à un large spectre d'industries traditionnelles ou émergentes. En remplacement des tests physiques sur les produits, SIMULIA accélère l'innovation et réduit les coûts de logiciels propriétaires en termes de simulation réaliste, tout en optimisant la qualité et les performances. SIMULIA propose une nouvelle génération de simulation pour des produits faits pour durer.

\ Virtools

La gamme de produits Virtools est une composante majeure de la stratégie « 3D pour Tous » de Dassault Systèmes dont la vocation est de permettre au grand public de bénéficier au quotidien des avantages offerts par des solutions 3D interactives et réalistes.



See what you mean

Retrouvez dès maintenant le projet Kheops sur
www.3ds.com/khufu

Et aussi lors des neuvièmes Rencontres
Internationales de la Réalité
Virtuelle du 18 au 22 avril 2007.
Plus d'infos sur le site www.laval-virtual.org



**Et bientôt à la Géode, des conférences
innovantes en 3D temps réel,
ouvertes au public.**

Merci à

