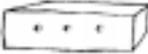


# flash informatique

p/a EPFL - SERVICE INFORMATIQUE CENTRAL - CP 121 - CH 1015 LAUSANNE - TEL. +41-21 693 2211 - FAX +41-21 693 2220



 – Non ! Non ! je ne veux pas d'un éléphant dans  un boa...  
– Dessine-moi un mouton.

– Le mouton que tu veux est dedans.   
– C'est tout à fait comme ça que je le voulais ! Crois-tu qu'il faille beaucoup d'herbe à ce mouton ?

 – Pour voir dans cette figure un cube ; il nous faudrait y voir d'abord une figure plane, puis y ajouter une impression de profondeur.

– et l'exacte représentation d'un  
res, s'appliquera en outre à res-  
nus qu'elle doit recouvrir.



paire de chaus-  
sembler aux pieds

– la mise à jour, par soustraction, de la statue contenue dans le bloc de marbre.



– d'abord ne conserver de  
la matière que son fan-  
tôme...



– recoudre avec la réalité.

Un bloc de marbre était si beau  
Qu'un Statuaire en fit l'emplette,  
«Qu'en fera, dit-il, mon ciseau ?  
Sera-t-il dieu, table ou cuvette ?

A. de St-Exupéry *Le petit prince* L. Wittgenstein *Le cahier Bleu et le cahier Brun* M. Foucault  
*Ceci n'est pas une pipe* R. Magritte *Modèle-rouge* Michel-Ange *L'esclave des jardins* Boboli  
IRE *Cheval* H. Bergson, *Matière et mémoire* Le Bernin *Le rapt de Proserpine* De La Fontaine  
*Le Statuaire et la statue de Jupiter*

GA

1 avant-propos *par Georges Abou-Jaoudé*

3 Editorial *par Jacqueline Dousson*

### *La perception du 3D*

4 Les enjeux du visible: perspective, piège, passage *par René Berger*

13 En attendant Le Bernin *par Georges Abou-Jaoudé*

17 Vision et mesures stéréoscopiques *par Otto Kölbl*

26 Maquette, panorama et rendering *par Ulrich Doepper*

30 Mon ordinateur voit double *par Jean-François Rolle*

### *Les humains réels et virtuels*

41 Serveur WEB d'images parallèles pour le projet Visible Human *par Samuel Vetsch, Vincent Messerli, Oscar Figueiredo, Benoit Gennart, Roger Hersch, Laurent Bovisi, Ronald Welz & Luc Bidaut*

47 Humains Virtuels sur le WEB *par Christian Babski, Ronan Boulic*

56 Des avatars aux humains virtuels autonomes et perceptifs *par Daniel Thalmann*

### *Le paysage*

66 Outils de la photogrammétrie pour visualiser des projets *par Matthias von Moos*

#### *72 colophon*

73 Génie rural & environnement: modélisation 3D et animation virtuelle *par Jean-François Monnet*

83 Construction de panoramas photographiques à l'aide de plusieurs images *par David Hasler*

94 L'institut européen d'étude, de recherche et d'application du paysage alpin (IDERALPE) *par Jacques Monnier-Raball & Michel Bécholey*

98 Techniques 3D pour le bureau d'ingénieurs *par Mauro Pedretti*

### *La modélisation 3D*

103 La modélisation numérique du climat: un outil en pleine évolution *par Hervé Le Treut*

109 HAEDB: base de données de l'aérothermodynamique hypersonique *par Silvio Merazzi, Richard Schwane & Jan Vos*

*versos Flip-book par Georges Abou-Jaoudé*

# EDITORIAL



**Flatland** [1] : un petit jeu d'esprit écrit en 1844 par le Docteur Edwin Abbott ; dans ce monde, des êtres intelligents (triangles, polygones, cercles) se meuvent sur une surface plane ; ils ne prennent conscience de la 3ème dimension que quand une sphère traversant leur espace les repousse au-delà d'un cercle de plus en plus grand, puis progressivement disparaît. Dans ces 150 pages de pré-science-fiction l'auteur avait voulu montrer la difficulté de percevoir une dimension nouvelle à notre univers quotidien et ce thème fut repris au début du siècle pour aider le profane à sentir ce qu'était cette 4ème dimension apparue dans les travaux des physiciens.

Notre monde *réel* n'est pas Flatland, il a de la profondeur, du volume, tout comme ce journal que vous tenez entre vos mains et que nous avons voulu particulièrement *volumique* pour que son épaisseur atomique fasse comme un contrepois à toute cette informatique impondérable. L'ordinateur, qui a depuis quelques années

déjà dépassé son rôle de simple calculatrice géante est devenu un outil de création de volumes :

- pour se rapprocher du réel, comme dans la synthèse de paysages ou d'humains ;
- pour l'analyser comme dans le *Visible Human* ou comme avec l'équipe de recherche d'IBM qui a reconstitué sur 80 GB une piéta de Michel-Ange dont le maître avait cassé des membres afin de connaître le mystère du geste de l'artiste [2] et tenter de visualiser l'œuvre telle qu'elle aurait pu être ;
- pour simuler des phénomènes complexes comme la modélisation du climat ou les phénomènes aérodynamiques.

Les articles de ce journal traitent de tous ces aspects liant volumes et informatique, et abordent la problématique qui va prendre de plus en plus d'ampleur dans les années à venir : comment l'ordinateur nous permet de créer un réel différent.

Bonne lecture! ■

# LES ENJEUX DU VISIBLE

## PERSPECTIVE, PIÈGE, PASSAGE



*René Berger, professeur honoraire de l'Université de Lausanne*



*La Flagellation (1455) – Piero della Francesca – Galerie nationale d'Urbino*

La perspective naît de l'effort conjugué d'artistes, d'ingénieurs, de savants, de géomètres, de mathématiciens souvent réunis dans les mêmes personnes: Alberti, Piero della Francesca, Brunelleschi (Léonard de Vinci reste le parangon légendaire), qui appartiennent aux milieux en pleine effervescence intellectuelle qu'animent les grands de l'époque, les Sforza à Milan, les Médicis à Florence, les Montefeltre à Urbino, les Gonzague à Mantoue, les Urbain VIII et Léon X à Rome, les Alde Manuce, les Francesco Colonna à Venise.

La perspective n'est donc pas une invention isolée; elle est le fruit de rencontres et d'échanges qui témoignent de l'émergence d'une vision nouvelle du monde. Au sens technique, il s'agit de mettre au point un système de projection sur un plan bidimensionnel des objets à trois dimensions ou, pour reprendre les termes mêmes d'Alberti: *Le tableau est une intersection plane de la pyramide visuelle*. Un tel dispositif établit et valide le système de représentation qui fait de l'objet représenté l'équivalent de l'objet perçu, ou plutôt **l'équivalent de l'objet conçu**. Ainsi que le souligne Erwin Panofsky dans son ouvrage intitulé à dessein **La Perspective comme forme symbolique**: *L'espace homogène (celui de la perspective) n'est donc jamais un*

*espace donné: c'est un espace engendré par une construction*. [1] Et le sens de cette construction est de substituer à la conception religieuse du Moyen Age une conception *humaniste*. La symbolique de Dieu fait place à une symbolique humaine qui toutes deux constituent leurs propres systèmes.

Ainsi la construction en 3 dimensions de la perspective établit que:

- le tableau est constitué par l'intersection du cône optique avec un plan vertical, ce que l'on obtient empiriquement en traçant sur une vitre le contour des objets qu'on perçoit à travers elle;
- le tableau se divise ainsi en deux parties: en haut le ciel, en bas, la terre, l'un et l'autre séparés par la ligne d'horizon qui est à la hauteur de l'œil du spectateur;
- les lignes horizontales des objets parallèles au plan d'intersection restent horizontales; de même les verticales restent verticales. En revanche les lignes qui ne sont pas parallèles au plan d'intersection se dirigent vers un même point appelé **point de fuite**; d'où leur nom de **lignes fuyantes**;

■ plus la distance des objets augmente, plus ils paraissent petits et indistincts, et inversement ; leur dimension est réglée par l'**échelle fuyante** comme leur degré de netteté est réglé par l'**échelle aérienne**.

Dès qu'on quitte les idées toutes faites, on se rend compte à quel point l'espace, en art, mais aussi bien dans notre existence quotidienne que dans nos conceptions intellectuelles, est chose arbitraire. *Arbitraire* ne signifie nullement sans raison, mais qu'il est construit à partir de conventions. De même *convention* ne signifie nullement fantaisiste ou gratuit, mais ce qui résulte d'un accord entre plusieurs personnes, un groupe ou une société tout entière. Tout système implique donc l'adoption d'un ensemble de règles dont le fonctionnement établit la correspondance entre le système et l'image ou l'idée de la réalité qu'il construit. En ce sens, on peut dire que les formes ont droit à ce terme dans la mesure où elles sont compatibles avec le type d'espace choisi alors qu'elles apparaissent comme autant de *déformations* dans un espace qui leur est étranger. Qu'on se rappelle les cris qu'ont soulevés les portraits de Picasso, atteintes sacrilèges à la tradition du portrait, alors que ses *dé-*

*formations* prennent tout leur sens dans l'espace cubiste.

A la différence du Moyen Age et des civilisations orales qui ont précédé, la perspective inventée à la Renaissance inaugure avec l'avènement de la troisième dimension le règne de l'œil et, partant, la primauté du visuel. Elle se prolonge pendant quelque quatre siècles, avec de nombreux avatars dont témoignent les expressions artistiques tels que le baroque, le rococo, le romantisme, le néo-clacissisme etc. Néanmoins, quels que soient les changements, la structure perspective en trois dimensions se maintient. Le dispositif a beau multiplier les transformations, anamorphoses et trompe-l'œil, il reste inféodé à l'**ordre du visible** que les hommes de la Renaissance ont institué au seuil des temps modernes.

## PASSION OU IMPATIENCE ?

Me trompé-je en risquant l'hypothèse qu'au 19<sup>e</sup> siècle le prestige de la perspective tend à s'essouffler et que, les inventions techniques aidant, une certaine impatience naît à son égard ? Me trompé-je en conjecturant que la machine 3D va s'hybrider avec un engin qui, fruit de l'opti-

que et de l'ingéniosité, va permettre d'élargir encore notre vue ? Gardons-nous de croire à un *progrès* purement linéaire qui ferait de l'appareil photographique le successeur désigné du peintre. Plus profondément, mais c'est encore conjecture de ma part, je crois que le visible revendiqué par la perspective ne peut plus guère se contenter de la mise en œuvre purement humaine quand l'automatisation permet d'un seul coup de *naturaliser* l'immensité du visible au moyen de la nouvelle technique. On comprend que la photographie dévore pays, villes, personnages, scènes témoignages de tous genres, introduisant pour la première fois, du moins à un tel degré, l'étendue séquencée par la somme des instantanés. Entreprise prodigieuse qui piège toute la réalité dans les filets du Visible mécanisé. Entreprise sans limite ?

## LES RUSES DU MOUVEMENT

Non pas tout à fait sans limite puisque l'image en trois dimensions reste statique. C'est à cette contrainte que vont s'en prendre deux inventions, l'une du 19<sup>e</sup> siècle, le cinéma, l'autre du 20<sup>e</sup>, la télévision, si importantes qu'elles donnent ensemble leur marque à notre époque. L'une et l'autre

dotent en effet le visible du mouvement qui ajoute à la visée réaliste de la représentation. Défilant au rythme de 24 images par seconde pour le cinéma et de 25 pour la télévision, le spectacle *reproduit* l'action dans son déroulement même. Le spectateur coïncidant avec l'action par un mécanisme d'hallucination générale et prolongée, toutes les fictions sont désormais *vraies* et concrètement possibles. Jusqu'à CNN qui nous fait croire que les événements du monde coïncident avec les informations que son réseau diffuse 24 heures sur 24. Le piège omniprésent capture en permanence tout de ce qui est susceptible d'être *visibilisé*. Cette manière d'arraisonner le réel pour en faire des images-événements en continu marque l'une des limites extrêmes de l'instance visuelle, l'horizon au-delà duquel il n'y a vraisemblablement plus rien à appréhender. La contingence elle-même devient pré-visible. Elle se débite en catégories que la technique se borne à remplir: *news, sports, business, entertainment*. Les contenus sont variables, mais les structures contractent un formalisme qui, privant la communication de l'oxygène que constitue l'échange, est menacé d'asphyxie, en tout cas de sclérose.

## DE L'ANALOGIQUE AU NUMÉRIQUE

Mais voici qu'une invention nouvelle bouleverse la situation, même si ses effets ne se font sentir que progressivement et, comme toujours en pareille occurrence, en entraînant préjugés, malentendus et déviations. C'est ainsi que l'ordinateur est d'abord tenu pour un supercalculateur, ce qu'il est d'ailleurs, mais ce à quoi il ne se réduit pas. C'est ainsi que l'ordinateur est bientôt considéré comme un supergestionnaire, ce qu'il est, mais ce à quoi il ne se réduit pas. Ni sa puissance de calcul, ni son aptitude à *gérer* stocks, actions, marchandises, données, jusqu'au mariage, et, pourquoi pas, jusqu'au bonheur (salut compris!) ne suffisent à le définir. C'est à un changement beaucoup plus radical qu'il nous invite. Pour s'en tenir au visuel, qui intéresse plus particulièrement notre propos, c'est l'avènement de l'ordre numérique à la place de l'ordre optique qui constitue le fait majeur. Mutation qu'Edmond Couchot résume en ces termes: *L'image de synthèse n'est plus l'empreinte d'une gerbe de photons émis par l'Objet à représenter qui s'inscrit sur un support chimique ou magnétique, c'est une matrice de nombres calculés par l'ordinateur à partir d'instructions programmées* [2]. Dès lors, la simulation prend

le pas sur la représentation, le calcul sur le faisceau de lumière. Tout devient possible à partir d'une matrice de nombres. L'objet peut être vu sous tous les angles, dans toutes les positions, dans toutes les situations. Volumes et mouvements, couleurs et éclairages sont affaire d'algorithmes. Le corps humain se débite en tranches que l'on peut mouvoir, agrandir, déformer en tous sens. *The Visible Human* consacre le triomphe du Visible modélisé affecté à notre identité la plus profonde [3], comme le site de Microsoft qui prodigue ses 108 millions d'images de la terre à coups de teraoctets [4].

Et surgit la question, inouïe jusqu'ici, inaudible aussi : sommes-nous prêts à nous identifier avec l'homme visible, dont les détails et les secrets peuvent être multipliés à l'infini, mais dont la condition est de ne pas franchir la limite du visible ? Autrement dit se pose, pour la première fois sans doute, la question de la nature de l'ordre du visible. Et c'est paradoxalement à la suite des progrès de l'informatique, en particulier de la simulation, que la question revêt une telle urgence, une telle acuité. Tout se passe comme si Méphisto, fort d'une technologie sans limite, pouvait jouer avec nous en simulant tous les aspects du visible désirable pour nous tra-

quer dans l'aveu : *Verweile doch, du bist so schön*, qui signerait notre techno-damnation. Même clones de Faust, nous ne céderons pas à la tentation. Une mutation décisive se prépare. Plus qu'un changement de paradigme, c'est d'un changement d'*ordre de réalité* qu'il s'agit.

## FIN D'UNE ILLUSION ?

On peut en effet se demander si la troisième dimension amorcée à la Renaissance n'est pas en train de s'épuiser, même si elle a eu recours à des raffinements aussi subtils que la photographie, le cinéma, la télévision, l'informatique. Propos étrange, sinon contradictoire. Jamais la production d'images n'a été aussi abondante, aussi variée. Aucune activité qui n'y soit étroitement associée. Mais là est peut-être le signe comminatoire. Se pourrait-il donc qu'il y ait autre chose que le spectacle ? L'inquiétude qu'on perçoit à notre époque et dont témoignent tant de pratiques religieuses ou semi-religieuses marque-t-elle un *retour* ? Ou serait-ce qu'un nouveau type de réalité se mette à émerger ?

Se pourrait-il qu'au-delà des dimensions qui constituent notre réalité visuelle depuis des siècles s'amorce une vision nou-

velle par-delà même nos performances démiurgiques, simulation, modélisation, réalité virtuelle, intelligence et vie artificielles comprises ?

## LEIBNIZ VS. DESCARTES: L'AVÈNEMENT DES INTERPLIS

Puis-je avancer pour finir une hypothèse dont je trouve les prémices chez Descartes et Leibniz, deux modèles philosophiques fondamentaux dont la fortune a été très inégale ? Le premier modèle consiste à croire que *la distinction réelle entre parties entraînait la séparabilité... en posant des minima séparables, soit sous la forme de corps finis, soit à l'infini sous la forme de points...* [5]. Ainsi la résolution des problèmes qui se décomposent en difficultés toujours plus petites jusqu'à épuisement et resommation selon les règles que Descartes énonce dans le **Discours de la méthode** s'établit sur une **conception discrète du réel**, qui aboutit à l'acceptation d'un **Réel calculable**. A n'en pas douter, c'est de ce modèle que s'inspire l'espace introduit par la perspective de la Renaissance et dans lequel les trois dimensions correspondent à l'idée d'une étendue à la fois sommable et discontinue. A quoi s'oppose le modèle



que Leibniz expose à partir de la métaphore du pli : *La division du continu ne doit pas être considérée comme celle du sable en grains, mais comme celle d'une feuille de papier ou d'une tunique en plis, de telle façon qu'il puisse y avoir une infinité de plis, les uns plus petits que les autres, sans que le corps se dissolve jamais en points ou minima*. Contrairement au découpage cartésien, la conception leibnizienne du *pli à l'infini* met l'accent sur la continuité, non pas indistincte, mais modulée à la manière d'ondes dont le mouvement intérieur échappe aussi bien à la rupture qu'à l'indétermination étale. Ecartant l'objectivation quantitative, elle prévient la séparation de l'objet, (jeté devant, donc séparé) comme elle prévient la division du tout en parties discrètes. Le pli et le repli sont l'interface même du Sujet et de l'Objet qui s'enlacent en une spirale indéfinie, réfractaire aux mesures granulaires de l'étendue cartésienne. Ce qu'éclairent à leur manière d'autres cultures. Ainsi la culture japonaise dont le MA est au cœur de toutes les activités, poésie, musique, théâtre. Opposant l'architecture européenne qui met l'accent sur les *matériaux solides et durs comme la pierre et la brique qui ont été utilisés pour créer la séparation entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments*... Akira Miyoshi souligne que *dans*

*l'architecture japonaise on trouve un élément appelé veranda qui court le long du bord extérieur pour former une sorte de corridor dans toit*. Cette *veranda* est donc à l'extérieur de la maison, mais comme simultanément elle n'est séparée de l'intérieur que par une porte de verre, elle est aussi considérée comme faisant partie de l'intérieur de la maison [6]. L'architecture échappe à la structure pour se muer en réseau qui nous implique dans sa dynamique. La *logique de la perspective*, même si elle s'est prêtée à d'innombrables variations au cours du temps, se heurte finalement à sa propre limite : au-delà de l'ordre de la représentation existent d'autres ordres de réalité.

A l'atome de Descartes, Leibniz substitue la monade, unité substantielle originelle, sans étendue, sans divisibilité, *un indécomposable dynamique*, précise Cassirer. Celle-ci ne se définit pas par elle-même par des propriétés intrinsèques, mais par ses rapports avec les autres monades. Au statut d'atome se substitue celui de *situs*, de site, comme si une logique sensible du relationnel animait l'univers divin. Chaque monade *sans portes ni fenêtres* exprime un point de vue qui s'harmonise aux points de vue des autres monades. Sans forcer

l'analogie avec Leibniz, il me semble que notre idée de la réalité, longtemps dominée par le modèle cartésien, gagne, avec le développement des réseaux, singulièrement d'Internet, une nature nouvelle, faite de flux sans cesse en mouvement. A la conception d'un monde soumis au visible, et, par-delà les dimensions qui le captait en objets, s'ouvre le monde du mouvant qui, toutes dimensions dissoutes, s'articule en spirales des plis et des replis des réseaux en acte.

Et Mallarmé d'en fournir l'illustration ultime *Je dis: une fleur! et, hors de l'oubli où ma voix relègue aucun contour, en tant que quelque chose d'autre que les calices sus, musicalement se lève, idée même et suave, l'absente de tous bouquets*. La béance signifie la limite intrinsèque de toute langue réduite aux *mots de la tribu*, la limite intrinsèque de toute formalisation qui se prend pour sa propre fin... l'*absente* que la poésie suggère rend plu sensible la présence que ne le feraient les mots employés à la décrire, les images à la représenter. ■

# EN ATTENDANT LE BERNIN

*Georges Abou-Jaoudé, EPFL-DA-IRE, Chaire d'informatique,  
e-mail: Georges.Abou-Jaoude@epfl.ch*



Vous m'avez demandé *un article sur la 3D*, j'ai compris *dessine-moi un mouton*.

A chaque fois que j'entends 3D, je comprends *illusion de profondeur*; par *réalité virtuelle*, c'est souvent de la stéréoscopie interactive et de quelques marionnettes aux ficelles électroniques qu'il s'agit; quant au *multimédia*, j'ai peur de ne pas comprendre, dans la mesure où l'intérêt fondamental de l'espace numérique électronique réside en sa capacité à tout réduire à une écriture monomédia.

Face à l'informatique, et grâce à elle, deviennent encore plus fondamentales à comprendre les questions de dimension, de virtualité et de notre rapport au monde; en tous cas d'un point de vue phénoménologique.

*Quatre siècles après la Renaissance et trois siècles après Descartes, la profondeur est toujours neuve, et elle exige qu'on la cherche, non pas une fois dans sa vie, mais toute une vie.* C'est ainsi que Merleau-Ponty aborde

la question de la profondeur et de la troisième dimension pour nous amener à *l'endroit où notre cerveau et l'univers se rejoignent* [1] et écarte ce qui se rapporte à la recte ou à l'algorithme qui fera illusion.

Ne faisons pas de même pour l'instant et regardons de plus près ce simulacre de profondeur, que l'on se plaît à appeler simulation, pour établir les bases de notre réflexion.

Pour commencer il s'agit de ne *conserver de la matière que son fantôme* [2] et construire dans l'espace numérique électronique, un modèle géométrique. A ce modèle géométrique, disons un cheval, nous allons attribuer une description de surface, images ou algorithmes, qui vont régir sa manière de faire illusion de matière au contact de la lumière, algorithmique bien sûr.

Une fois *décrit*, le modèle de surface et de lumière, qu'il provienne d'un enregistrement au moyen de capteurs simili ou ultra sensoriels, d'une modélisation ou

d'un processus, devient une écriture binaire qui réside en mémoire, une mémoire capacitive ou magnétique. Cette mémoire, à l'image de notre cerveau, sera le lieu unique qui contiendra tout aussi bien une image rétinienne qu'un son ou un texte. Se pose alors immédiatement la question du rapport entre matière et mémoire, pour établir la relation entre l'objet matériel et son écriture numérique. L'objet numérique est déjà une représentation du monde matériel ou idéal et, en tant que représentation, établit avec ses références un rapport similaire à celui qui lie le mot à la chose. Ce n'est pas une copie, mais une transsubstantiation qui porte les traces du moyen qui a permis de la construire et qui définit sa similitude à la matérialité de l'objet de référence. Le modèle va donc dépendre de cette relation et, pour ce qui nous concerne, contrairement à un modèle de vérification de caractéristiques physiques, le modèle ne devra en tous cas pas être une copie de la géométrie constructive pour faire illusion de réalité dans le visible, au sens étroit du terme. C'est le geste du peintre qui va extraire, générer l'essence qui permettra de représenter. Contrairement à l'idée d'une informatique qui permet de *rentrer* les données sans concept de représentation *a priori*, chaque image,

chaque représentation, va nécessiter un autre modèle, avant de *sortir*.

Pour *sortir*, il faudra *recoudre avec la réalité* [2]. Un programme a récupéré votre geste à la souris ou le signal d'un capteur; ce signal est devenu signe; un processus devra maintenant passer du signe au signal pour gérer l'un ou l'autre robot qui va donner matérialité au *fantôme numérique*.

A titre d'exemple, et puisque nous discutons de profondeur comme illusion optique, prenons la première image, celle de l'écran. Pour générer cette image, nous commençons par un calcul de perspective à la Renaissance, une simulation de la *camera obscura*, et nous utiliserons l'ombre, la lumière, la profondeur de champ et tous les artifices propres à la *perspectiva artificialis*. Toujours à l'écran, et puisque l'homme n'est pas un cyclope à l'œil fixe, nous allons utiliser deux écrans, ou un seul en alternant les images pour calculer deux images du même modèle. Une image pour l'œil droit, une autre pour l'œil gauche, et *vous êtes dedans*, car ainsi la vision binoculaire et la stéréoscopie vous sont restituées.

Rien de nouveau, dans notre laboratoire les outils stéréoscopiques contemporains cohabitent avec un appareil photographique de 1891 et un autre de 1940

qui porte bien son nom, *The Realist*. Les prospectus de Brewster ou de Kodak vendaient déjà la stéréo comme *réalité virtuelle*; est-ce si différent des premiers desins de l'homme pour apprivoiser et s'approprier le monde ?

Notre siècle ajoute l'interactivité à la stéréoscopie. Plusieurs modèles de capteurs vont suivre vos mouvements à la trace, repérer l'endroit où vous regardez afin de calculer une image pour chaque œil en *temps réel*, ce temps de l'illusion de l'instantané. Une autre façon de *recoudre* avec nos sens grâce à nos connaissances organoleptiques, à l'électronique et à l'algorithmique. Pour parfaire l'illusion, je vous invite à regarder aussi un hologramme dans un laboratoire d'optique tout en lisant *l'hologramme* de Baudrillard dans *Simulacre et Simulation*.

Si vous êtes déçus, croyant que la technique n'est pas assez avancée pour faire illusion, je vous invite à faire un petit voyage à Rome pour toucher du regard le *rapt de Proserpine* du Bernin. Là, ce ne sont ni les contraintes techniques, ni le matériau qui entravent la sensation de chaleur dans le marbre et ces traces légères de la main que

Le Bernin imprime dans la douceur des chairs, sensuelles au sens propre du terme.

Reprenons notre modèle numérique du cheval, dont nous allons modifier les données pour en faire une sculpture et non une image picturale qui rappelle une photographie d'une sculpture. La surface deviendra le volume qu'elle délimite pour en-

suite produire les strates nécessaires à une *machine organe*, un robot de découpe au laser et de laminage. Strate après strate,



*le rapt de Proserpine – Le Bernin*

découpées puis laminées, les feuilles de papier deviennent un objet que vous tenez au creux de votre main. C'est de nouveau un volume, disons un cube, qui contient la forme du cheval. Vous devrez enlever les résidus de matière pour le découvrir, un moment magique qui nous rappelle Michel-Ange, pour qui la caractéristique essentielle de la sculpture consiste à la mise à jour, par soustraction (*per levare*), de la statue contenue dans le bloc de marbre.

Le mimétisme, sens/senseur, esprit/processus, main/machine-outil, est facile à établir. Mais si *l'œil est ce qui a été ému par un certain impact du monde et le restitue au visible par les traces de la main* [1], à notre chaîne électromécanique manquera toujours une dimension, celle de l'*émotion*.

De dimension en dimension, il manquera inéluctablement la suivante, celle qui sera désir ou frustration. Entre *science et art*, désir plutôt que frustration, empirique plutôt qu'algorithmique, c'est l'artiste derrière la *machine* qui apportera cette dimension de l'émotion indépendamment des prouesses techniques et de la sapience.

C'est en ce sens, même et surtout dans l'espace numérique électronique, que nous pouvons commencer un autre débat, celui de la substitution du couple disjonctif ap-

parence/essence par le couple conjonctif apparition/sens, dans une atmosphère radicalement nouvelle depuis Kant [3].

Sans prétendre débattre de l'effort de Kant pour distinguer la présentation de la représentation, nous pouvons aller à la quête d'une nouvelle dimension, celle d'un acte esthétique, proposé par Leibniz comme *quelque chose à l'image de Dieu mais en plus petit*.

Une quête qui pourrait commencer par *dessine moi un mouton* du Petit Prince ou un morceau de bois qui crie *pas si fort* à maître Cerise avant de devenir le Pinocchio de Collodi.

Si ces textes ne sont pas pour *les grandes personnes*, alors l'informatique non plus, car

**Les enfants n'ont l'âme occupée  
que du continuelsouci  
qu'on ne fâche point leur poupée...[4]**



# VISION ET MESURES STÉRÉOSCOPIQUES

*Otto Kölbl, EPFL-DGR-Institut de Photogrammétrie  
e-mail: Otto.Koelbl@epfl.ch*



## LA VISION STÉRÉOSCOPIQUE NATURELLE

L'homme dispose de deux yeux qui lui permettent de percevoir son environnement de deux points de vue légèrement différents. La fusion mentale de ces deux vues permet d'engendrer une image spatiale de notre environnement, un processus purement psychologique. La perception spatiale représente une aptitude typique d'un chasseur, d'un carnivore. Par contre, les yeux des herbivores (cheval, bovidés), sont déplacés latéralement afin de permettre un angle de vision beaucoup plus étendu, ce qui est notamment utile pour détecter des prédateurs arrivant par derrière. Dans ce cas-là, le faible recouvrement des deux champs de vision ne permet guère la perception de la profondeur.

On se rend facilement compte de l'importance de la vision spatiale si l'on regarde avec un seul œil. Dans ce cas, verser par exemple le contenu d'une bouteille dans un verre cause des difficultés réelles, sauf si l'on se sert de moyens auxiliaires comme par exemple le recouvrement des objets afin d'évaluer la distance entre la bouteille et le verre.

La vision stéréoscopique est une aptitude naturelle chez l'homme et part de ses sens comme par exemple aussi le sens de palper qui permet également de reconnaître l'environnement de manière spatiale. Cependant, le faible écartement des yeux ne permet une vision spatiale que pour notre environnement proche à moins qu'on essaie d'agrandir cette base de manière artificielle comme pour les jumelles ou les télescopes d'artillerie.



*fig. 1: position des yeux des herbivores (latérale avec champ de vision de 360°) et des carnivores (sur le front, avec écartement pour permettre la vision stéréoscopique)*

## VISION STÉRÉOSCOPIQUE ARTIFICIELLE

Une autre possibilité de voir stéréoscopiquement consiste à présenter aux deux yeux deux images prises de 2 points de vue

différents (dessins ou prises de vues photographiques de différents points de vue). L'octaèdre de la fig. 3 a été dessiné en perspective correcte à partir 2 points de vue différents et peut être observé stéréoscopiquement. Cependant, il faut veiller à ce

que l'image gauche ne soit vue que de l'œil gauche et l'image droite que de l'œil droit.

Comme les deux figures sont espacées d'une distance correspondant à la base des yeux, il est important de les observer avec les axes oculaires parallèles (!) et évidemment d'une distance assez courte, environ 25 cm. Du point de vue physiologique, la convergence des axes oculaires est cependant rigoureusement liée à la distance de focalisation et contraindre ce réflexe exige un certain effort. Le moyen le plus simple de voir cette figure en relief est de séparer les deux images en mettant la main entre les deux yeux et de décontracter les yeux afin d'arriver à un parallélisme des axes oculaires (cf. fig. 2).

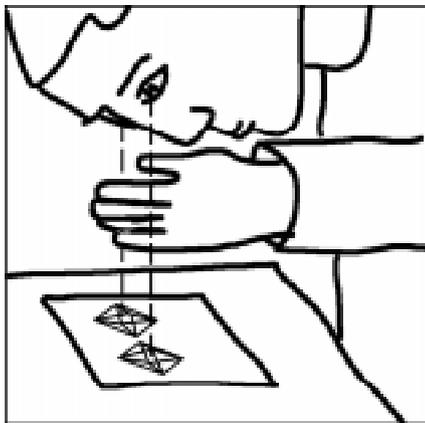
On peut ainsi définir quelques conditions pour la vision stéréoscopique artificielle :

- Séparation des images homologues afin que chaque œil ne puisse observer qu'une des deux images (par séparation physique des images, par des couleurs selon le principe de l'anaglyphe ou par polarisation)
- Arrangement des images afin que la distance de focalisation et la convergence des yeux correspondent : superposition des images selon le principe de l'anaglyphe ou selon le principe de polarisation

ou auxiliaire optique afin de focaliser la vision vers l'infini et déplacement latéral des images (stéréoscope).

D'autre part, il convient de respecter les conditions suivantes :

- Une éventuelle différence d'échelle entre les deux images ne devrait pas dépasser 10%.
- La parallaxe dans la direction de la base des yeux (différence géométrique des images) ne devrait pas être trop élevée.



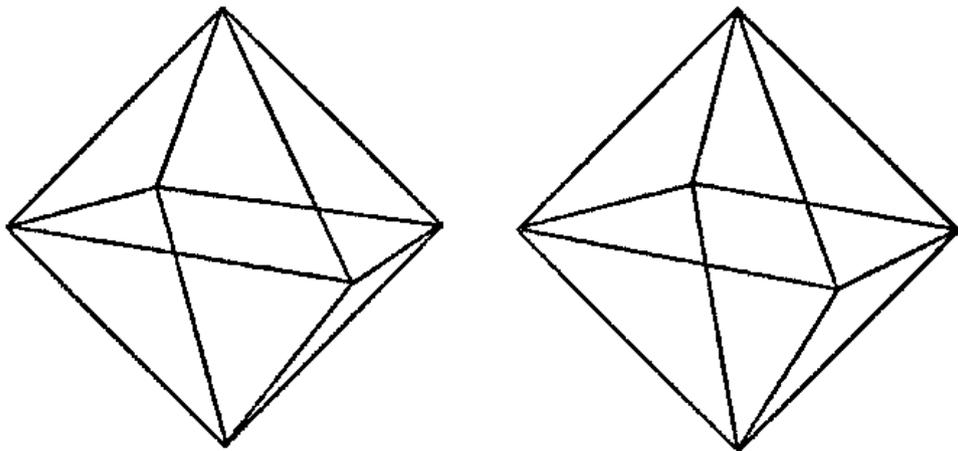
*fig. 2: précaution pour séparer les champs de vue avec la main, afin de faciliter la vision stéréoscopique de l'octaèdre ci-dessous (cf. fig. 3)*

Pour des objets étendus, on devrait respecter un rapport base/distance de  $1/5$  à  $1/20$ . Il s'agit là de la relation entre la base des prises de vue (distance entre les deux positions de la caméra) et la distance des caméras à l'objet.

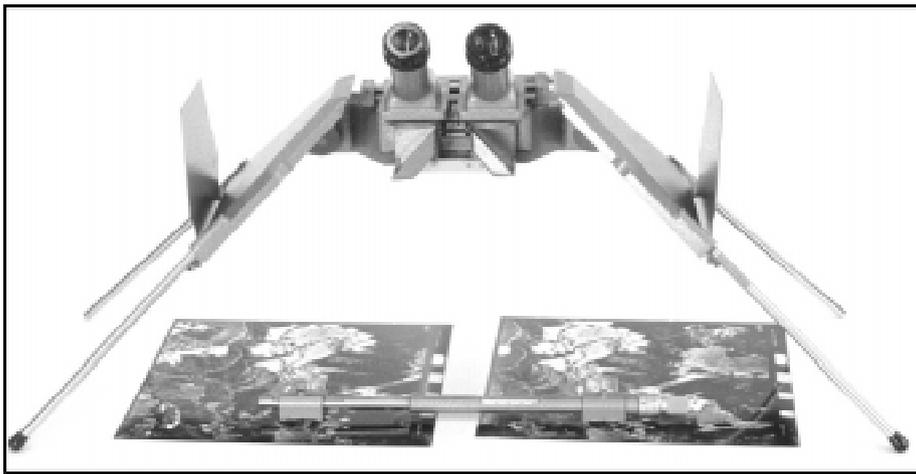
- Les parallaxes perpendiculaires à la base des yeux devraient être faibles, l'œil tolérant difficilement de telles déviations (effet de strabisme).
- Les deux images devraient être semblables en ce qui concerne la reproduction

de couleurs ou leur apparence; il est possible de fusionner deux images teintées l'une en rouge et l'autre en vert (anaglyphe), mais il n'est pas possible de fusionner un négatif et un positif. De la même manière, il est difficile de fusionner une image d'hiver avec une image d'été.

Le stéréoscope représente le dispositif optimal pour l'observation d'images photographiques (cf. fig. 4). Au moyen de deux systèmes optiques, on regarde les deux images en veillant que les yeux soient focalisés



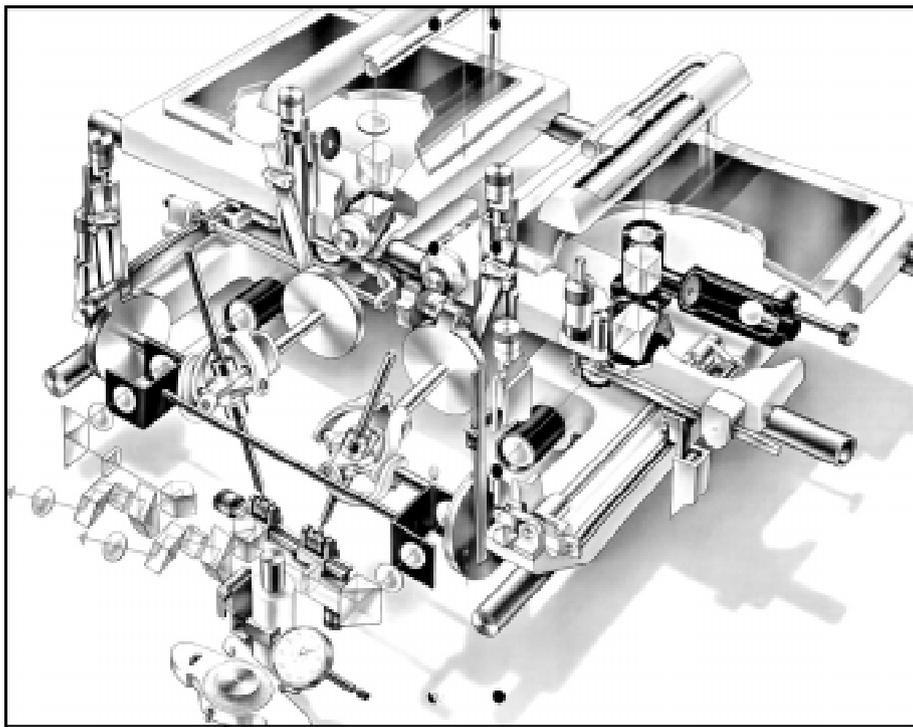
*fig. 3: dessins d'un octaèdre en perspective montrant deux vues différentes permettant une observation stéréoscopique*



*fig. 4: stéréoscope à miroirs permettant la vision de deux images photographiques jusqu'à la dimension 23 x 23 cm (format standard des photographies aériennes). Le système optique permet d'agrandir les images en focalisant à l'infini; il offre des conditions optimales pour la vision stéréoscopique des photos: bonne qualité optique, séparation complète des deux images partielles, bon confort pour l'observateur après une brève adaptation*

à l'infini. La base des yeux peut être agrandie par des prismes ou des miroirs afin de permettre aussi l'observation d'images de grand format. De bonnes images transparentes supportent un agrandissement optique jusqu'à 20 fois. D'autre part, un bon stéréoscope offre un champ de vision par exemple jusqu'à 7 cm et même plus lors

d'un agrandissement de 3 fois. Il est entendu que des images peuvent aussi être affichées sur un moniteur stéréo; cependant, il faut dans ce cas-là compter avec une certaine réduction de qualité et il faut surtout veiller à une large séparation optique des deux images homologues.



*fig 5: l'ordinateur analogique du restituteur photogrammétrique Kern PG2 (construit en 1960 à environ 1000 exemplaires) permettant de suivre des lignes en stéréo sur deux photos homologues à l'aide d'une marque-repère et de dessiner ces lignes géométriquement correctes pour l'élaboration d'une carte topographique. La complexité résulte de la nécessité de corriger, outre les déformations perspectives, d'éventuelles inclinaisons des photos*

## MESURES STÉRÉOSCOPIQUES D'OBJETS

La reconstruction spatiale d'un objet tridimensionnel à l'aide de deux prises de vues photographiques permet aussi de prendre des précautions pour effectuer des mesures. En principe, il suffit d'introduire dans les images photographiques une marque de référence (marque-repère) et d'obtenir coïncidence entre ce point artificiel et le point de l'objet à mesurer. Si les coordonnées de trois points dans l'espace-objet sont connues, on peut d'abord déterminer la position spatiale, y inclus les angles d'orientation des prises de vues, à l'aide d'un simple relèvement; par la suite, on peut déterminer par intersection les coordonnées 3D des différents points de l'objet.

En photogrammétrie, on utilise déjà depuis le début du siècle des instruments permettant une restitution par lignes des images photographiques. La première génération d'instruments a résolu l'intersection à l'aide de tiges mécaniques (cf. fig. 5); l'application principale était surtout l'établissement de cartes topographiques à partir de photographies aériennes; venait ensuite l'élaboration de plans de façades pour l'architecture. L'industrie suisse, avec sa

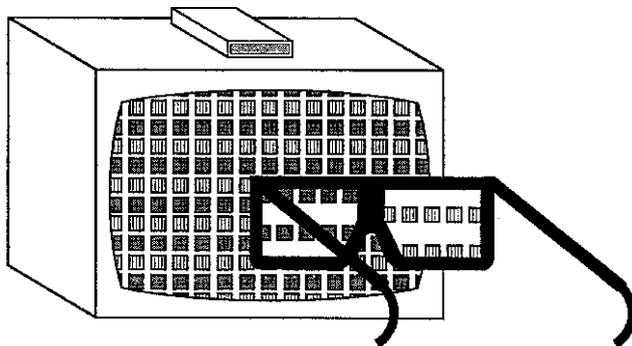
grande expérience en mécanique de haute précision, a su conquérir une position dominante au niveau mondial dans la construction de ces instruments photogrammétriques.

Dans les années 70, on a commencé à remplacer les ordinateurs analogiques par des composantes digitales mais on a continué à mesurer sur l'image originale, c'est-à-dire que seule l'opération de l'intersection était effectuée par ordinateur, en prenant en considération l'inclinaison des images et leur distorsion. Ce n'est que dans les années 90 que les ordinateurs ont atteint une performance suffisante permettant d'afficher les images stéréoscopiques sur un moniteur et de réaliser des restitutions photogrammétriques (cf. fig. 6 et 7).

La transition vers le traitement numérique des images a permis aussi l'automatisation des diverses opérations de mesure, comme par exemple la combinaison de plusieurs images en un bloc qui, par la suite, peut être orienté de manière uniforme par rapport à des points de référence terrestres. On a aussi commencé à automatiser les mesures des distances d'objets à l'aide de la corrélation d'images ou de la reconnaissance automatique d'objets.



*fig 6: restituteur digital  
d'Intergraph (Etats-Unis)  
pour la production de  
cartes numériques à partir  
de photographies en stéréo  
visualisées sur écran  
d'ordinateur*



*fig 7: principe de la  
séparation des images avec  
les Liquid crystal eye  
shutters, un système actif  
synchronisant les lunettes  
par un faisceau lumineux*

## APPLICATIONS ET PRÉCISION

Comme on l'a déjà laissé entendre, un large domaine de la photogrammétrie est consacré à la restitution topographique et à l'élaboration de cartes à différentes échelles ainsi qu'à l'acquisition de données de base pour diverses tâches de planification. D'autre part, la photogrammétrie est utilisée pour la surveillance de l'environnement, jusqu'à la mesure de l'épaisseur de neige sur les pentes d'avalanches.

D'autres domaines d'activité importants sont représentés par la robotique, les mesures industrielles et la médecine. Dans ces domaines, la photogrammétrie se trouve en concurrence avec les mesures géodésiques, les mesures de distance par laser ou aussi les procédés de moiré.

En photogrammétrie aérienne, on utilise des caméras grand format de 23 x 23 cm avec lesquelles on obtient des précisions de 3 à 10  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  = 0,001 mm). Cela signifie qu'avec des vues prises d'une altitude de 1000 m sur sol on obtient une précision au sol de  $\pm 5$  cm en planimétrie et de  $\pm 10$  cm en altimétrie (environ 1:10'000 de l'altitude de vol).

## PERSPECTIVES

Les progrès en traitement numérique d'image ouvrent aussi de nombreuses nouvelles possibilités pour la saisie d'objets et leur représentation, notamment grâce à la réalité virtuelle. Dans ce cas, on modélise d'abord le paysage et l'on remplit les surfaces avec des textures appropriées. Par la suite, on peut créer un *fly through*. De telles séquences vidéo sont utiles pour étudier par exemple l'impact sur l'environnement de nouvelles constructions ou de nouvelles voies de circulation mais aussi pour l'analyse de la sécurité routière. Des films impressionnants peuvent être obtenus par combinaison de séquences vidéo d'objets existants avec des objets en planification.

De grandes nouveautés peuvent aussi être obtenues par l'utilisation de caméscopes numériques et de vidéos numériques pour la saisie de l'objet et en particulier en combinant divers capteurs comme des scanners lasers avec des systèmes d'enregistrement d'image. ■

# MAQUETTE, PANORAMA ET RENDERING

*Ulrich Doepper, EPFL-DA-IRE, Chaire d'informatique,  
e-mail : Ulrich.Doepper@epfl.ch*



**La 3D passionne l'architecte, mais celui-ci continue à s'exprimer de préférence au moyen de dessins en deux dimensions. L'objet en 3D est une maquette numérique. Elle représente une sorte de matière brute, dont on pense pouvoir tirer les différentes représentations du projet, mais selon un mode qui n'est pas encore résolu de manière acceptable.**

Les architectes se sont intéressés à l'informatique sur le tard. Dans leurs rangs se trouvent, à côté du dernier carré d'irréductibles, indifférents, sceptiques et hostiles, de nombreux enthousiastes, parfois victimes de divers préjugés qui concernent l'informatique.

■ L'ordinateur est objectif ; il ne ment pas. La rigueur du Nombre permet à son usager de rester honnête. Il le soustrait à la possibilité de tricher, puisque ce qui passe par lui, étant scientifique, est tout à fait reproductible, donc vérifiable.

Ainsi, un exercice dont l'ordinateur se charge très bien, c'est celui, routinier, du photomontage, imposé par l'organisateur d'un concours qui veut pouvoir comparer différents travaux, ou par l'autorité soucieuse d'évaluer l'impact d'une opération immobilière. L'ordinateur est un outil de vérification.

■ L'ordinateur est magique. Ce qui s'y passe est mystérieux, le résultat échappe aux explications. La cotation des plans est automatique, l'orthographe vérifiée sans savoir lire. Le dessinateur *rentre* le projet dans la machine, et celle-ci *sort* les plans.

Les plans: tout est dit. Un plan est plat, 2D. Vitruve distinguait trois modes de représentation de l'architecture. L'*ichnographia*, c'est-à-dire le plan, l'*orthographia*, le rabattement de l'élévation, et la *scaenographia* qui est la représentation de l'objet architectural depuis un point de vue déterminé. La stéréographie, comme on

appelle l'écriture des solides, est précisée leur représentation, leur projection orthogonale sur un plan, elle ne se conçoit qu'ainsi.

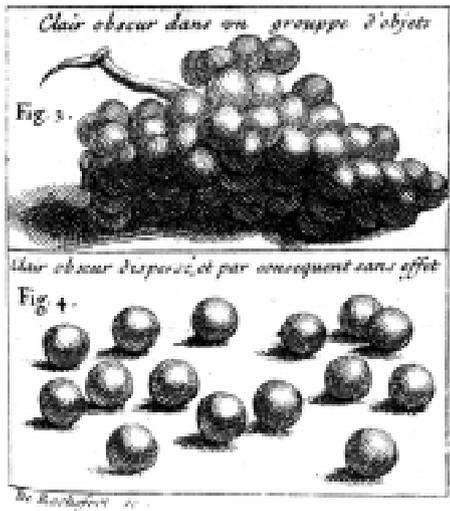
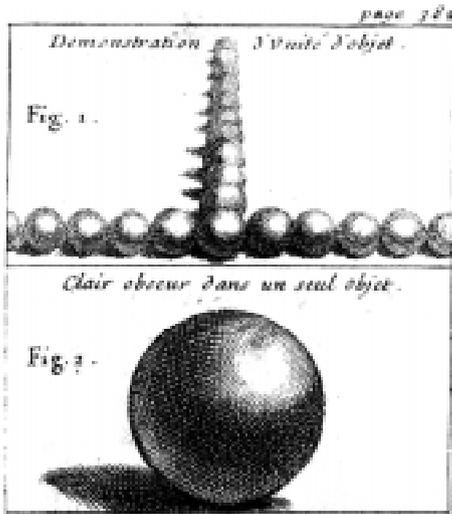
L'écriture est codifiée, régie par une grammaire et s'appuyant sur un vocabulaire reconnu de tous. La géométrie, la matérialité, la spatialité du projet d'architecture sont représentées au moyen de codes graphiques soigneusement contrôlés et diffusés par les écoles, les traités, la pratique professionnelle. Le concept précède son expression, on le tient avant de passer à l'acte. Le *dessin* est l'expression du *dessin*.

C'est à ce titre que la 3D représente une révolution, un chambardement véritable des conventions en matière de représentation. Entendons-nous : la moindre qualité de l'architecte n'est pas de *voir dans l'espace*; tout est tridimensionnel, et si la représentation du projet ne l'est pas, le but ultime de son travail, le chantier, l'est à nouveau.

La représentation volumique d'objets architecturaux ne date bien sûr pas de l'ère informatique. Le modèle réduit, la maquette, existent depuis la nuit des temps comme objets symboliques, et leur usage reçut les bases théoriques à la Renaissance. La haute intelligibilité, la simplicité de lec-

ture d'une maquette en font un outil de communication et de séduction, de propagande et de vulgarisation ; sa nature volumique permet l'étude d'aspects du projet que les plans ne montrent pas. Michel-Ange expose au pape son projet de Saint-Pierre sous forme de maquette ; Masséna, craignant de devoir livrer bataille en pleine montagne pour empêcher la jonction de l'ennemi, confectionne, afin de s'y préparer, un plan-relief du massif du Susten. Alberti a défini ce double aspect de la maquette. Le bâtiment est défini par la *lineamenta*, qui est *quelque chose comme la définition, au sens premier de délimitation géométrique de l'espace occupé par la matière, la définition stéréométrique de l'édifice* [1]. Elle permet d'appréhender l'objet dans sa plastique totale, et surtout, elle constitue un *outil de projet* et non une fin en soi, comme l'aurait été une sorte de modèle réduit du chantier. L'exhortation d'Alberti, de ne pas céder à la tentation d'une maquette trop détaillée, trop belle, dont la raison d'être n'est que de séduire, illustre à l'envi une préoccupation qui est évidemment la nôtre aujourd'hui.

Si la maquette de Saint-Pierre était accessible à l'intérieur, elle ne parvenait cependant pas à tromper l'observateur et faire croire qu'il pût se trouver dans la vraie



*Roger de Piles. Illustration du principe de clair-obscur sur des cercles plats. Tiré de: Cours de peinture par principes, 1708*

église. Mais le principe d'immersion dans un espace suggéré n'a pas tardé à se développer. Le XIXe siècle notamment a connu l'essor d'un type architectural populaire, de masse, le *panorama* [2]. Une iconographie touristique, historique, naturaliste et patriotique permettait de visiter des lieux inaccessibles ou de revivre des événements passés. Ce principe illusionniste (qui fut

sur le point de mourir, à l'exemple du sauvetage in extremis du panorama des Bourbakis de Lucerne) trouve son prolongement dans le développement de la vision stéréoscopique, panoramique et interactive d'aujourd'hui.

Le produit 3D pour architecte prévoit évidemment la finalité du travail de celui-ci. Quelle que soit la philosophie du logi-

ciel, le résultat sera bi-dimensionnel. Que l'on raisonne en volumes, solides, primitives formées de boîtes ou de groupements de surfaces, les éléments doivent être qualifiés, posséder une matérialité, leurs rapports respectifs doivent être définis : ils attendent d'être coupés et projetés. C'est une logique d'aspic, une logique de *Visible Human Project*. L'objet est. Il préexiste à sa représentation, et le problème de celle-ci reste entier.

*L'infographie 3D* raisonne toujours dans les trois catégories de l'antique Vitruve. La *scaenographia* d'une cuisine IKEA, réalisée à l'écran en *temps réel* sur la base de votre croquis et de votre budget, prétend – et là est la naïveté de notre époque – à l'objectivité. Dès qu'elle fut découverte et théorisée par un Brunelleschi, la loi de la perspective ne fut plus bonne qu'à être enfreinte, nuancée. On dut d'emblée reconnaître que la perspective constitue toujours une réduction de la réalité. Dès la découverte de la photographie, le débat autour de son statut d'art témoigne aussi de la relativité de cette notion d'objectivité, de l'innocence du doigt qui a actionné l'obturateur.

Le concept même de *rendering* engage l'artiste qui restitue, reproduit, représente : le *rendu* est avant tout celui d'une impres-

sion. Trente ans après avoir été démasquée, la pratique Beaux-Arts du rendu – pour le moins suspecte, refus d'une représentation objective de l'objet, tromperie par la séduction – cette logique du beau dessin nous revient (les deux événements sont contemporains) par l'obsession photoréaliste de l'image de synthèse. En 1968, Arthur Appel avait déjà formulé l'essentiel de ce qui est nécessaire pour définir le *rendering* d'un solide, et l'ouvrage n'a pas quitté le métier depuis.

*La course au réel et à l'hallucination réaliste est sans issue car, quand l'objet est exactement semblable à un autre, il ne l'est pas exactement, il l'est un peu plus. (...) Ce qui est exact est déjà trop exact, seul est exact ce qui s'approche de la vérité sans y prétendre* [3]. L'image de synthèse qui tend vers le réalisme – le photoréalisme – est condamnée à être hyperréaliste.

Ce n'est pas une fatalité : *on a dit que Manet ne savait pas peindre un centimètre de peau (...) oubliait seulement qu'avant de vouloir (...) peindre la chair, il voulait peindre des tableaux* [4]. ■

# MON ORDINATEUR VOIT DOUBLE

*Jean-François Rolle, EPFL-GR-IGEO-Photogrammétrie  
www.wiesmann-rolle.com, rolle@wiesmann-rolle.com*



## AVANT PROPOS

Par un phénomène de mode remarquablement orchestré, le consommateur de matériel informatique voit son vocabulaire technique irrémédiablement s'étoffer. Tout, du moniteur à son jeu préféré, sans oublier les composantes principales de son système, se voit décrit et spécifié en termes plus ou moins neutres ou racoleurs tels que : tridimensionnel, stéréo-compatible, 3D ou Virtual Reality (VR).

A la base de ce phénomène, on retrouve le principe de la vision stéréoscopique, établi il y a plus de 150 ans déjà. Il nous a semblé important de profiter de cette édition spéciale du Flash Informatique pour dresser un historique et une liste des solutions techniques retenues pour afficher sur un écran d'ordinateur plat, l'illusion de la perception de la profondeur.

La photogrammétrie, *application de la stéréophotographie aux levés topographiques,*

*aux relevés des formes et des dimensions d'objets très divers,* est par définition concernée par l'application de ces techniques, au même titre que des branches telles que l'imagerie spatiale, les systèmes d'information géographique, la DAO et CAO, la robotique, l'imagerie médicale et les techniques d'animation, de visualisation et de modélisation 3D.

## UN PEU D'HISTOIRE [1]

Recréer la perception visuelle de la profondeur a été le souci de chercheurs dès l'apparition des premiers postes de télévision. Des pionniers essayèrent de visualiser des images stéréoscopiques sur ce nouveau média dès la fin des années 40.

Il semble que la première application commercialisée soit apparue en 1950 ; elle consistait en un système de deux écrans conçu sur le principe des anaglyphes

(Dumont's dual CRT system de Logie Baird). A la même époque apparaissent des systèmes d'affichage d'images *côte à côte* devant être observées au travers de stéréoscopes binoculaires. Leur inventeur, James Butterfield, fut également le premier à utiliser des verres polarisés pour observer des anaglyphes créés en plaçant des polariseurs dichroïques sur la face du CRT (cathode ray tube). Cette technique, en premier lieu appliquée grâce à la combinaison de deux écrans, évolua vers l'utilisation d'un seul écran en combinaison avec des images stéréoscopiques imbriquées (interdigitated).

Finalement, Shmakov développa les bases théoriques des techniques *Field sequential*. Pour des raisons techniques (écrans plats en particulier), le premier produit de ce type n'apparut qu'au début des années 80.

## LA VISION STÉRÉOSCOPIQUE

### GENÈSE

La vision stéréoscopique s'est développée chez les invertébrés, il y a plusieurs centaines de millions d'années, pour des raisons de survie. Des démonstrations récentes ont montré qu'un insecte, sur les

yeux duquel on a collé des prismes, mange sa proie pour une distance correspondant exactement à la distance théorique calculée.

L'acuité visuelle de l'être humain s'est dégénérée génétiquement et il est fréquent de constater la perte de la perception stéréo. La grande majorité possède une bonne perception, mais des tests mettent en évidence de grandes disparités. La vision stéréoscopique, phénomène psychique, peut être exercée. On constate alors de rapides progrès sous la forme d'une fusion plus rapide et d'un plus grand confort de vision.

Il apparaît qu'environ 12% des individus sont incapables de percevoir un modèle stéréo [1]. Il s'agit d'un manque de coordination dans le travail des yeux, c'est-à-dire une vision binoculaire défectueuse (strabisme, amblyopie...). Au contraire, 10% des êtres humains présentent des facultés exceptionnelles pour la vision stéréo. Ces facultés, fusion rapide, prolongée et confortable d'images, leur permettent de percevoir des scènes qui resteraient très inconfortables, voire impossibles, pour un individu moyen. Des phénomènes de variation dus à l'âge doivent encore être pris en considération.

## DÉFINITION DE LA PERCEPTION BINOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

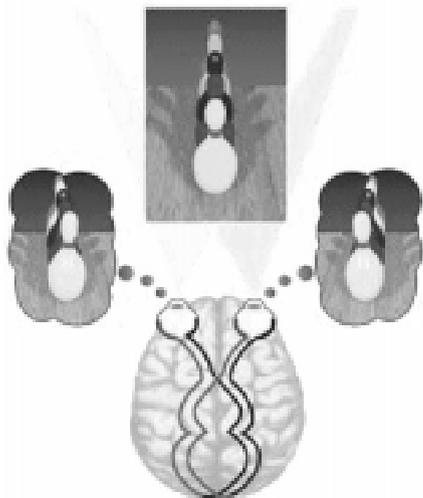


fig. 1: principe de la vision stéréoscopique

Lorsque nous regardons un objet devant nous, nous le voyons naturellement en volume car les pupilles de nos yeux (espacées en moyenne de 64 mm) perçoivent deux points de vue à peine différents de l'objet. Le cerveau combine ces deux images en une seule. Le même point, repéré sur l'image de gauche, subit un léger déplacement sur l'image de droite. Cette dis-

tance, nommée parallaxe, produit la sensation de profondeur stéréoscopique.

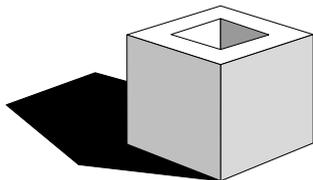
Les conditions de la vision stéréoscopique (fig.1) sont successivement :

- une bonne **vision binoculaire**, les deux yeux fonctionnent en équipe, sans à-coup, précisément et simultanément ;
- la **vision stéréoscopique**, le cerveau fusionne les deux images reçues en une seule image tridimensionnelle ;
- la **perception binoculaire de la profondeur**, résultat des étapes précédentes, est la faculté de percevoir visuellement l'espace tridimensionnel.

## PERCEPTION MONOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

La perception de la profondeur est avant tout le fait de notre anatomie. Mais il serait faux de ne considérer que ce seul élément. Un seul œil reçoit différents stimuli qui lui permettent d'interpréter la profondeur d'une scène. Une personne ne bénéficiant pas de la vision stéréoscopique développe des processus cognitifs d'interprétation de ces différents stimuli. Cette interprétation lui permet d'évoluer tant bien que mal dans l'univers 3D nous entourant. Les éléments de la perception monoculaire sont :

### lumière et ombrage



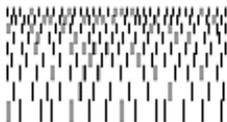
Une ombre permet de donner un volume à l'objet et les surfaces claires semblent plus proches que les foncées ;

### taille relative



Les objets apparaissent plus grands lorsqu'il sont près et la mémoire permet de juger de la distance vers des objets familiers ;

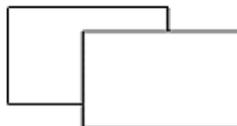
### gradient de texture



La texture, étant plus apparente au premier plan, provoque un sentiment de profondeur ;

### interposition

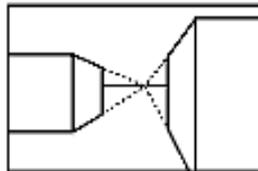
Un objet en cachant partiellement un autre est automatiquement interprété comme étant devant ;



### parallaxe du mouvement

Dans une voiture en mouvement, les poteaux téléphoniques se déplacent plus rapidement que les collines éloignées ;

### perspective



Ce stimuli est très important car il permet de donner un facteur d'échelle à la perception binoculaire de la profondeur ;

la perspective est la relation entre le premier plan et l'arrière plan ;

### depth cuing



Réduction de l'intensité d'un objet en fonction de la distance à l'observateur.

Des images présentant de nombreux éléments de perception monoculaire de la profondeur, seront d'autant plus faciles à interpréter en vision stéréoscopique.

## VISUALISATION DES IMAGES STÉRÉOSCOPIQUES

### LA MÉTHODE ANALOGIQUE

Reproduire la perception de la profondeur est possible en forçant l'œil gauche à regarder une image et l'œil droit une autre, tout en prenant garde que ces deux images montrent des parallaxes sur les points de l'image. La parallaxe, distance

mesurée sur le couple d'images, se transforme sur la rétine en une disparité qui produit le sentiment de profondeur. La parallaxe peut également être exprimée sous forme angulaire en tenant compte de la distance à l'observateur. L'appareil optique permettant de visualiser un couple d'images stéréophotographiques se nomme stéréoscope.

### TRANSPOSITION NUMÉRIQUE

Le principe énoncé ci-dessus ne peut se reproduire sur le moniteur d'un ordinateur que par l'émission *simultanée* de deux images, l'une à destination de l'œil gauche et l'autre de l'œil droit. De manière générale, en émettant en alternance les deux images (pour autant que le balayage soit suffisamment élevé : >60Hz), il est possible de tromper notre cerveau en profitant de notre aptitude visuelle relativement limitée. Pour être capable de recevoir correctement cette information sur la parallaxe, l'observateur doit encore être muni d'un obturateur (shutter), synchronisé de manière à cacher l'image non désirée et/ou au contraire permettre la visualisation de la bonne image par le bon œil.

Visualiser un couple d'images stéréoscopiques est également possible en projetant l'information de parallaxe non

plus sur un seul écran, mais sur deux. Ce principe est appliqué pour les casques de réalité virtuelle (HMD, Head Mounted Display). Ce périphérique se compose de deux petits moniteurs LCD montés en face des yeux. Chaque œil reçoit l'information nécessaire à la fusion des deux images, ce qui permet l'interprétation de la profondeur.

### LES TYPES DE FORMATS [2, 3]

Par définition, un format electro-stéréoscopique est la méthode utilisée pour définir l'appartenance des pixels à l'image de gauche ou droite, pour que le couple stéréo affiché à l'écran apparaisse aux yeux de l'observateur selon le principe du stéréoscope binoculaire.

*On dénombre un certain nombre de solutions différentes, mais seules les plus courantes sont décrites ici.* Il n'est pas fait cas de systèmes tels que les anaglyphes ou l'utilisation de stéréoscopes à miroirs.

#### Field sequential

Cet affichage encode l'image de droite puis celle de gauche en alternance dans les champs successifs de l'affichage vidéo. Ce multiplexage temporel a pour avantage de ne demander que très peu de modification du matériel ; ce dernier argument est à la base du succès commercial de ce format.

Il faut que le balayage vidéo soit relativement élevé (>100 Hz) pour reproduire de bonnes conditions d'observation.

L'observateur doit être muni de lunettes pour interpréter correctement le signal émis par l'écran. On distingue deux techniques différentes, le mode actif et le mode passif. En mode actif, les lunettes se composent d'un obturateur à cristaux liquides commandé par un signal infrarouge de synchronisation avec l'affichage alterné du moniteur. Dans le cas du système passif, on applique à la surface du moniteur un modulateur à cristaux liquides (obturateur segmenté de Byatt). Il suffit à l'observateur de se munir de lunettes à verres polarisants (directions de polarisation différentes de 90°) pour recevoir correctement l'information.



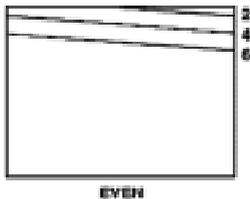
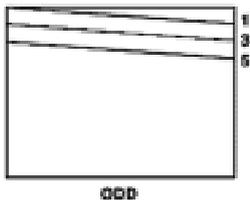
*système passif (Z-Screen de StereoGraphics Corp.)*

On retrouve sur de nombreuses stations de travail graphiques (SGI, Sun, DEC, IBM et HP) une prise jack permettant de connecter l'émetteur contrôlant le signal vidéo et produisant le signal IR.



*système actif (CristalEyes de StereoGraphics Corp.)*

*Interlaced stereo*



Ce format utilise le balayage du mo-

niteur pour entrelacer les deux images sur les lignes paires et impaires. Cette méthode permet d'utiliser des périphériques d'affichage traditionnels tels que téléviseur ou écran d'ordinateur. D'autre part, l'équipement de multiplexage est simple et bon marché.

*Above-and-Below*



Ce format a été conçu pour permettre la visualisation stéréo sur des équipements standards (moniteur PC, télévision ou vidéo). A chaque rafraîchissement de l'écran, le champ se compose des deux images disposées l'une sous l'autre, compressées d'un facteur deux dans le sens de la hauteur.

A un taux de rafraîchissement de 60 Hz, il faut exactement 1/120 de seconde pour afficher une image. En utili-

sant un moniteur travaillant avec une fréquence de 120 Hz, les deux images juxtaposées spatialement deviennent alors juxtaposées temporellement. En portant les lunettes obturatrices adéquates, l'observateur reçoit à chaque seconde 60 champs d'une image et 60 champs de l'autre. Quand un œil voit une image, l'autre n'en voit pas et vice versa.

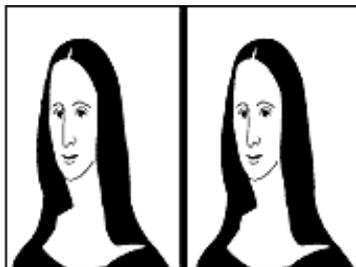
Cette méthode est encore appliquée pour les ordinateurs (PC), mais a disparu pour la vidéo. La vision est confortable pour peu que les images soient de résolution suffisante (au minimum 300 à 350 lignes par champ). Dans le cas de la vidéo, le nombre de ligne est insuffisant (480 divisé par 2).

Pour les PC (et les cartes graphiques travaillant à des taux de rafraîchissement de l'ordre de 60 Hz), il est nécessaire d'utiliser un émetteur (synch doubling emitter) dont le but est de créer un signal vidéo propre en ajoutant les pulsations de synchronisation manquantes (vertical blanking).

### Side-by-Side

Ce format résout le problème décrit précédemment appliqué à la vidéo. En affichant les images non plus l'une sous l'autre mais côte à côte, le nombre de li-

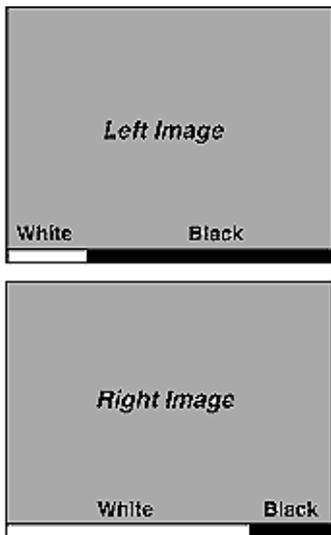
gnes n'est alors plus un problème. Sur une vidéo, le rafraîchissement n'étant que de 30 Hz, il est nécessaire de diffuser les images deux fois plus rapidement qu'elles n'ont été saisies.



### White-Line-Code WLC

Ce format offre une solution bon marché pour les PC. Il permet de se soustraire au taux de rafraîchissement pour juxtaposer temporellement les images. Une ligne blanche est affichée au bas de chacun des champs, l'interprétation par les lunettes de cette ligne permet de savoir si ce champ est destiné à l'œil gauche ou droit.

Cette méthode, par sa simplicité et son prix, est particulièrement adaptée pour le développement de jeux.



WLC

### LES LUNETTES (SHUTTERS)

L'observateur est contraint de porter des lunettes dont la fonction est de séparer les signaux reçus de l'écran vers chacun des yeux.

En mode actif, les lunettes reçoivent leurs ordres d'ouverture et d'obturation par un signal infrarouge qui doit être émis à proximité de l'écran. Cet équipement est moins agréable à porter que les lunettes

passives (verres polarisants). Celles-ci ont l'aspect d'une paire de lunettes de soleil traditionnelle.

Dans les deux cas, ces lunettes permettent une vision normale de l'environnement en dehors du champ de l'écran. Ce n'est pas tout à fait le cas avec un système simple comme les anaglyphes (lunettes avec filtres de couleur différents).

### LES PROBLÈMES

Différents problèmes connus peuvent être une source d'entrave à une bonne vision stéréoscopique en application avec les formats décrits ci-dessus.

#### Flicker

Le *flicker*, ou scintillation, est le problème le plus contraignant pour une observation agréable en vision stéréoscopique. Les images reçues donnent l'impression de scintiller ou de trembloter.

Ce problème, qui peut varier en fonction principalement de la brillance et de la taille de l'écran, est fréquemment rencontré sur des systèmes ayant une fréquence de balayage faible (60 Hz).

Il faut distinguer deux types de scintillation, due soit à l'illumination ambiante (*room flicker*) soit à l'affichage proprement

dit (*image flicker*). On peut atténuer les effets de la première en réduisant l'illumination du local. Pour la deuxième, il faut intervenir au niveau des réglages de l'affichage vidéo en contrôlant les fonctions de brillance et de contraste de l'écran. Son élimination complète est réalisable en utilisant des fréquences supérieures (120 Hz).

### **Illumination asymétrique**

Des différences dans l'illumination des images stéréo transmises à l'observateur augmentent l'effet de *flicker*.

Même faibles (de 3 à 6 dB), ces différences peuvent déjà entraîner une augmentation. Une différence de l'ordre de 3% dans l'illumination des images transmises à gauche et à droite est déjà trop importante pour garantir une vision confortable [1].

### **Crosstalk (Ghosting)**

Dans le cas de l'affichage stéréo, on retrouve le phénomène du *Crosstalk* (interférence entre deux signaux). Ce phénomène pourrait se retrouver soit au niveau de l'obturation (les lunettes) soit à l'écran. Les techniques de fabrication des lunettes excluent cependant une obturation imparfaite. En pratique, cet effet est dû à la persistance du scintillement du phosphore.

L'image de droite est censée disparaître pour permettre l'affichage du champ suivant. Dans les faits, elle ne s'estompe pas complètement et persiste, c'est particulièrement vrai dans le cas du phosphore vert. Cette rémanence provoque en mode stéréo un effet de *ghosting*. Il peut être mis en évidence en utilisant des images avec de très grandes valeurs de parallaxes ou alors très contrastées.

### **Absorption du signal**

Ce phénomène ne gêne pas le confort de vision, mais altère les possibilités de mesures. La densité lumineuse de l'image émise par l'écran n'est pas complètement transmise à l'œil. L'obturateur à cristaux liquides, comme tout élément placé entre l'émission et la réception, absorbe une partie du signal.

C'est particulièrement ennuyeux pour le photogrammètre qui est amené à effectuer des mesures en mode stéréo.

## **PERSPECTIVE ET CONCLUSION**

Le format le plus utilisé est le mode *Field sequential*. Par définition, ce standard nécessite l'utilisation d'un périphérique de sélection des images (lunettes). Il conser-

vera très certainement sa place de *leader* ces prochaines années grâce aux progrès combinés des moniteurs et des cartes graphiques (résolution et rafraîchissement).

Une avancée technologique remarquable pourrait concerner les systèmes passifs. L'intégration par les fabricants de moniteurs LCD d'une technologie nommée  $\mu$ Pol (MicroPolarizer Array / Parsell Matrix) développée par la firme VRex pour un prix inférieur à 20\$/pièce permettrait de démocratiser la visualisation stéréoscopique de très bonne qualité (*flicker free*)[4].

Les applications de la réalité virtuelle seront très certainement le moteur de développements nouveaux. Comme on peut déjà en faire l'expérience aujourd'hui, les systèmes de casques incluant la vision stéréoscopique et le positionnement ne pourront que se démocratiser et profiter d'avancées technologiques.

Des travaux sont menés pour obtenir une image stéréoscopique visible sans périphérique (à œil nu). Ce système, nommé affichage autostéréoscopique, bute actuellement sur le problème lié à la séparation des deux images. D'autre part, l'observateur serait contraint de se positionner très précisément devant l'écran et ne pourrait pas bouger sa tête sans perdre la vision stéréoscopique.

Si les tendances exprimées ci-dessus laissent entrevoir une utilisation toujours plus efficace de la vision stéréoscopique, on peut d'ores et déjà affirmer que la technologie actuellement disponible sur le marché permet un très bon confort de vision pour un investissement limité (de l'ordre de quelques centaines à quelques milliers de francs).

## ORGANISMES ET SITES INTERNET

- Stereographics Corporation :  
*[www.stereographics.com](http://www.stereographics.com)*
- NuVision Technologies, Inc. :  
*[www.nuvision3d.com](http://www.nuvision3d.com)*
- Dimension 3 :  
*[www.3dcompany.com](http://www.3dcompany.com)*
- VRex, Inc. :  
*[www.vrex.com](http://www.vrex.com)*
- Divers :  
3D Glasses :  
*[www.hut.fi/Misc/Electronics/docs/pc/3dglass.html](http://www.hut.fi/Misc/Electronics/docs/pc/3dglass.html)*  
la vision stéréo :  
*[www.vision3d.com](http://www.vision3d.com)* ■

# SERVEUR WEB D'IMAGES PARALLÈLES POUR LE PROJET VISIBLE HUMAN

*Samuel Vetsch, Vincent Messerli, Oscar Figueiredo, Benoit Gennart, Roger Hersch,  
EPFL-DI-Laboratoire de Systèmes périphériques, e-mail: RD.Hersch@epfl.ch,  
Laurent Bovisi, Ronald Welz, WDS Technologies SA, Genève  
& Luc Bidaut, Hôpital Cantonal Universitaire, LFMI, Genève,*



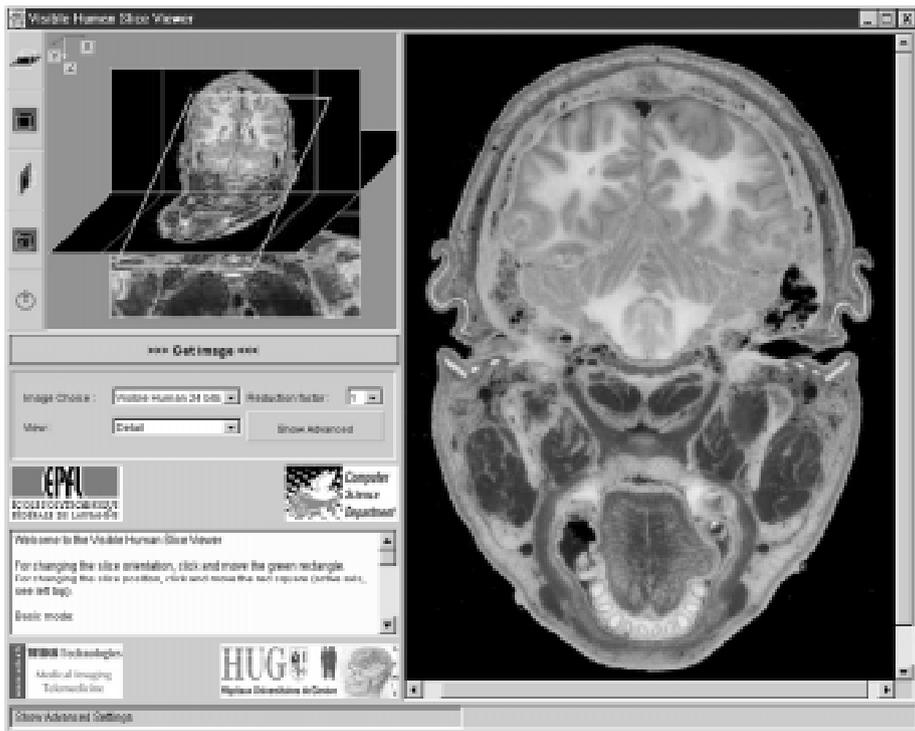
La visualisation d'images médicales 3D obtenues par coupes c'est-à-dire par l'intersection d'un volume 3D avec un plan d'orientation et de position quelconques est un outil de choix pour la formation en anatomie et l'aide au diagnostic.

Dans cet esprit, nous avons développé, dans le cadre du projet **Visible Human**, un serveur de coupes offrant aux intervenants la possibilité de spécifier interactivement la position et l'orientation de la coupe désirée et de l'obtenir à partir d'un volume tomographique 3D, qui se compose d'images CT, IRM (imagerie par résonance magnétique) ou obtenues par cryosection (images numériques en couleur de sections du corps congelé). Pour l'interaction avec l'utilisateur dans le but de spécifier la position et l'orientation de

la coupe, nous utilisons une présentation miniature 3D de l'image complète.

Accéder et extraire des coupes depuis les images du **Visible Human** [1] exige un espace de stockage important (13Goctets pour le jeu de données de l'homme) et beaucoup de puissance de calcul. Nous avons donc décidé de construire un serveur sur la base de 5 PC Bi-Pentium Pro. Un PC Bi-Pentium II supplémentaire sert de serveur Web. Tous les PC sont interconnectés à travers un switch Fast Ethernet. Au total, 60 disques sont distribués entre les 5 PC.

Le volume **Visible Human** est segmenté en volumes élémentaires de 32x32x17 (51 KB en couleurs) qui sont répartis sur les différents disques associés aux PC. L'application *Serveur de Coupes*



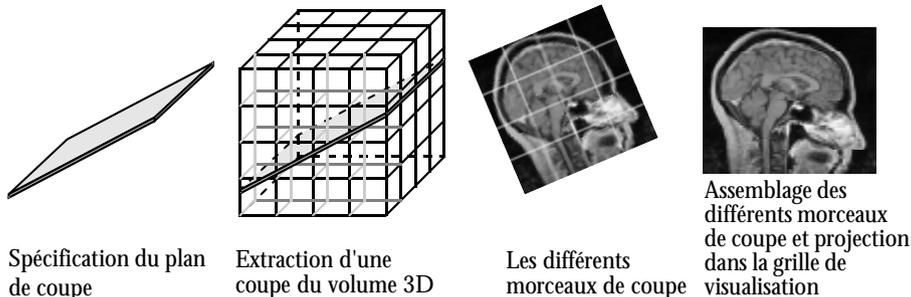
*fig. 1: spécification à l'aide d'une applet Java 1.1 du plan de coupe dans l'image tomographique 3D miniaturisée*

*Visible Human* convertit une requête de coupe donnée par sa position et son orientation en un ensemble de requêtes d'accès parallèles aux sous-volumes qui intersectent la coupe désirée (sous-volumes distribués sur les disques) et de requêtes d'extraction et de projection de morceaux de coupes (fig. 2). Les morceaux de coupes ainsi obtenus sont ensuite assemblés pour former la coupe finale qui est compressée par le serveur Web et envoyée au client Web.

Le serveur d'images parallèles utilise l'outil de parallélisation CAP [2] et les composants pour systèmes de fichiers parallèles [3], ce qui nous a permis de construire des applications parallèles combinant une performance de calcul élevée ainsi qu'un grand nombre d'opérations d'entrées-sorties asynchrones.

L'application serveur d'images parallèles se compose d'une interface résidant sur le PC serveur Web et de processus serveurs qui s'exécutent sur le réseau des 5 PC. L'interface interprète les paramètres d'emplacement et d'orientation de la coupe définis par l'utilisateur et détermine les éléments d'images qui devront être accédés. Il envoie aux serveurs concernés (ceux dont les disques contiennent ces éléments) les requêtes de lecture de sous-volumes et d'extraction de coupe. Ces serveurs exécutent les requêtes et transfèrent à l'interface les morceaux de coupes résultants. L'interface en fait l'assemblage pour engendrer l'image de la coupe finale (fig. 3).

L'application serveur d'images parallèle est décrite dans le diagramme de la fig. 4 et par le programme de la fig. 5. Le



*fig. 2: extraction des morceaux de coupe d'un volume 3D divisé en extents*

programme de la fig. 5 décrit l'application parallèle à un niveau d'abstraction élevé selon le formalisme CAP (Computer-Aided Parallelization). Ce programme est précompilé en code C++ qui est ensuite compilé pour s'exécuter sur les serveurs PC et sur le PC d'interface.

La performance du serveur a été testée en distribuant le volume des données du Visible Human (jeu de données pour l'homme : 13Goctets) sur 1 à 5 PC Bi-Pentium Pro et sur 1 à 12 disques par PC (maximum 60 disques). La figure 6 montre le nombre de coupes couleurs 512x512 extraites par seconde pour différentes con-

figurations. Chaque accès à une coupe est décomposé en 437 requêtes d'accès de sous-volumes (total: 22 Moctets de données pour les sous-volumes intersectés). Le goulet d'étranglement est toujours le débit effectif d'entrée/sortie sur le disque (pour des blocs de 51KB: ~1.88 Moctets/s). Avec 4.8 images de coupes /seconde, le PC agissant comme serveur Web peut recevoir à travers le Fast Ethernet 4.8 x 437 morceaux de coupes, chacun de taille 3.8 Koctets, ce qui donne 7.8 Moctets de données en provenance des 5 PC serveurs d'image. Pour engendrer un débit de coupes correspondant à 7.8 Moctets/s, 60 disques

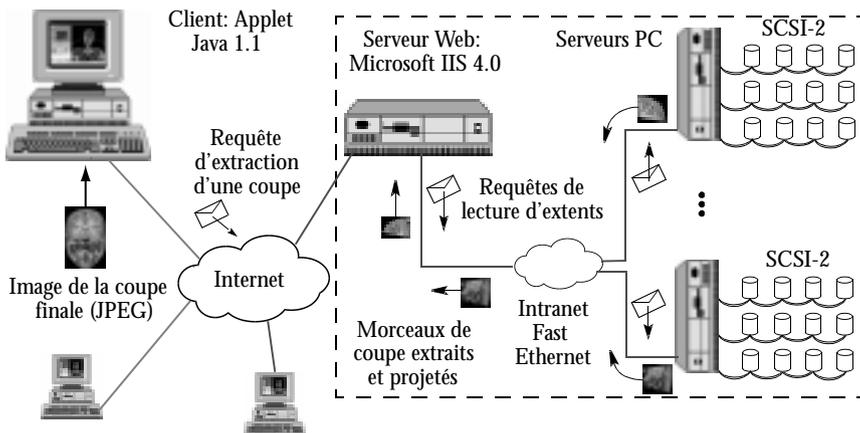
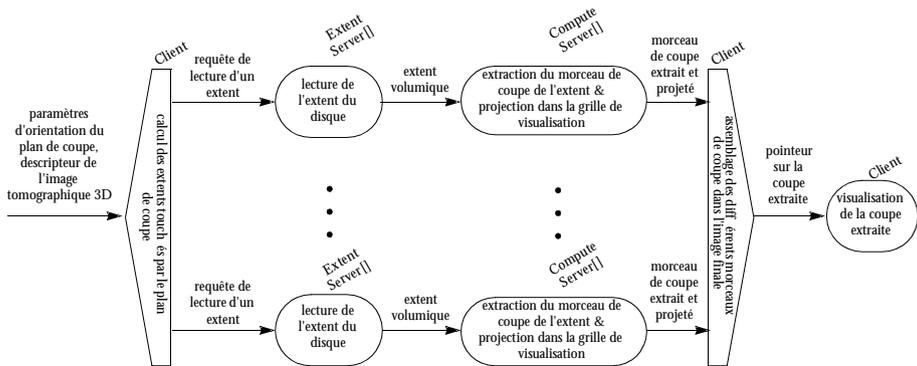


fig. 3: envoi des requêtes de lecture d'extents et réception des morceaux de coupe



**fig. 4: représentation graphique de l'application parallèle et pipelinée d'extraction et de visualisation de coupes**

```

1 leaf operation Ps2ComputeServerT::ExtractAndProjectSlicePart
2   in ExtentT* InputP
3   out SlicePartT* OutputP
4   { // C++ code }
5
6 int SplitSliceRequest(SliceExtractionRequestT* FromP, ExtentReadingRequestT* &ThisP)
7   { // C++ code }
8
9 void MergeSlicePart(SliceT* IntoP, SlicePartT* ThisP)
10  { // C++ code }
11
12 operation Ps2ServerT::ExtractSlice
13   in SliceExtractionRequestT* InputP
14   out SliceT* OutputP
15   {
16     parallel while (SplitSliceRequest, MergeSlicePart, Client, SliceT Output)
17     {
18       ExtentServer[thisTokenP->ExtentServerIndex].ReadExtent
19       >>
20       ComputeServer[thisTokenP->ComputeServerIndex].ExtractAndProjectSlicePart
21     };
22   }

```

Annotations du code CAP :

- fonction de subdivision (pointe vers SplitSliceRequest)
- fonction de réassemblage (pointe vers MergeSlicePart)
- thread où MergeSlicePart est exécutée (pointe vers MergeSlicePart)
- message de sortie de la construction CAP *parallel while* (pointe vers le bloc parallel while)

**fig. 5: spécification CAP de l'application parallèle et pipelinée d'extraction et de visualisation de coupes**

sont lus à un débit de 105.6 Mcoctets/s (4.8 x 22Mcoctets).

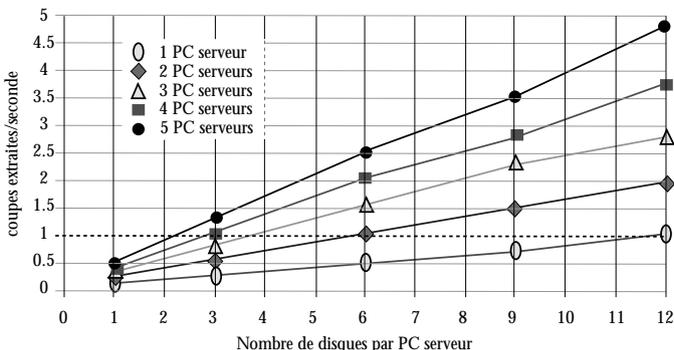
Les performances sont proches de celles offertes par le matériel, le système d'exploitation (Windows NT) et les protocoles réseau (TCP/IP).

L'outil d'aide à la parallélisation CAP simplifie la création des applications parallèles à mémoire distribuée. Les programmeurs créent séparément les parties séquentielles du programme et expriment le comportement parallèle du programme à l'aide de CAP. La partie parallèle du programme peut être facilement modifiée en changeant la séquence des opérations à l'intérieur d'une structure de contrôle paral-

lèle, en enchaînant les structures de contrôle les unes après les autres ou en utilisant des structures de contrôle parallèles imbriquées.

Pour interfacer l'architecture parallèle du serveur avec le serveur WEB nous avons utilisé le protocole ISAPI de Microsoft. Une applet Java tourne sur les clients Web et permet aux utilisateurs de spécifier la position et l'orientation de la coupe et donc d'engendrer les requêtes d'accès. Les réponses du serveur Web sont compressées (standard JPEG) et renvoyées aux clients Web pour l'affichage. L'interface Web est opérationnelle à l'adresse :

<http://visiblehuman.epfl.ch/> ■



*fig. 6: performances de l'application d'extraction et de visualisation de coupes selon différentes configurations du serveur, avec cache des disques désactivés*

# HUMAINS VIRTUELS SUR LE WEB



*Christian Babski, EPFL-DI, e-mail: [Christian.Babski@epfl.ch](mailto:Christian.Babski@epfl.ch)  
& Ronan Boulic, EPFL-DI, e-mail: [Ronan.Boulic@epfl.ch](mailto:Ronan.Boulic@epfl.ch)*



## INTRODUCTION

De la même manière que le langage HTML s'est imposé pour la représentation des pages WEB, VRML (Virtual Reality Modeling Language) [<http://www.vrml.org>] est devenu un standard pour représenter des données 3D sur le WEB. Dans un premier temps, ce langage fut créé et soutenu par Silicon Graphics. L'unique manière de profiter de ce langage était de posséder une machine onéreuse bénéficiant d'accélérateurs hardware pour traiter la troisième dimension. A l'inverse, la seconde mouture de ce langage fut mise au point par un ensemble de constructeurs, plutôt que par un seul, ce qui permit à VRML de passer d'un statut de produit à celui de standard supporté par un consortium de constructeurs/développeurs. Ceci permit de voir apparaître les outils nécessaires à la visualisation des fichiers VRML sur la majorité des plates-formes disponibles sur le marché. La diffusion auprès du

grand public de VRML fut d'autant plus facilitée que le développement des jeux sur PC amenèrent les constructeurs à intégrer des cartes accélératrices 3D dont bénéficièrent les applications utilisant VRML (principalement des *plug-ins* pour Netscape ou Internet Explorer comme CosmoPlayer de Silicon Graphics, [<http://cosmosoftware.com/>], mais également des applications indépendantes comme Community Place [<http://sonypic.com/>]).

Afin d'augmenter la portabilité des mondes VRML sur le WEB, un ensemble de groupes de travail apparut, afin de standardiser la manière de représenter certaines données à l'intérieur des mondes VRML. Là où certains groupes de travail étudient la mise au point d'une version binaire de VRML ou une manière générique d'utiliser VRML afin de réaliser des mondes 3D partagés par un ensemble de participants, un groupe de travail (HANIM [<http://ece.uwaterloo.ca:80/~hanim/>]) a défini une manière générique de

représenter des humains virtuels avec VRML. La première version fut partiellement basée sur un modèle d'humain synthétique mis au point à l'EPFL au laboratoire d'infographie (LIG) dirigé par Daniel Thalmann [<http://ligwww.epfl.ch/>] et sur un autre modèle développé au Etats Unis par Norman Badler. Une nouvelle version est en passe de voir le jour, résultat de discussions faites à travers des groupes de discussions via e-mail, où toute personne peut apporter sa contribution.

## PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE DE L'HUMAIN VIRTUEL

La définition d'un humain virtuel passe par 2 étapes principales :

- mise en place d'une hiérarchie : ceci correspond à l'ossature de l'humain. Cette hiérarchie est aussi proche que possible du véritable squelette humain afin de s'assurer, par la suite, des comportements réalistes du corps modélisé.
- définition d'une enveloppe corporelle (la peau) qui suivra les mouvements du squelette précédemment défini. Cette enveloppe peut être subdivisée en plusieurs parties (correspondant aux différentes parties du corps : bras, avant-bras,

cuisse, mollet, etc.) ou être formée d'une seule et même partie qui sera déformée dynamiquement en temps réel conformément à la position du squelette sous-jacent.

### DEFINITION DE LA HIÉRARCHIE

C'est sur cette partie très importante que porte le travail de standardisation de la représentation d'humains dans les mondes VRML. Nous avons défini une liste exhaustive des articulations dignes d'intérêts en fonction de la précision désirée des animations (fig. 1). A chaque articulation, un ensemble de degrés de mobilité est défini allant de un jusqu'à trois degrés de liberté (uniquement des rotations, les translations, quand elles sont présentes au niveau d'une articulation, sont toujours de faibles amplitudes et donc, négligeables).

Cette hiérarchie reste un sous-ensemble de la hiérarchie complète adoptée par le groupe de standardisation. Cette dernière inclut un modèle anatomique complet de la colonne vertébrale. Une telle hiérarchie représente l'ensemble maximal de degrés de liberté supporté par le standard. Toute hiérarchie possédant un sous-ensemble de ces points d'articulation est valide. Loin de limiter les possibilités, la définition d'un tel standard va permettre la com-

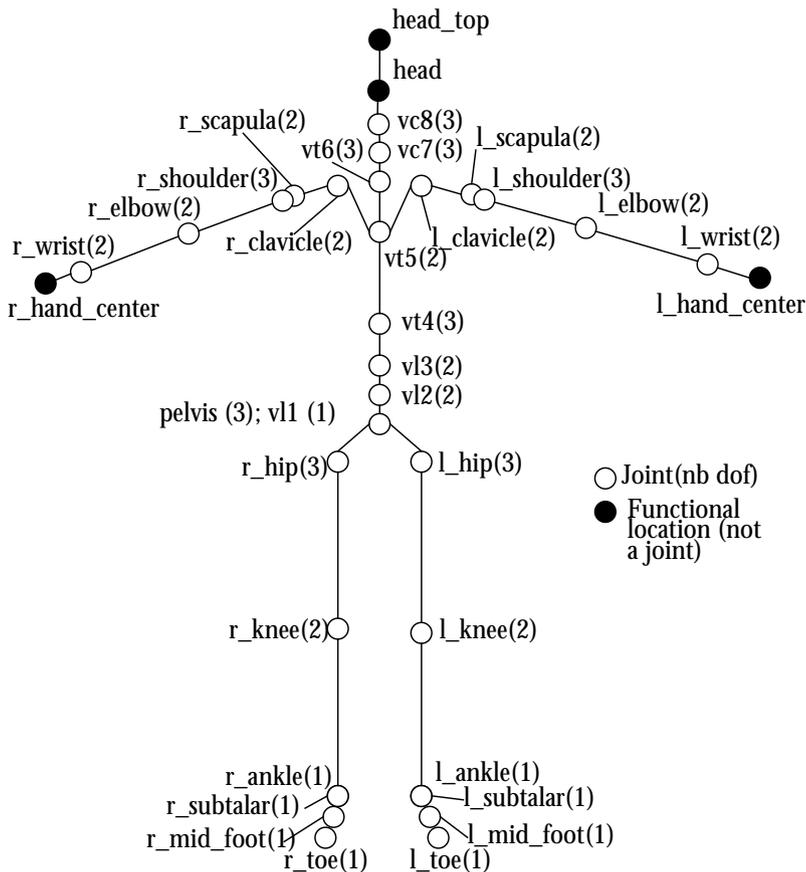
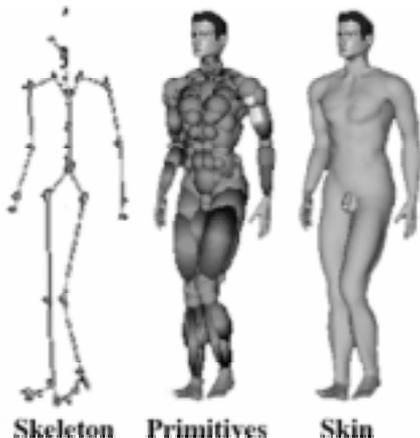


fig. 1: le squelette humain défini au LIG

patibilité des humains virtuels à travers les mondes VRML. Comme nous allons le voir dans la section suivante, cela permettra principalement d'animer un humain virtuel avec une animation qui aura pu être produite ailleurs mais qui suivra les spécifications du standard.

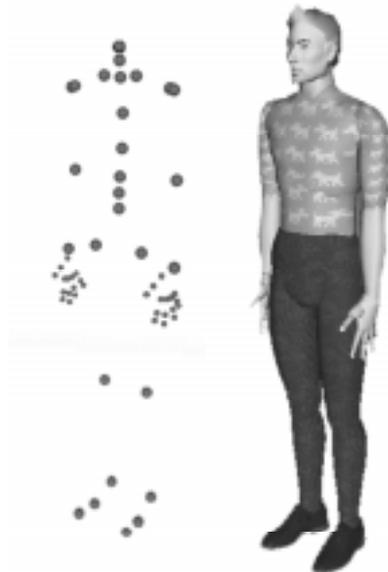
**DÉFINITION DE L'ENVELOPPE**



*fig. 2: Génération automatique de l'enveloppe corporelle – [<http://ligwww.epfl.ch/~shen/bb.html>]*

Cette enveloppe peut évidemment être générée manuellement en utilisant des

modeleurs 3D qui l'exporteront vers VRML. De notre côté, la génération de cette enveloppe est automatisée, via la définition d'un ensemble de couches qui vont s'ajouter sur le squelette afin d'obtenir l'enveloppe finale (fig. 2).



*fig. 3: le squelette nu (gauche) permettant de visualiser les articulations et le même squelette (droite), mais habillé par un ensemble de segments rigides – [<http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/>]*

Une première couche composée d'un ensemble de *metaballs* (sorte de sphères déformables) modélisant les muscles vient s'ajouter au squelette de départ. Ces primitives possèdent des caractéristiques qui définissent leurs comportements (déformation) lorsque le squelette va bouger. L'enveloppe est alors générée à partir de ces primitives pour obtenir le résultat final. De même qu'une seule surface couvrant la totalité du corps, un ensemble de surfa-

ces statiques peuvent être calculées pour chaque segment. Cette solution visuellement moins agréable, permet de décharger la machine du calcul de la déformation lors de l'animation.

## ANIMATION D'HUMAINS VIRTUELS

Toujours en exploitant les possibilités liées à VRML, il est possible de gérer des animations afin de donner un peu de vie à

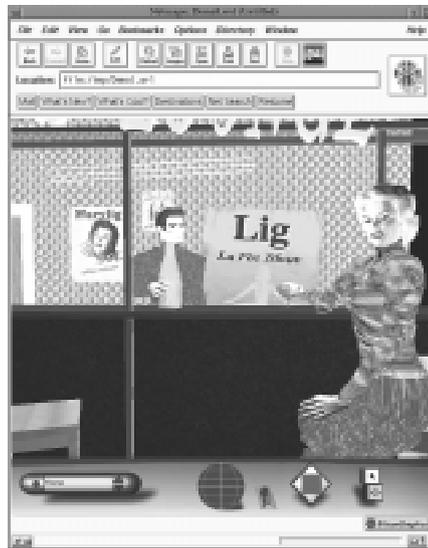
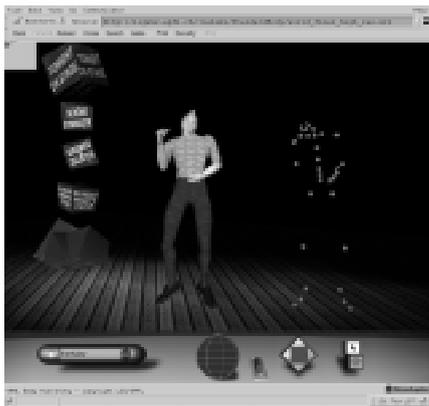


fig 4: humains virtuels en VRML mis en situation

ce qui fut longtemps un simple format supplémentaire pour données 3D. Evidemment, VRML peut être utilisé comme tel, mais sa spécificité apparaît dans sa capacité à gérer des événements (qui peuvent s'apparenter aux événements XWindow par exemple) et à intégrer du code (compilé ou non) afin de piloter les mondes VRML depuis un véritable programme.

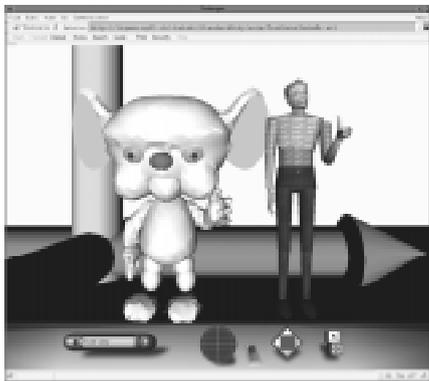
Simplement en déclarant une dépendance entre un événement et un autre (horloge et tableau d'interpolation par exemple), il est possible de créer des animations sans faire appel à aucune programmation.

Nous avons développé un ensemble d'outils qui permettent de bénéficier en VRML des capacités dont nous disposons déjà pour contrôler un humain virtuel. Il est ainsi possible d'appliquer des animations basées sur la technique des temps clé (on définit seulement la position du corps à certains moments, les positions intermédiaires étant calculées automatiquement) ou des animations issues d'une capture en temps réel des mouvements d'une véritable personne (fig. 5). La standardisation permet d'appliquer une animation sur n'importe quel humain virtuel suivant les



*fig. 5 : un humain virtuel et son squelette animé via une animation capturée en temps réel  
[<http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/>]*

spécifications. Avec l'aide du système de prototypes de VRML, l'application d'une animation réalisée par une compagnie sur un humanoïde *étranger* peut se faire de manière complètement transparente, quelle que soit la différence entre le nombre d'articulations présentes dans l'animation et le nombre d'articulations incluses au niveau du squelette (fig. 6).



*fig. 6: une même animation impliquant les doigts appliquée à un humain virtuel incluant les doigts dans sa hiérarchie et à une souris ne possédant que des mains statiques [http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/Animation.html]*

## APPLICATION DES HUMAINS VIRTUELS SUR LE WEB

La troisième dimension devenant aussi évidente à intégrer dans une page WEB que la 2D (hypertexte HTML), cela devient un outil qui peut aider à rendre plus intuitif des interfaces qui ne le sont pas du tout pour des personnes étrangères au monde de l'informatique : il est possible de définir sa propre interface 3D pour la navigation (ajout d'un plan affichant la position actuelle de l'utilisateur, interface d'interaction avec les acteurs de synthèses, etc.). D'autre part, la nouvelle dimension peut permettre certaines choses qui n'étaient pas réalisables auparavant.

A partir de données de la première tranche de construction de l'EPFL, nous avons obtenu un modèle partiel de l'EPFL en VRML. Cette simple conversion de format 3D en VRML peut permettre à des personnes planifiant de venir à l'EPFL de pouvoir s'y balader virtuellement et repérer les lieux depuis leur PC, via l'accès à une page WEB donnée. Mais la visite peut encore être plus attrayante si l'on y ajoute quelques guides. Nous avons très logiquement peuplé cette EPFL virtuelle de quelques humanoïdes ayant chacun une tâche précise. Un premier ensemble d'humanoï-

des est chargé de montrer les différentes voies de circulation ; l'utilisateur peut les suivre afin de mémoriser un éventuel parcours pour se rendre dans un laboratoire donné (Fig. 7).

De plus ces acteurs peuvent être doués de parole. Ajouté à un ensemble d'outils permettant d'analyser les demandes de l'utilisateur, l'acteur peut alors répondre et



se mouvoir en accord avec la dernière requête du visiteur. Avec ce principe, l'acteur de synthèse en VRML peut se transformer en secrétaire virtuel (Fig. 8) donnant des renseignements administratifs ou même enregistrant les nouveaux étudiants dans un service académique virtuel.

VRML possède également la capacité d'établir un lien avec une application JAVA



*fig. 7: un plan classique, comme nous pouvons le trouver actuellement sur les pages WEB de l'EPFL et une visite guidée à travers les coursives de l'EPFL comme elle est actuellement réalisable avec les acteurs de synthèses*



*fig. 8: simulation d'un service académique virtuel. Les différents documents présents sur le comptoir font l'objet d'une présentation de la part de l'humain virtuel*

externe. Il est alors possible de contrôler le monde VRML depuis JAVA. Cette passerelle ouvre la porte au langage compilé qu'est JAVA, les langages de programmation *script* interprétés étant d'une puissance et d'une rapidité limitée. Cette solution ferme cependant certaines portes, la liaison JAVA/VRML n'étant pas implémentée par tous les navigateurs VRML.

## CONCLUSION

VRML est désormais totalement intégré au WEB. Malgré certaines petites imperfections résiduelles comme le volume

des fichiers VRML par exemple, qui reste un obstacle face à la saturation des réseaux classiques (malgré l'utilisation d'outils de compression de fichiers classique) et grâce à l'augmentation de la puissance des machines grand public dans le domaine de la 3D, VRML peut devenir un complément pour les pages WEB classiques. Le développement de standard pour la représentation de certaines données en VRML peut permettre de donner une nouvelle dimension à la diffusion de résultats de recherche en 3D en s'affranchissant de la dépendance du matériel qui était omniprésente auparavant. ■

# DES AVATARS AUX HUMAINS VIRTUELS AUTONOMES ET PERCEPTIFS

*Daniel THALMANN, EPFL-DI-Laboratoire d'Infographie,  
e-mail: thalmann@lig.di.epfl.ch, www:http://ligwww.epfl.ch*



La Téléprésence est l'avenir des systèmes multimédia et elle permettra à des participants de partager des expériences privées et professionnelles telles que des réunions, des jeux, des TV shows, des *parties*. Les humains virtuels ou acteurs de synthèse ont un rôle clé à jouer dans ces Environnements Virtuels partagés et une interaction réelle avec eux est un grand défi.

## INTRODUCTION

Les nouvelles technologies nous ont permis depuis quelques années de créer des êtres virtuels et de les animer. Plus récemment, la Réalité Virtuelle nous a amené la possibilité de s'immerger dans les mondes virtuels et d'y rencontrer des êtres virtuels. Enfin grâce aux recherches en intelligence artificielle et en vie artificielle, les êtres virtuels sont capables d'une certaine autonomie. Dans cet article, nous essayons d'ex-

pliquer où en sont les recherches actuelles dans le domaine des humains virtuels, et en particulier au Laboratoire d'Infographie (LIG). Le LIG a été un des pionniers dans ce domaine qui est resté longtemps le thème de recherche d'une poignée de laboratoires. Aujourd'hui, le domaine a pris une grande importance, comme en témoignent les films, les jeux, les efforts de standardisation des Humains Virtuels dans MPEG4 et VRML, efforts auxquels le LIG participe activement, et le prochain programme cadre de l'Union Européenne [1] qui s'y intéresse aussi fortement.

Pour expliquer les différents types d'humains virtuels et leur évolution, nous allons nous servir de la nouvelle classification [2] des humains virtuels que nous avons proposée avec quatre types:

- les avatars
- les acteurs guidés
- les acteurs autonomes
- les acteurs perceptifs interactifs

## LES AVATARS

Dans notre terminologie, les avatars correspondent à des représentations fidèles de l'utilisateur. La technique consiste à enregistrer directement les mouvements de l'utilisateur et à les transposer sur un humain virtuel qui devrait avoir aussi son apparence. Pour implanter de tels avatars, il est nécessaire d'avoir des séries de capteurs comme les *Flock of Birds*.

## LES ACTEURS GUIDÉS

Les acteurs guidés sont des acteurs qui sont conduits par l'utilisateur mais sans que leurs mouvements ne correspondent directement à ceux de l'utilisateur. Ils sont basés sur le concept de la métaphore directe temps réel [3]. Pour comprendre le concept, prenons un exemple de métaphore traditionnelle: le contrôle d'une marionnette. Une marionnette peut être définie comme une poupée avec des membres déplacés par des fils ou des ficelles. Les doigts humains sont employés pour diriger le mouvement de la marionnette. En Réalité Virtuelle, le meilleur exemple de guidage d'acteurs est la navigation réalisée dans les systèmes d'Environnements Distribués

(voir plus loin: les humains virtuels dans les environnements virtuels distribués).

## LES ACTEURS AUTONOMES

Leur rôle est de représenter un service ou un programme comme par exemple pour naviguer. Comme ces acteurs virtuels ne sont pas guidés par les utilisateurs, ils doivent avoir des comportements leur permettant d'agir de manière autonome pour accomplir leurs tâches. Cela requiert de bâtir des comportements pour le mouvement, ainsi que des mécanismes appropriés pour l'interaction. Ce domaine est celui où la recherche de pointe se fait. A titre d'exemple, nous allons prendre le cas de l'évitement d'obstacles, un problème que chacun d'entre nous résout chaque jour un très grand nombre de fois. Les roboticiens ont introduit des techniques mathématiques qui permettent d'évaluer, à partir d'une configuration donnée le ou les chemins possibles, pour aller d'un point à un autre en évitant les obstacles. Cette démarche très valable pour un bras de robot se déplaçant mécaniquement dans un environnement connu et statique, est peu applicable au comportement d'un humain dans un environnement souvent mal

connu et parfois dynamique. Lorsqu'on se déplace sur un trottoir, il ne faut pas seulement éviter de se cogner aux parcomètres, mais surtout éviter le piéton qui vient en face ; sans oublier que ce piéton va aussi tenter de vous éviter. Ce type de comportement, de nature dynamique, ne peut être simulé en animation qu'avec une démarche de type sensorielle. C'est effectivement le sens de nos recherches. Nos humains virtuels ont maintenant une vision, une audition et un toucher de synthèse. Ils peuvent se diriger vers un bruit déterminé ou éviter la table qu'ils voient ou enfin réagir même dans l'obscurité en reconnaissant qu'ils ont cogné un mur. Ils peuvent même jouer au tennis en basant leur jeu sur celui de l'adversaire.

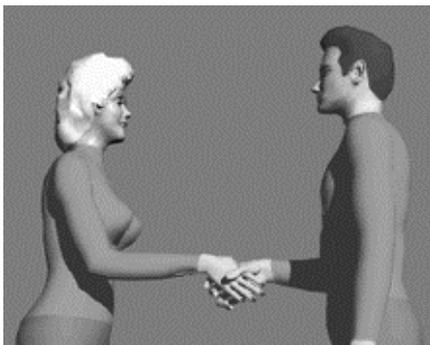


*fig. 1: acteurs autonomes (Design: Mireille Clavien)*

Le principe repose sur une boucle dite de perception-action. A chaque instant, pour chaque être virtuel, on crée une perception de l'espace virtuel, c'est-à-dire que l'on simule dans l'ordinateur ce que chaque être peut voir, entendre et toucher à l'aide de sens virtuels. Ainsi l'humain virtuel aura un vrai champ de vision, il pourra entendre les bruits produits par d'autres êtres ou se cogner à une table. Sur la base de ce que ces êtres ressentent, ils sont capables de prendre des décisions simples. Par exemple, un être virtuel, attiré par un son en dehors d'une pièce, pourra chercher la porte et lorsqu'il l'aura aperçue, pourra trouver le chemin jusqu'à cette porte et sortir et ceci sans aucune intervention d'un vrai humain.

## LES ACTEURS PERCEPTIFS ET INTERACTIFS

Nous définissons un acteur perceptif et interactif comme un acteur conscient d'autres acteurs et des gens réels. Un tel acteur est aussi supposé être autonome bien sûr. De plus, il est capable de communiquer interactivement avec les autres acteurs quel que soit leur type et avec les gens réels (fig.2).



*fig. 2: interaction entre deux acteurs*

#### **INTERCOMMUNICATION ENTRE ACTEURS DE SYNTHÈSE**

Les comportements peuvent être aussi dépendant de l'état émotionnel de l'acteur. C'est ainsi qu'un modèle de communication non verbale a été développé au LIG [4]. La crédibilité des acteurs virtuels est améliorée par leur aptitude à interpréter et employer un langage non-verbal. Une communication non-verbale est basée sur les postures et l'information sur ce que les gens ressentent. Les postures sont des moyens de communiquer et sont définies par des positions spécifiques des bras et des jambes et certaines orientations du corps. Habituellement, les gens n'emploient pas

consciemment une communication non-verbale, mais ils la comprennent instinctivement de manière étonnante et sont capables d'y répondre sans raisonnement explicite. Cette communication non-verbale est essentielle pour diriger l'interaction entre des gens avec ou sans contact. Dans notre cas, nous avons récemment développé des simulations d'intercommunication non-verbale entre des êtres de synthèse. Le principe est le suivant, pour chaque être virtuel, on définit son état émotionnel qui peut aller de 0 (triste et aucun désir de communiquer) à 1 (joyeux et désirant vivement entrer en communication). On définit également pour chaque paire d'êtres leur intensité relationnelle allant de 0 (se détestent) à 1 (s'adorent). On laisse alors une dizaine d'êtres virtuels se déplacer au hasard dans un parc public. Lorsque deux êtres se rencontrent, ils vont s'ignorer ou communiquer en fonction de leurs états émotionnels respectifs et leur intensité relationnelle. Les états émotionnels et les intensités relationnelles ne sont pas constants et évoluent en fonction de la communication. Ainsi, un être joyeux qui rencontre un être qu'il n'aime pas verra une diminution de son état émotionnel à cause de la rencontre qu'il a fait. On notera également que l'état émotionnel a une

influence directe sur la manière de se comporter, de marcher par exemple (fig. 3).



fig. 3: marche avec état émotionnel triste et joyeux

#### COMMUNICATION ENTRE PERSONNES RÉELLES ET VIRTUELLES

Les gens réels sont bien sûr aisément conscients des actions des acteurs de synthèse grâce aux outils de la Réalité Virtuelle tels que les casques de visualisation. Le problème majeur à résoudre est de rendre les acteurs virtuels conscients du comportement des gens réels. Les acteurs virtuels devraient percevoir les vraies personnes ou leurs avatars par leur sens virtuels. Les acteurs perceptifs et autonomes peuvent avoir des degrés différents d'autonomie et des canaux différents pour ressentir l'environnement. Pour les sens visuel et auditif, nous pouvons considérer le cas d'un ava-

tar jouant au tennis avec un acteur perceptif interactif. Concernant le sens tactile, nous pouvons considérer l'exemple suivant : une lutte entre une personne réelle et un acteur autonome. Le mouvement de la personne réelle est capturée avec un *Flock of Birds*. Les gestes sont reconnus par le système [5] et l'information est transmise à l'acteur virtuel qui est capable de réagir aux gestes et décider quelle attitude adopter. La fig. 4 montre un exemple.



fig. 4: combat entre avatar et acteur perceptif interactif

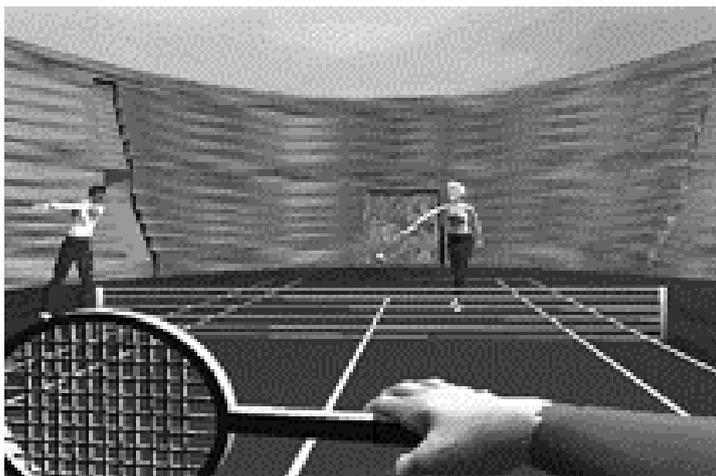
Comme application, nous sélectionnons un jeu virtuel de tennis avec un acteur guidé, l'actrice perceptive interactive Marilyn, et un arbitre perceptif interactif,

les deux avec une vision virtuelle. La fig. 5 montre une séance interactive. Les caractéristiques géométriques du court de tennis font partie de la connaissance des joueurs. Pour la simulation de la dynamique de la balle, la gravité, le filet, le sol et la raquette, nous employons des calculs basés sur la physique. Le dépistage de la balle par le système de vision est contrôlé par un automate spécial qui suit la balle, estime le temps de collision et le point de collision de la balle avec la raquette et effectue le coup avec la force donnée et dans la direction voulue. L'arbitre juge le jeu en

suivant la balle avec son système de vision. Marilyn peut aussi entendre des événements sonores et obéit aux décisions de l'arbitre.

## LES HUMAINS VIRTUELS DANS LES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS DISTRIBUÉS

VLNET (Virtual Life Network) [6] [7] a été développé en Suisse conjointement par le Laboratoire MIRALab de l'Université de Genève et le Laboratoire d'Infographie de l'EPFL. L'avantage de



*fig. 5: jeu de tennis avec avatars et acteurs perceptifs interactifs temps-réel*

VLNET sur les autres systèmes est qu'il offre le plus grand réalisme dans la représentation des humains virtuels. VLNET supporte un environnement virtuel distribué et partagé permettant à des utilisateurs multiples d'interagir avec chacun et leur environnement en temps réel. Les usagers sont représentés par des avatars 3D les plus réalistes possibles. Les utilisateurs peuvent aussi guider des acteurs humains virtuels 3D. Ces acteurs guidés ont des comportements et une apparence similaire aux humains réels, et aident à soutenir le sens de présence des utilisateurs dans l'environnement. En plus d'acteurs guidés, l'environnement peut aussi inclure des acteurs perceptifs interactifs et autonomes qui servent surtout comme interface amicale pour les utilisateurs désirant accéder à certains services. Les humains virtuels peuvent aussi être employés pour représenter les partenaires actuellement indisponibles, permettant ainsi une coopération asynchrone entre des partenaires distants. L'environnement virtuel peut renfermer plusieurs médias différents : du son, des modèles 3D, des interactions faciales représentées par des textures du visage et des films diffusés en temps réel. A la place d'utiliser des fenêtres multiples ou des applications pour chaque média, on préfère intégrer toutes

les tâches dans un seul environnement virtuel avec une interface naturelle semblable à ce qu'offre le monde naturel. Notre environnement virtuel doit d'ailleurs répondre au critère de généralité, permettant ainsi d'être utilisé dans des applications et des circonstances très différentes.

Le système continue à être développé pour d'une part augmenter le nombre d'usagers et d'autre part permettre des communications entre usagers utilisant différentes plates-formes comme UNIX et WINDOWS NT. Pour que l'Environnement Virtuel soit réaliste, il faut que le système soit suffisamment rapide pour fournir une interaction naturelle. Pour un affichage rapide, nous utilisons l'environnement IRIS Performer de Silicon Graphics qui fournit un environnement facile à utiliser pour le développement d'applications temps réel. Pour les communications, nous pouvons utiliser Internet, mais ATM est nécessaire pour les communications demandant une plus grande bande passante.

Nous exploitons un modèle distribué de communication, ainsi chaque utilisateur est responsable pour la mise à jour de l'ensemble des données locales nécessaires au rendu et à l'animation des objets. Il y a toujours un usager qui détermine l'environnement. Les autres usagers sont *invités*



*fig. 6: jeu de tennis entre Lausanne et Genève (Interactive Telecom 97)*

et n'ont pas besoin de donner tous les paramètres. Toutes les données sont initialement chargées à travers le réseau dans la machine chargée à l'usage se branche à l'environnement partagé. La communication est asynchrone. Les informations sur les actions des utilisateurs sont transmises aux autres utilisateurs à mesure

que les actions surviennent. Des actions-type peuvent changer la position ou l'orientation des acteurs, ou saisir ou lâcher un objet. Les actions sont diffusées aux autres utilisateurs en termes de nouvelles orientations des objets dans l'espace ou d'autres changements possibles.

Parmi les applications, on citera l'utilisation de VLNET entre Genève et Singapour permettant à des personnes des deux sites de visualiser et de manipuler des montres de luxe. Dans le domaine des loisirs, VLNET a aussi été utilisé pour jouer aux échecs ou pour résoudre un casse-tête.



*fig. 7: l'arbitre autonome Marilyn*

Mais l'application la plus complexe a été inaugurée lors de Interactive Telecom

97. C'était un jeu de tennis (fig. 6) entre Genève et Lausanne où chaque joueur portait un casque de réalité virtuelle pour être immergé dans un court virtuel. Les joueurs étaient également équipés de capteurs magnétiques pour enregistrer en temps réel leurs mouvements et les représenter par des avatars dans le monde virtuel, donc sur le court. Un arbitre autonome (fig. 7), Marilyn, était capable de juger le jeu de ses propres yeux.

## CONCLUSION

Notre objectif ultime est de créer des acteurs de synthèse crédibles et réalistes, des humains virtuels intelligents, autonomes avec faculté d'adaptation, perception et mémoire. Ces acteurs devraient être capables d'agir librement et avec émotion. Idéalement, ils devraient être conscients et imprévisibles. Mais, sommes-nous loin d'une situation aussi idéale ? Nos acteurs perceptifs interactifs sont capables de percevoir le monde virtuel, les gens vivant dans ce monde et dans le monde réel. Ils peuvent agir en se basant sur leur perception de façon autonome. Leur intelligence est contrainte et limitée aux résultats obtenus dans le développement de nouvelles

méthodes d'Intelligence Artificielle. Les acteurs intelligents sont capables d'apprendre ou de comprendre des situations très simples. La mémoire est généralement définie comme le pouvoir de reproduire ou de se rappeler ce qui a été appris et retenu surtout par des mécanismes d'association.

Nous avons vu que des aspects émotionnels peuvent être importants dans l'intercommunication non-verbale. Les émotions sont aussi essentielles dans l'animation faciale. Cependant, une émotion réelle devrait être considérée comme un état de ressentir, une réaction physique et psychique subjectivement ressentie comme une sensation forte et entraînant physiologiquement des changements qui préparent le corps pour une action vigoureuse immédiate. Dans ce cas, nous sommes loin de réaliser des acteurs véritablement émotionnels.

Enfin, les acteurs dans l'avenir devraient être flexibles, conscients et libres. Un acteur est flexible aussi longtemps qu'il peut *survivre* dans des environnements plus ou moins imprévisibles et dangereux. Selon Alexander [8], un acteur conscient devrait être conscient surtout de quelque chose en lui-même ou caractérisé par une sensation, une émotion, ou une pensée. Un

acteur peut être considéré comme libre si son comportement futur est imprévisible aux autres.

## REMERCIEMENTS

L'auteur est reconnaissant aux gens qui ont contribué à ce travail, en particulier Pascal Bécheiraz, Ronan Boulic, Tolga Çapin, Amaury Aubel, Tom Molet, Luc Emering et Hansrudi Noser. Le système VLNET et le tennis interactif ont été développés conjointement avec MIRALab à l'Université de Genève. Les recherches ont été financées par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, le Programme Prioritaire SPP et l'Office Fédéral de l'Education et de la Science dans le cadre de plusieurs projets Européens: ES-PRIT Humanoid-2, ESPRIT VISTA, ACTS COVEN, ACTS VPARK. ■

# OUTILS DE LA PHOTOGRAMMÉTRIE POUR VISUALISER DES PROJETS

*Matthias von Moos, EPFL-DGR-Photogrammétrie,  
Institut de géomatique,  
e-mail : Matthias.VonMoos@epfl.ch*



## INTRODUCTION

Les architectes et les ingénieurs apportent par leurs travaux des changements irréversibles à notre environnement. Afin de mener à bien leurs planifications, ils ont besoin d'outils de visualisation performants. Dans certains cas, c'est la loi qui impose une étude d'impact, afin de fournir la preuve que la future construction ne nuit pas au paysage. Souvent, les visualisations sont aussi un outil de promotion du projet. En fonction des contraintes et des exigences, on a le choix entre différents moyens de visualisation: maquette, photomontage, animation 3D sur ordinateur, etc. Les techniques des visualisation ne cessent d'évoluer. A peine établie, la réalité virtuelle – la modélisation d'une scène entièrement par ordinateur – est déjà mise en question. On constate que le monde

réel est trop complexe pour être modélisé, que la réalité virtuelle est perçue comme trop artificielle. Le concept magique s'appelle réalité augmentée: la réalité telle qu'elle se présente aujourd'hui est modifiée afin de représenter l'état futur. La vidéo est le moyen de capturer l'état existant avec tous les détails nécessaires pour être perçu comme réel; la végétation, les objets et personnes qui bougent, les éléments placés aléatoirement, etc. On n'intervient qu'aux endroits où apparaissent des éléments nouveaux et où d'autres disparaissent.

La photogrammétrie est bien placée pour faire de la réalité augmentée, car cette tâche est semblable aux travaux traditionnels du photogrammètre qui est d'orienter des images et d'en extraire des informations métriques. Le Laboratoire de photogrammétrie est équipé de stations de

photogrammétrie numérique et possède les logiciels nécessaires pour la création d'images de synthèse.

## COMBINAISON D'IMAGES

Pour produire des images de synthèse à partir d'images vidéo et de plans de projets on peut utiliser plusieurs techniques. La plus simple est de faire une sorte de *collage numérique*, qui ne fait guère interve-

nir la photogrammétrie. La technique la plus complète est l'approche par la photogrammétrie, en créant un modèle 3D à partir des images et en le combinant avec les plans du projet.

### *COPY & PASTE*

La technique *copier & coller* est largement utilisée dans l'industrie cinématographique, et les résultats sont souvent plus valables qu'on ne le pense. A l'aide d'effets spéciaux, il est même possible d'ajouter des



*fig. 1: combinaison de deux images par la méthode Copy & Paste*

ombres. Ces images sont très naturelles et on les considère comme réalistes car on n'y trouve que des objets réels. Pour le *Copy & Paste* il suffit de disposer d'images de fond et d'une image de l'objet à implanter. Il est même possible que les deux images montrent la scène et l'objet sous des angles différents, ceci peut être corrigé par de simples transformations géométriques. Cette technique est très simple, mais on est tributaire d'images existantes d'un objet similaire. Pour des applications à des études d'impact on aimerait une représentation qui soit aussi métriquement correcte, ce qui n'est pas le cas pour les images ainsi obtenues.

#### COMBINAISON EXACTE

Cette technique utilise l'image réelle comme fond et la combine avec un modèle 3D d'un nouvel objet. Pour cela, on détermine avec précision l'orientation externe de l'image de fond et on calcule comment on verrait l'objet à implanter sous le même point de vue. L'image ainsi générée est parfaitement superposable à l'image réelle. Cette technique rejoint celle de la photogrammétrie classique, où l'orientation d'image est une tâche de routine, seul le grand nombre d'images (25 par seconde) pose un problème nouveau.

#### IMAGE DRAPING

L'*image draping* peut être considéré comme un stade plus évolué de la méthode précédente. Au lieu d'utiliser les paramètres d'orientation pour générer des images virtuelles, on mesure à partir des images orientées un modèle de faces 3D, sur lesquelles on projette par la suite les images comme texture. En combinant ce modèle avec les données du projet à visualiser on obtient une scène complète dans laquelle on peut bouger librement le caméscope virtuel.

#### L'ORIENTATION DES IMAGES

Du point de vue photogrammétrique, la détermination de l'orientation externe est la question la plus intéressante. Pour résoudre ce problème, nous avons testé deux méthodes; un système multi-antennes GPS [1] et l'aérotriangulation.

#### ÉLÉMENTS D'ORIENTATION

Pour des applications photogrammétriques, il faut faire la distinction entre l'orientation interne et l'orientation externe. L'orientation interne consiste à fixer la position du centre de projection par rapport au support de l'image (pellicule pho-

tographique, capteur CCD, etc.) et à chiffrer la distorsion, ce qui correspond au calibrage de la caméra. L'orientation externe détermine la position et l'orientation de la caméra dans l'espace-objet. Selon nos expériences, il suffit pour des applications en réalité augmentée de déterminer les six paramètres de l'orientation externe (trois pour la position et trois pour l'orientation dans l'espace).

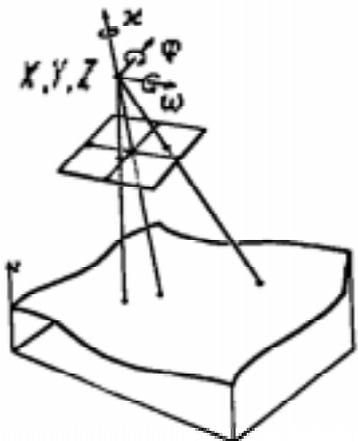


fig. 2: orientation externe d'une image

La précision avec laquelle on doit connaître les éléments d'orientation est subordonnée au fait que les éléments réels et fic-

tifs des images de synthèse doivent paraître cohérents. On profite de la forte corrélation entre les éléments d'orientation. De faibles déplacements latéraux du centre de projection peuvent être compensés par des rotations autour des axes passant par le plan de l'image.

### L'AÉROTRIANGULATION

La triangulation aérienne est un procédé de la photogrammétrie classique, qui est utilisé pour orienter un grand nombre d'images avec peu de points d'ajustage. Il existe plusieurs logiciels d'aérotriangulation, avec différents degrés d'automatisation. Sous certaines conditions, ces logiciels rendent aussi service pour orienter des images vidéo.

### LE SYSTÈME MULTI-ANTENNES GPS

Pour déterminer l'orientation d'un objet – en l'occurrence le caméscope – on mesure la position de trois points de l'objet. Leurs positions relatives étant connues, on peut calculer l'orientation de l'objet. Malheureusement les limitations de cette technique sont nombreuses (basse fréquence des mesures, pertes du signal du satellite, etc.), on préfère alors l'aérotriangulation.

## MODÉLISATION ET RENDU DES IMAGES

Des logiciels de dessin assisté par ordinateur (DAO) comme AutoCAD® ou MicroStation®, qui sont conçus surtout pour le dessin technique 2 et 3D, sont souvent utilisés par les architectes et les ingénieurs. Leurs fonctions de base sont accompagnées d'outils pour appliquer des textures, créer des animations etc. Mais leurs possibilités restent limitées pour le rendu d'images, alors que les logiciels Softimage®|3D, 3D Studio Max® ou Explorer® sont beaucoup plus performants dans ce domaine. Il s'agit de logiciels *DAO* du *cinéma* qui sont orientés vers l'animation et le rendu de scènes. On peut y importer en format *dxf* des scènes qui ont été construites par un logiciel de *DAO technique*. La combinaison des images virtuelles avec les images réelles se fait à l'aide du logiciel de montage Softimage|Eddie®.

Au Laboratoire de photogrammétrie, on dispose des logiciels Softimage®|3D et Softimage|Eddie®. L'entreprise Softimage a été créée en 1986 à Montréal, en 1994 elle était achetée par Microsoft et elle emploie maintenant 300 personnes. Ses logiciels ont contribué à des films comme Jurassic Park, The Lion King ou Titanic.

## RÉSULTATS

On a appliqué ces méthode dans plusieurs cas où l'impact visuel est un élément essentiel de la planification :

### ***Construction d'une ligne à haute tension***

L'intégration des pylônes dans le paysage est le point sensible qui était à examiner. Les images ont été prises avec un petit caméscope numérique. Pour leur superposer les pylônes, on a utilisé la technique *copier & coller*. Si l'on observe image par image, on peut estimer l'impact des pylônes, mais s'ils sont groupés dans un film on constate des déplacements relatifs entre l'image de fond et les pylônes. On en a conclu que cette technique était difficile à mettre en œuvre pour des séquences avec un mouvement irrégulier de la caméra et qu'elle était à éviter pour des telles séquences.

### ***Nouvelle Transversale Ferroviaire Alpine***

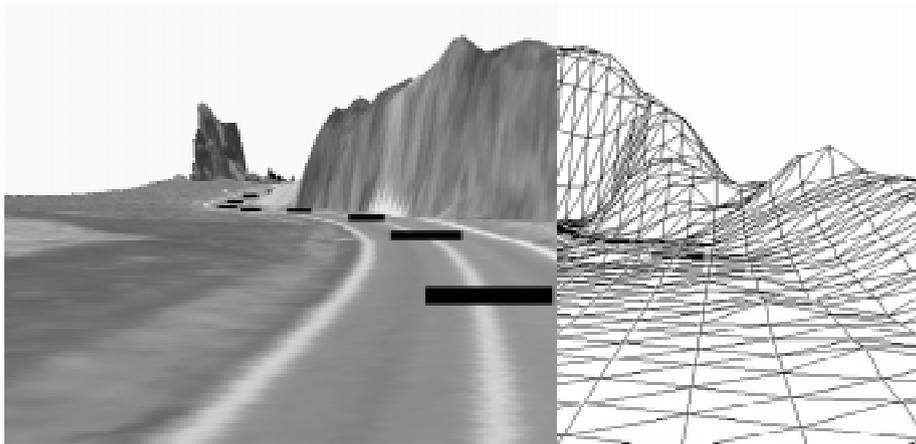
Un tronçon de la nouvelle transversale ferroviaire alpine traversera la plaine dans la région de Biasca TI. La vidéo originale est un panoramique filmé avec un caméscope professionnel. La détermination de l'orientation a été faite pour une image sur 10, par aérotriangulation. Les objets virtuels vus du même point ont

été par la suite superposés aux images réelles. Le film qui en résulte montre bien la nouvelle ligne de chemin de fer, respectivement son environnement.

### ***Sécurité Routière***

La route Cossonay - La Sarraz est réputée être un tronçon dangereux. Le projet [2] a mis en évidence des problèmes de visibilité, qui est à plusieurs endroits largement en dessous de celle calculée

sur la base des plans. Comme on voulait simuler la vue du conducteur également pour un tracé alternatif, il a fallu utiliser la technique *Image Draping*. Contrairement aux exemples précédents, on n'a pas utilisé la vidéo, mais une dizaine d'images aériennes. Le résultat est très satisfaisant, seule la résolution est trop faible pour les objets au premier plan. D'où l'intérêt d'utiliser des images vidéo.



***fig. 3: image aérienne projetée sur la maille du modèle numérique de terrain. Les barres noires aident à estimer la distance de visibilité [2]***

## CONCLUSION

L'utilisation de la vidéo permet une modélisation très simple pour un résultat qui est perçu plus réaliste que celles qu'on peut obtenir par d'autres méthodes de visualisation. La modélisation se limite à l'objet nouveau et aux objets qui obstruent la vue sur cet objet. La vidéo filmée sur place contient tous les éléments qui existent déjà.

Les séquences vidéo montrent qu'il s'agit d'une véritable alternative aux techniques de visualisation déjà établies. Il s'agit maintenant de se détacher de l'aspect purement *visualisation* et de simuler des actions dans cet environnement modifié.

Ce sujet a fait l'objet d'un travail de diplôme EPFL [3]. ■

## FLASH INFORMATIQUE

Les articles de ce journal ne reflètent que l'opinion de leurs auteurs. Toute reproduction, même partielle, n'est autorisée qu'avec l'accord de la rédaction et des auteurs.

Rédacteur en chef : Jacqueline Dousson, [fi@epfl.ch](mailto:fi@epfl.ch)

Comité de rédaction : Jean-Daniel Bonjour, Jean-Michel Chenais, Milan Crvcinan, Laurent Desimone, Jean-Jacques Dumont, Pierre-André Haldy, Catherine Jean-Pousin, Hervé Le Pezennec, François Roulet, Christophe Salzmann & Jacques Virchaux

Mise en page et graphisme : Appoline Raposo de Barbosa

Impression : Atelier de Reprographie EPFL

Tirage : 4000 exemplaires

Adresse Web : <http://sawwww.epfl.ch/SIC/SA/publications/>

Adresse : SIC-SA EPFL, CP 121, 1015 - Lausanne

Téléphone : 021/693 22 46 & 22 47



ISSN 1420-7192 9 771420 719001

# GÉNIE RURAL & ENVIRONNEMENT

## MODÉLISATION 3D ET ANIMATION

### VIRTUELLE

*Jean-François Monnet, Gester SA Sion*



Ces dix dernières années ont été le théâtre d'une évolution foudroyante dans le domaine de l'informatique.

Ce secteur d'activité a passablement modifié l'approche pratique des métiers techniques, notamment les métiers touchant à la construction et à l'élaboration de projets environnementaux.

Cette nouvelle manière de présenter les projets simplifie la compréhension et la lecture des informations. A l'heure du multimédia, les projets de tous genres peuvent être consultés de façon plus facile, plus rapide et plus conviviale par l'image numérique. Le profane est ainsi plus impliqué dans la critique.

Actuellement, les projets d'études d'impacts sur l'environnement amènent les bureaux techniques à présenter au public

des objets numériques. Cette nouvelle technique nécessite de la part des projecteurs une connaissance accrue du dessin assisté par ordinateur (DAO), de la modélisation tridimensionnelle (3D), la création d'images de synthèse ainsi que des connaissances en montage vidéo et animation d'images.

Suite à cette évolution, on peut donc parler aujourd'hui d'une nouvelle branche de métier que l'on pourrait nommer *technico-artistique* étant donné que les dessinateurs-projecteurs doivent maîtriser les connaissances de plusieurs logiciels :

- dessin technique
- modélisation
- animation
- traitement d'images

Bien sûr, il existe des sociétés spécialisées dans le monde virtuel très bien équipées, qui travaillent surtout dans le domaine artistique (cinéma, publicité, presse spécialisée) et qui n'ont pas forcément les compétences pour traiter des projets techniques bien souvent normalisés.

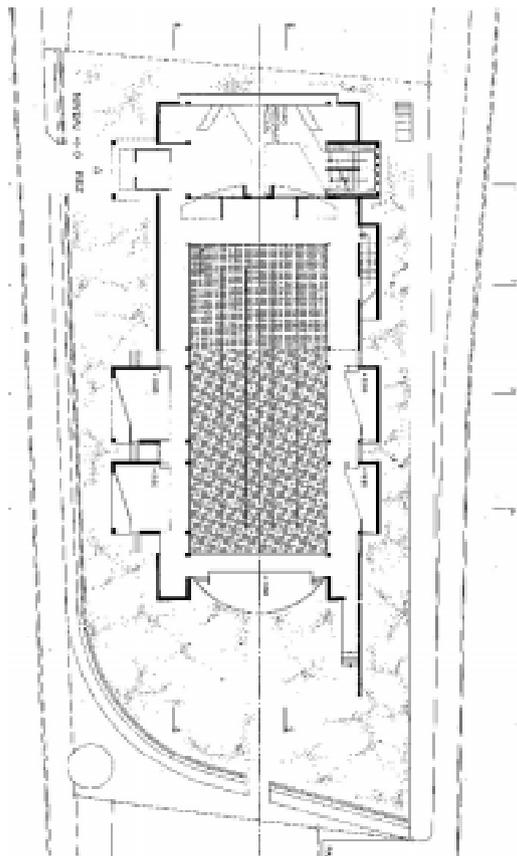
Nous parlons ici de projets tels que :

- constructions architecturales
- génie civil
- aménagements du territoire (plans de quartiers etc.).

## MODÉLISATION 3D

### *PROJETS DE CONSTRUCTION*

Les projets destinés à être représentés de façon imagée ou animée devront tout d'abord être définis en trois dimensions. En outre, les divers matériaux seront séparés par couches distinctes. De même, les parties de construction qui utilisent une inclinaison ou une rotation (toitures, escaliers, rampes etc.) seront également séparées par couches.



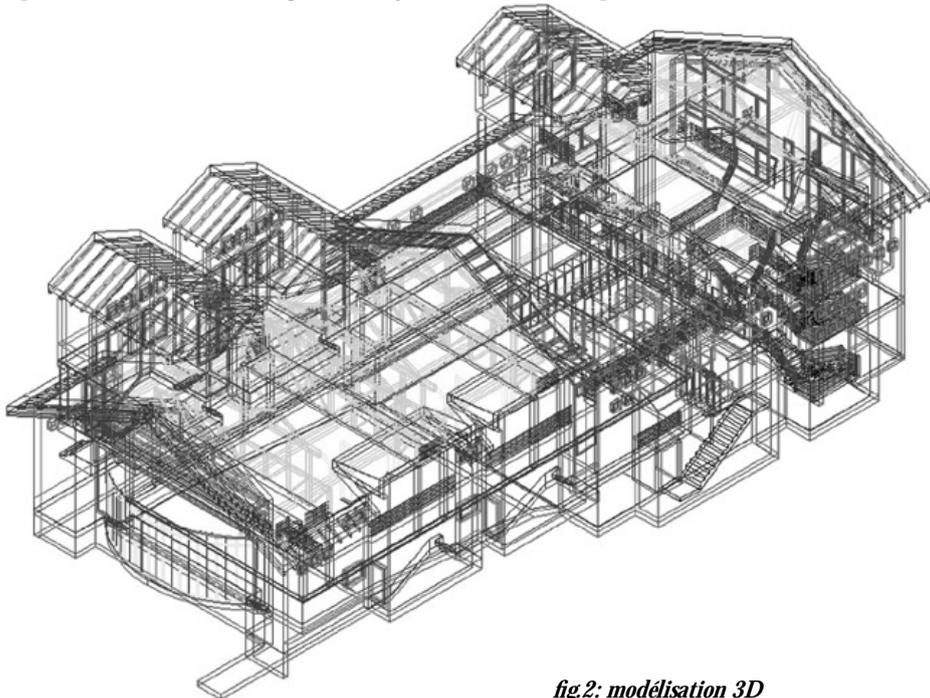
*fig.1: modélisation 2D*

Une fois que le modèle 3D est conforme au plan architectural, ces données sont transférées dans un logiciel de traitement visuel 3D tel que *Autodesk 3DStudio* ou plus récemment *Kinétix 3DStudioMax*.

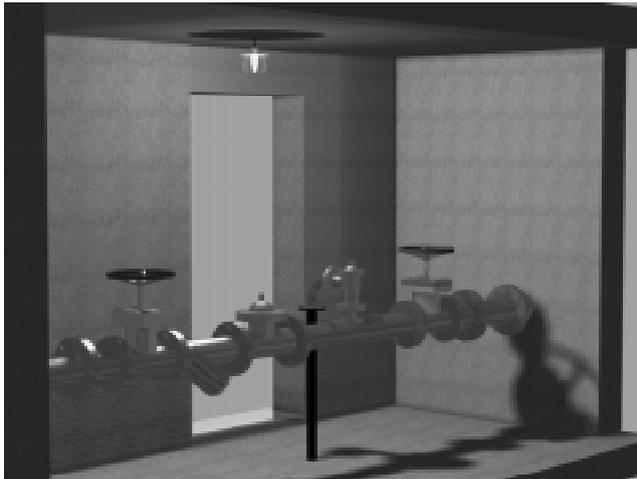
Les divers matériaux sont alors appliqués sur le modèle. Sont également ajoutés

les éclairages, les caméras et les autres éléments du décor (effets visuels, particules, ondulations des surfaces, effets de vent, explosions, fumées, brouillard, véhicules, personnages, animaux etc.).

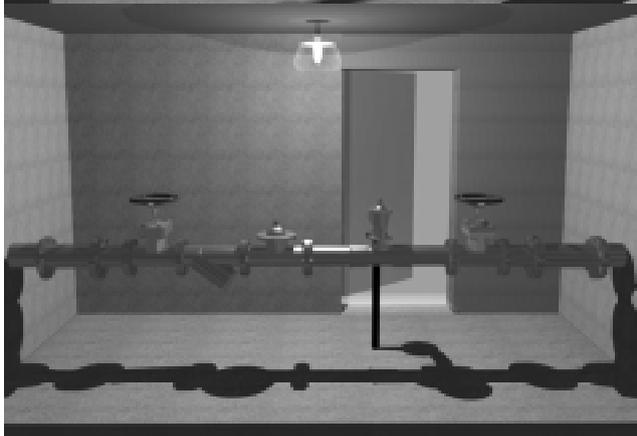
Les figs 1 et 2 montrent un projet de bâtiment public à Evolène.



*fig.2: modélisation 3D*



*fig. 3*



*fig. 4*

**GÉNIE CIVIL**

Lors d'un projet de construction de Génie civil, la représentation par images virtuelles facilite l'interprétation des plans et le montage étant donné que toutes les pièces et structures sont visuellement reconnaissables.

Les figs 3 et 4 montrent le rendu tridimensionnel d'un projet de chambre de vannes pour l'alimentation en eau potable d'une commune.

A Sion, suite aux débordements de *La Sionne*, des ouvrages de protections spéciaux ont dû être entrepris.

Sur la fig. 5, à l'entrée aval d'une chambre les angles vifs seront atténués par des protections incurvées afin d'éviter que les gravats ne se bloquent et obstruent la galerie. Sur la fig. 6, on voit la protection de tuyaux et conduites souterraines traversant la galerie.



*fig.5*



*fig.6*

## IMAGES DE SYNTHÈSE

Les images de synthèse sont composées de prises de vues traditionnelles mélangées avec un modèle tridimensionnel. L'intégration du modèle dans l'image se fait par positionnement d'une caméra terrestre ou aérienne dont la position et l'ouverture sera la même que l'image de base.

## AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET URBANISME

Dans le cadre de projets de construction, une vue d'ensemble du projet permet d'évaluer rapidement l'impact paysager des constructions.

Il permet en outre aux initiateurs du projet d'évaluer visuellement certains problèmes tels que :



*fig.7: exemple de projet d'implantation de chalets de vacances dans une station valaisanne*

- occupation des surfaces par rapport aux parcelles
- hauteurs
- répartition
- orientation

### PLANS DE QUARTIER

Les plans de quartier issus d'études conjuguées entre le plan d'aménagement local, les architectes, les urbanistes, les paysagistes, peuvent également être représentés par photomontage. Toutes les structures du projet peuvent ainsi être regroupées sur une seule photo. Pour le projet des Frisses à Ayent, les figs 8 et 9 montrent l'intégration par photomontage de l'aménagement de quartier, réalisé sur une prise de vue aérienne.



*PROJETS DE  
CONSTRUCTIONS DIVERSES*

Un projet de construction d'un télésiège exige une attention toute particulière face aux problèmes d'environnement. Lors d'une étude d'impact, les photomontages sont très explicites et parlent parfois bien mieux qu'un rapport.

Ce mode de faire remplace avantageusement la construction d'une maquette étant donné que parfois, la surface à représenter est très élevée.

*fig 10: avant*

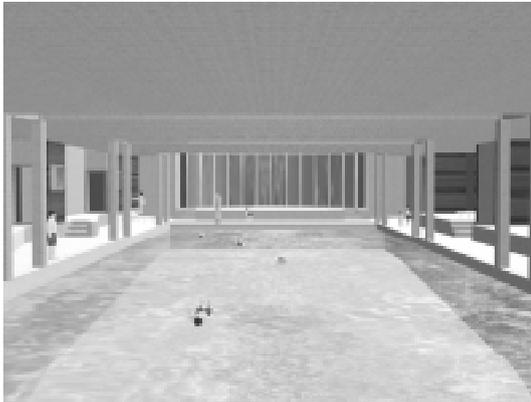


*fig 11: après*





*fig. 12: image intérieure tirée de l'animation du projet de la maison de la forêt aux Mayens de Riddes*



*fig. 13: projet d' un bâtiment public*

## ANIMATIONS VIRTUELLES

Si un modèle 3D est destiné à des animations vidéos, les caméras pourront être mobiles et suivront un cheminement défini par l'opérateur. De même, les diverses focales peuvent être générées indépendamment des positionnements.

La densité d'images définie pour le modèle sera fonction de la vitesse des déplacements de la caméra, de son ouverture et de la rotation du trajet afin de garantir une vidéo fluide. ■



*fig. 14: image tirée d'une animation virtuelle*

# CONSTRUCTION DE PANORAMAS PHOTOGRAPHIQUES À L'AIDE DE PLUSIEURS IMAGES



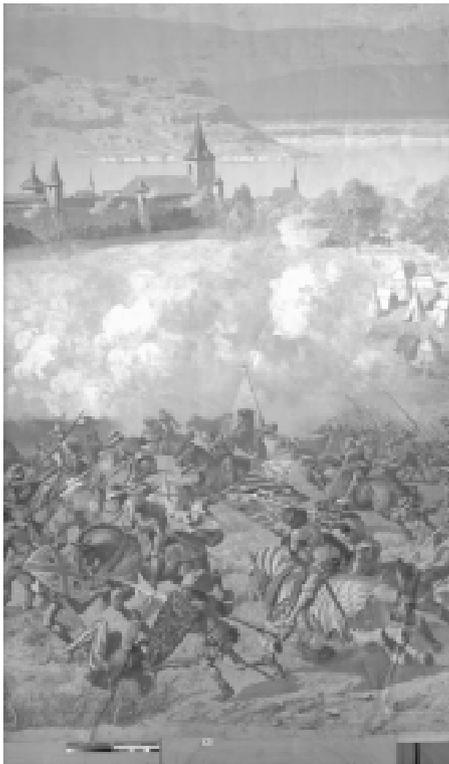
*David Hasler, EPFL-DE-Laboratoire de communications audio-visuelles, e-mail: David.Hasler@epfl.ch*

Ne vous est-il pas déjà arrivé, lors d'un voyage à l'étranger, de traverser des contrées magnifiques et de vouloir les immortaliser sur une magnifique photo?! Quelle frustration cependant, lorsqu'on rentre au pays et montre les images des vacances à nos amis: la photo n'arrive souvent pas à restituer l'impression du moment. Une des raisons à ce phénomène –mais évidemment pas la seule– est que la photo ne contient pas tout le paysage visible à l'œil nu. Techniquement, l'angle de vue de notre œil est nettement supérieur à celui de l'appareil photo, ce qui nous force à choisir un élément particulier de la scène. Pour parler à cet inconvénient, il est possible de prendre une multitude de photos du même endroit, puis de les recoller pour ne former qu'une seule grande image. Ceux d'entre vous qui l'avez tenté ont sans doute re-

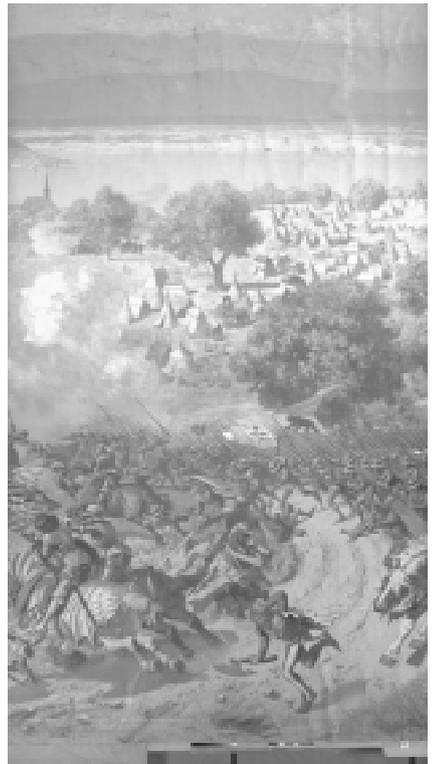
marqué qu'il s'agit là d'une tâche laborieuse. Ce que nous exposons dans cet article est une méthode qui effectue le collage des photos automatiquement. Évidemment, il faudra avoir scanné les images auparavant, et disposer d'une bonne imprimante pour pouvoir profiter du résultat.

Le problème est le suivant: on dispose de 2 images (voir fig. 1); on remarque qu'il y a une partie de recouvrement entre les images, sans quoi la méthode ne marcherait pas.

Rappelons qu'une image peut être représentée par une matrice dont les éléments représentent l'intensité de chaque point de l'image (pour une image en noir et blanc). Par exemple, si un point est blanc sur l'image, il sera représenté par la valeur 100 dans la matrice, s'il est noir il aura la



*image 1*



*image 2*

*fig. 1: la partie de la fresque qui se trouve sur les 2 images permet d'estimer le déplacement entre les images*

valeur -100, s'il est gris il sera égal à 0, et ainsi de suite.

Dans l'exemple des deux images ci-dessus, le mouvement peut être représenté par une translation. Supposons que cette translation soit connue. Pour vérifier son exactitude, on bouge l'image 1 sur l'image 2, et fait une comparaison point par point : on soustrait les éléments des deux matrices correspondant aux images. Idéalement, on devrait obtenir zéro à chaque soustraction. En pratique, à cause des perturbations introduites par le dispositif d'acquisition (film, développement, scanner, etc.) leur différence n'est pas nulle (voir fig. 2).

On introduit alors un critère – appelé *fonction objective* – qui nous permet de déterminer si l'hypothèse de mouvement est satisfaisante. S'il n'y a pas d'objets qui se sont déplacés dans les images, on choisira généralement la moyenne du carré de la différence de chaque point des images. Bref, pour savoir si on a déplacé les images correctement, on choisit de les déplacer un peu différemment, et la fonction objective devrait augmenter. Le problème se résume ainsi à trouver le déplacement qui donnera le minimum de la fonction objective.

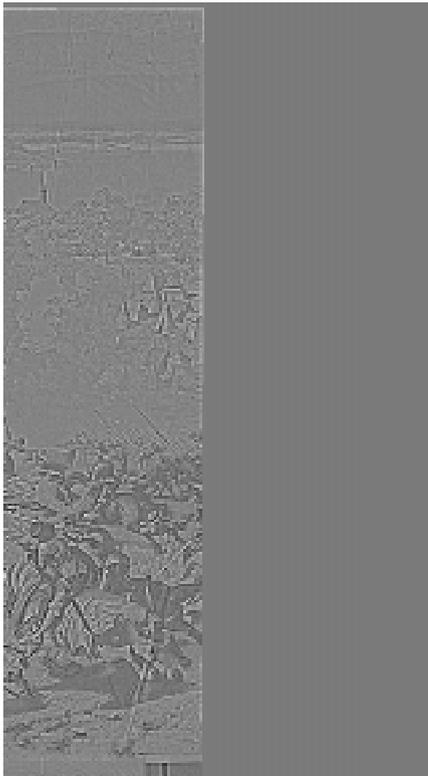
Que faire maintenant si on ne connaît pas le déplacement *a priori*? Eh bien on va tout simplement supposer qu'on le

connaît à peu près. Puis, on va le modifier légèrement afin de faire décroître la fonction objective et ainsi de suite jusqu'à l'obtention du mouvement correct.

Le problème peut être vu d'une manière totalement différente :

Oublions un instant ce qui a été écrit jusqu'à présent et supposons que nous sommes à la montagne. Supposons également que le but de la journée soit de trouver le point le plus bas du massif montagneux. Pas de chance, il fait un temps maussade et le brouillard ne permet pas de voir à plus de 2 mètres. Une stratégie possible pour atteindre un point de basse altitude consiste à suivre la pente vers le bas. Malheureusement, on procédant ainsi, le risque est de se retrouver au fond d'une vallée d'altitude.

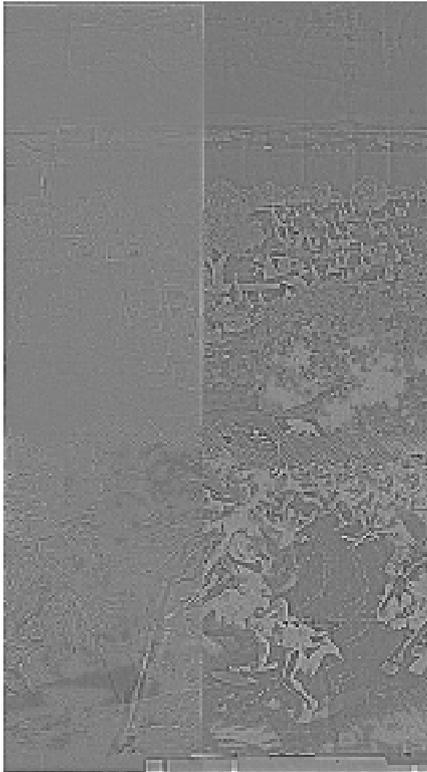
Pour en revenir au problème des photos, on peut considérer la fonction objective comme étant l'altitude du massif montagneux. Notre position (longitude, latitude) représente le déplacement (translation verticale, translation horizontale) nécessaire à superposer l'image 2 sur l'image 1. Le problème qui consiste à trouver le minimum de la fonction objective est similaire à celui qui trouve l'endroit le plus bas du massif montagneux. La méthode qui consiste à suivre la pente est une



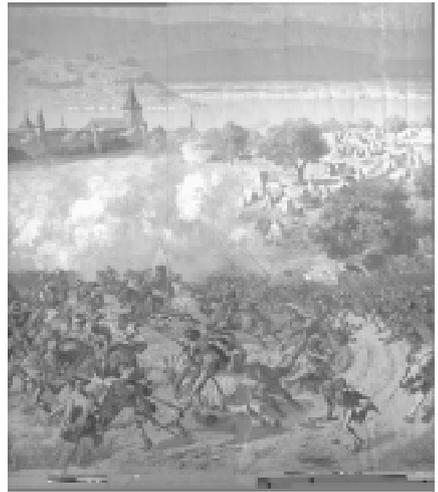
*fig. 2a: image 1 de la figure 1 à laquelle on a appliqué un mouvement et un filtrage*



*fig. 2b: image 2 de la fig. 1, filtrée*



*fig. 2c: différence des images (a) et (b). On constate que la différence dans la zone de recouvrement n'est pas tout à fait nulle (i.e grise et uniforme). Ce phénomène est dû au bruit d'acquisition*



*fig 2d: résultat de l'estimation*

approche adoptée par les algorithmes dits de *descente de gradient*. Ces méthodes souffrent du risque d'aboutir dans un minimum local ou, de façon analogue, dans le fond d'une vallée d'altitude. Pour que cette méthode fonctionne, il faut soit partir d'un bon endroit, c'est-à-dire disposer d'une assez bonne estimation de départ du mouvement, soit supprimer les minimums locaux, ce qui reviendrait à lisser le terrain pour ne plus rester coincé au fond des vallées. Cette dernière technique est utilisée

par les méthodes multi-résolution, c.à.d. des méthodes qui estiment d'abord le mouvement sur une version floue de l'image et contenant moins de pixels que l'originale, pour ensuite disposer d'un meilleur point de départ pour l'estimation de l'image finale.

## LES DIFFÉRENTS MODÈLES DE MOUVEMENT

Pour savoir comment *glisser l'image 2 sur l'image 1*, il faut disposer d'un modèle de mouvement.

Le plus simple est le modèle bi-dimensionnel. On ne fait que reproduire l'action de recoller les images avec des ciseaux et de la colle. En réalité, ce modèle suppose que les images proviennent de la photographie d'un grand poster collé sur un mur plat, et que l'appareil photo s'est déplacé parallèlement à ce mur. Ce modèle est surtout approprié pour reconstruire une grande image numérisée avec un petit scanner en plusieurs fois.

Le modèle le plus courant est le modèle rotationnel. On suppose que le photographe prend ses photos en tournant l'appareil, mais ne se déplace pas. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, une

rotation de l'appareil n'occasionne pas une simple translation au niveau de l'image (voir fig. 3).

On introduit souvent les changements de focale (zooms) dans les modèles ci-dessus.

Le modèle le plus général est le déplacement libre dans l'espace. La grande difficulté liée à ce modèle est l'apparition du phénomène de parallaxe: si un objet est près du photographe, il se déplacera plus rapidement dans son champ de vision qu'un objet éloigné. Ce phénomène occasionne des difficultés majeures lors de la reconstruction de l'image finale, et fera l'objet de recherches plus approfondies.

## LES DIFFICULTÉS

Le procédé qui consiste à construire un panorama constitué d'objets se trouvant loin du photographe avec un appareil de bonne qualité dont on connaît les caractéristiques ne pose pas de problèmes majeurs, si ce n'est pour égaliser les couleurs entre les différentes photos. Par contre, dès qu'il faut estimer une longueur focale, corriger les aberrations de l'optique de l'objectif, ou lors d'apparition d'objets mobiles dans la scène, le problème d'esti-



*fig 3a: modèle translationnel appliqué à une rotation*



*fig. 3b: modèle projectif appliqué à une rotation. Les images sont superposées en transparence. On constate que le modèle translationnel est peu adapté pour restituer une image prise en effectuant une rotation avec l'appareil photo. Sur cette image on peut apercevoir le phénomène de parallaxe: la lampe qui se trouve en bas de l'image apparaît double.*

mation se complique considérablement. Ces problèmes peuvent être classés en deux catégories: ceux qui ont trait aux caractéristiques de l'appareil photo, et ceux qui concernent la scène photographiée.

## ESTIMATION DES PARAMÈTRES DE L'APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE

Lors d'une rotation de l'appareil, il est important de connaître la longueur focale

de l'objectif. Sur la fig. 4a, on peut voir une image recollée sans estimation de longueur focale, celle-ci étant supposée être égale à 90mm. Sur la fig. 4b, la même image avec estimation de la longueur focale, dont le résultat a donné 70mm. On constate une certaine amélioration sur la fig. 4b: la discontinuité de la trace de l'avion dans le ciel a disparu.



*fig. 4a*



*fig. 4b*

## INFLUENCE DE LA SCÈNE PHOTOGRAPHIÉE

Dès qu'un objet a bougé entre la prise des différentes images, les méthodes d'es-

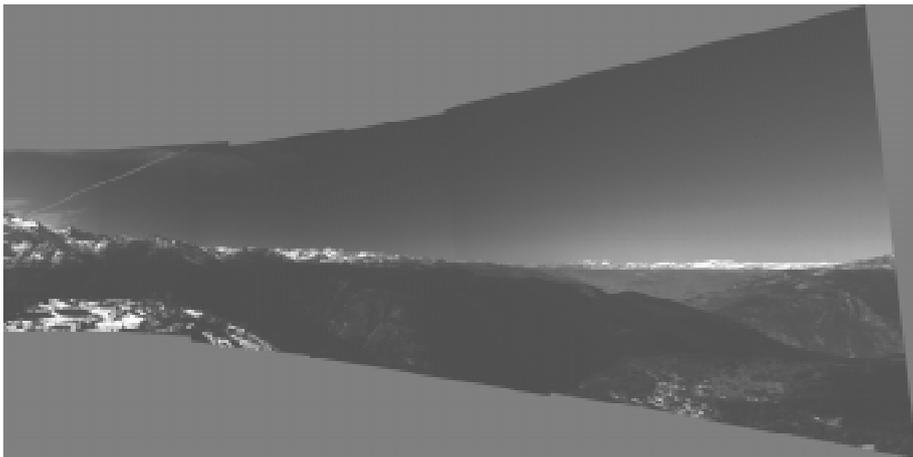
timisation utilisant le critère des moindres carrés ne donnent plus satisfaction. En effet, ce dernier critère est approprié lors de perturbations de type gaussiennes (c.à.d. causées par une multitude d'événements



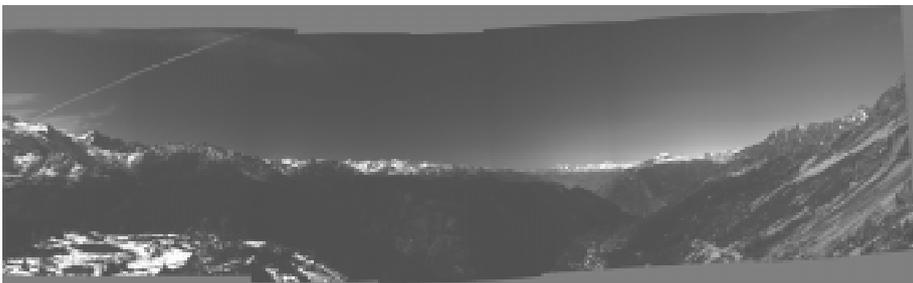
*fig. 5a: illustration de la sensibilité de la méthode aux objets mobiles- Estimation des moindres carrés. On voit le même skieur à deux instants différents. La méthode n'a pas réussi à aligner la porte correctement.*



*fig. 5b: estimation robuste. La porte n'apparaît plus double.*



*fig. 6a: projection d'un paysage sur un plan*



*fig. 6b: projection du même paysage sur un cylindre*

indépendants et de même nature), alors qu'un objet mobile n'entre pas dans cette catégorie. Pour estimer le mouvement dominant dans l'image, il faut alors utiliser un estimateur robuste, par exemple un estimateur moindre médian (la fonction objective est alors la médiane du carré de l'erreur entre les pixels). La fig. 5 compare le résultat d'une estimation robuste avec une estimation des moindres carrés.

## REPRÉSENTATION DU RÉSULTAT

Lorsque tous les paramètres de mouvement ont été identifiés, l'image finale peut être synthétisée sous plusieurs formes. Dans le cadre d'un panorama, on aura tendance à projeter les images sur un cylindre (ou une sphère). Si on veut simuler un appareil à très grand angle, on aura tendance à faire une projection sur un plan (c.f. fig 6). L'avantage de ce dernier est qu'il conserve les lignes droites. La représentation finale peut également être conservée dans l'ordinateur pour être visualisée en réalité virtuelle.

## APPLICATIONS

La plus évidente des applications est la photographie de panoramas. Une autre



*fig. 7: scène reconstruite à partir d'une séquence vidéo. La double fleche montre la taille d'une image vidéo*

est la création de données destinées à être regardées à l'aide d'un visualiseur, dont l'application principale serait le tourisme. Les techniques présentées ici peuvent aussi être appliquées à la vidéo, comme l'illustre la fig. 7. Ce dernier exemple montre qu'il est tout à fait possible d'agrandir l'angle de vue de certaines séquences vidéo, ou de modifier leur cadrage. ■

# L'INSTITUT EUROPÉEN D'ÉTUDE, DE RECHERCHE ET D'APPLICATION DU PAYSAGE ALPIN (IDERALPE)



*Jacques Monnier-Raball & Michel Bécholey, IDERALPE, PSE-EPFL*



Né en 1992 à Lausanne, de l'initiative de ses actuels président et secrétaire général, soit Jacques Monnier-Raball et Michel Bécholey, l'Institut européen d'étude, de recherche et d'application du paysage alpin, IDERALPE, a pour finalité une meilleure intelligence des divers paramètres qui induisent notre perception d'un paysage, alpin en particulier, mais non exclusivement, et pour objectif premier la **conception, le développement et la mise au point d'un instrument informatique interactif d'aide à la décision.**

## DES PLANS-RELIEFS À LA RÉALITÉ VIRTUELLE

Si «la géographie, ça sert d'abord à faire la guerre» (Yves Lacoste, 1977), la carte topographique est devenue l'instrument privilégié des états-majors. Aujourd'hui encore, la cartographie reste

l'apanage, dans nombre de pays, des ministères des armées.

Or, s'agissant de cartographie, l'abstraction des signes conventionnels est le prix à payer pour la souplesse d'emploi du support de papier. Mais elle représente une obstacle à la compréhension d'une situation donnée, notamment pour le profane peu familier avec la lecture de documents topographiques plans. Aussi a-t-on



*Poste de St.-Pierre-de-Chartreuse (Isère) –  
Restitution des textures*

éprouvé le besoin, dans les milieux militaires, de rendre les plans plus éloquents et de leur restituer leur volumétrie, jusqu'à valoriser leur dimension tactile. Dès le XVII<sup>e</sup> siècle, la construction des fameux *plans-reliefs* (conservés à Paris, aux Invalides) n'a pas d'autre origine que la volonté d'illustrer, de la façon la plus concrète, soit sous la forme de grandes maquettes en trois dimensions, des sites urbains à défendre, à fortifier et à aménager en vue d'opérations de guerre, défensives et offensives. L'échelle même des dites maquettes – qui peut varier du 50<sup>e</sup> au 100<sup>e</sup> – leur interdisait de couvrir des régions entières. Leur valeur descriptive, tant au niveau du bâtiment, qu'à celui de la voirie, de la végétation et du terrain, était naturellement fonction d'une élévation suffisante, pour que l'on pût, sans inconvénient, préparer des affûts, concentrer et déplacer virtuellement des troupes, élever des redoutes, des saillants ou des redans... Il fallait suffisamment de détails pour que le cavalier, l'artilleur ou le fantassin aient une vision quasi immédiate du terrain, des obstacles et des matériaux qu'ils allaient rencontrer en cours de mouvements d'attaque ou de repli.

Aujourd'hui, l'infographie, c'est-à-dire l'image de synthèse et l'imagerie assistée par ordinateur, offre le moyen idoine pour

découvrir, connaître et parcourir des régions plus vastes, *de manière virtuelle*, de pénétrer des espaces et ce à plusieurs échelles, par le truchement de l'effet zoom. Mieux encore, l'interactivité qu'autorise l'ordinateur permet de modifier une situation initiale à vue, voire en temps réel. S'agissant d'un projet d'aménagement spatial, d'ingénierie civile, d'urbanisme ou d'architecture, l'observateur a le loisir de comparer plusieurs variantes de solutions à un problème donné, en examinant chaque proposition de plusieurs points de vue, de près et de loin, dans son ensemble et dans le détail, et même de pénétrer à l'intérieur du bâtiment A la différence des maquettes traditionnelles, faites de balsa, de bristol ou de sagex, et généralement monochromes, qui se contentent de montrer la construction dans ses alentours immédiats, de façon relativement abstraite, la maquette infographique permet au contraire une vue extensive du projet, dans son contexte paysager le plus large. En plus, grâce à la précision des relevés photogramétriques, photographiques et vidéographiques, comme au degré de résolution des images, l'accent peut être porté, pour un bâtiment par exemple, sur l'articulation des volumes, le traitement des façades, le choix des matériaux, l'expression des textures, qui

représentent autant de paramètres et d'arguments pour le choix d'un parti vraiment pertinent.

## UN RÉSEAU DE COMPÉTENCES

L'Institut européen d'étude, de recherche et d'application du paysage alpin (IDERALPE) est installé au Parc scientifique de l'EPFL depuis septembre 1996. Il est notamment partenaire de la Chaire des systèmes d'information à référence spatiale (SIRS, Prof. François Golay), de l'Institut de géomatique du DGR-EPFL, de l'Unité d'information géographique et d'aide à la décision territoriale IGADT (Prof. Pierre Dumolard), du Laboratoire de la montagne alpine (LAMA, CNRS), de l'Université scientifique Joseph Fourier de Grenoble, et de l'Institut de géographie de la Faculté des lettres de l'Université de Lausanne (Prof. Laurent Bridel). Il collabore également avec le Laboratoire d'informaticque théorique du DI-EPFL (Prof. Giovanni Coray), ainsi qu'avec l'Institut de géobotanique et de botanique systématique (Prof. Pierre Hainard), de la Faculté des sciences de l'UNIL.

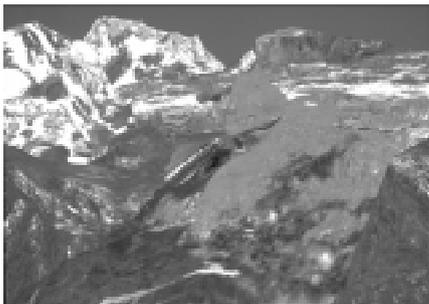
Enfin, IDERALPE élargit son réseau de relations de travail à divers indépendants, spécialistes de tel ou tel domaine,

dont les compétences sont requises en fonction des programmes d'étude et de recherche.

IDERALPE a mis au point un logiciel intégré à sa station ONYX Reality Engine 2, le logiciel IDEVISU. IDEVISU permet d'obtenir des effets de zoom et donc de passer d'une échelle de figuration à une autre sans solution de continuité.

## L'AIDE À LA DÉCISION

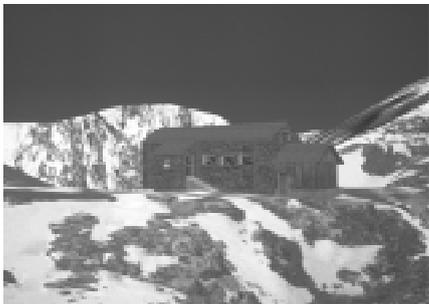
L'instrument informatique interactif d'aide à la décision que conçoit et développe IDERALPE s'adresse d'abord à des collectivités publiques et privées, qui sont parties prenantes dans des projets impliquant l'aménagement d'un territoire. Dans une société comme la nôtre, où la préparation des décisions relève généralement de commissions *ad hoc*, souvent constituées de tous milieux, profanes pour la plupart en matière de lecture de plans et de cartes géographiques, la présentation de projets sous la forme de maquettes infographiques est accessible à tous. Autrement dit, les intéressés consultés peuvent prendre leur décision, ou donner leur préavis, en parfaite connaissance de cause des résultats prévisibles, probables ou escomptés. *L'instrument informatique interactif d'aide à la*



*Massif des Diablerets*



*Projet de «métro» des Diablerets: Viaduc*



*Cabane des Diablerets*



*Projet de la station terminale du «métro»  
d'accès au glacier des Diablerets*

*décision* ne concerne donc pas que les promoteurs, publics ou privés, appelés à juger d'un projet restreint, n'entraînant que des conséquences localisées et à court terme. A la veille de transformations de plus en plus sensibles de notre environnement naturel, transformations consécutives à

celles, prochaines, de notre économie rurale, il importe de disposer d'un outil performant, apte à montrer, de manière prospective, l'évolution possible, probable ou souhaitable du paysage, par la mise en œuvre simulée de différents scénarios. ■

# TECHNIQUES 3D POUR LE BUREAU D'INGÉNIEURS

*Mauro Pedretti, Bureau d'ingénieurs Passera & Pedretti SA, e-mail:apedretti@ppeng.ch*

Le secteur informatique a toujours constitué pour le bureau d'ingénieurs Passera & Pedretti SA un point fort. Pour rester en harmonie avec l'évolution rapide du marché, ces moyens techniques ont été constamment augmentés.

Dès sa fondation, l'entreprise s'est dotée d'appareils spécifiques dans les domaines de la conception assistée par ordi-

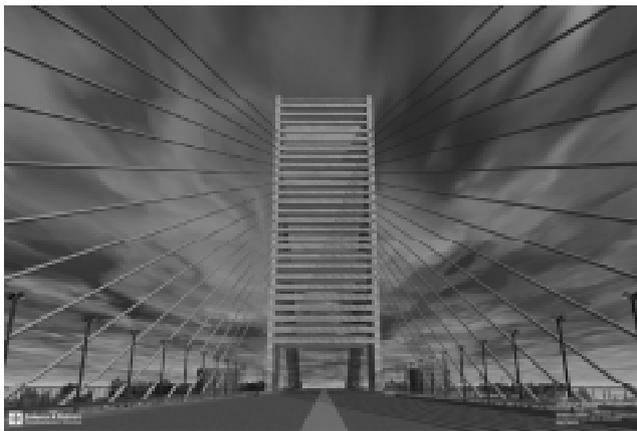
nateur et de l'imprimerie pour garantir à ses clients un service d'avant-garde et de grande précision.

Le graphique 2D a été soumis à des développements successifs, visant à améliorer le niveau qualitatif du produit fini.

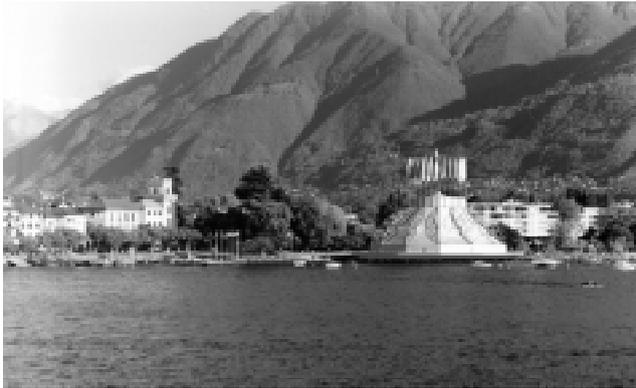
En particulier l'introduction de la couleur et l'augmentation de la précision technique ont facilité l'interprétation de plans



*Gare CFF de Bâle*



*Concours Nibelungstrucke*



*Tente 700ème Ascona*



*Station d'essence*



*Théâtre Kunsaal Lugano*



*Patinoire de Saas-Grund*

spécialement complexes en permettant de réaliser des documents de haute qualité et de compréhension aisée.

En 1995, l'accroissement de la complexité des structures nous a forcé à dessiner nos projets en trois dimensions ; en effet, le bi-dimensionnel, malgré les améliorations continues, n'était pas assez parlant.

Cette technologie révolutionnaire permettait avant tout d'obtenir une simplification efficace du dessin tout en facilitant la visualisation du projet.

En effet, cette technique garantit la possibilité de positionner l'œuvre virtuellement dans le paysage, en simplifiant l'étude de l'impact visuel. Cette nouvelle méthode nous a permis d'obtenir une série de succès, notamment dans de nombreux concours importants dans notre secteur, nous encourageant à poursuivre dans cette direction.

Dans notre domaine on utilise des techniques semblables à celles du cinéma (Terminator 2, Jurassic Park, Toy Story, ...) mais moins complexes afin de réduire les temps de travail et les coûts de production (temps de calcul). Une des méthodes la plus utilisée est celle de l'image de synthèse, où tous les composants de l'image sont intégralement rendus par l'ordinateur sans apport de photo extérieure ou image

existante ; en opposition à celle du photomontage ou sur une photo déjà prise, est superposé un objet de synthèse.

Ces deux techniques sont actuellement les plus utilisées dans nos bureaux car elles permettent de réaliser un produit qualitativement élevé sans dépenser trop de ressources informatiques et humaines.

Pour les œuvres particulièrement importantes ou juste pour la publicité on est à même de réaliser aussi des animations : l'ordinateur doit calculer 25 images par seconde où le point de vue est légèrement modifié ; après, on les visualise en séries successives rapides, en obtenant, de cette façon, l'effet du mouvement. Cette technique est la même que celle utilisée dans les productions cinématographiques mais le coût en temps nous force à en faire une utilisation parcimonieuse.

Comme le secteur informatique est en rapide évolution, on doit toujours être attentifs aux nouveautés du marché et rechercher constamment à améliorer nos connaissances pour réaliser des produits innovateurs. ■

# LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU CLIMAT

## UN OUTIL EN PLEINE ÉVOLUTION

*Hervé Le Treut, Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS,  
Université Pierre et Marie Curie, Paris, e-mail: letreut@lmd.ens.fr*

L'étude de notre environnement planétaire, au cours des dernières décennies, a été tributaire de développements technologiques nouveaux. L'observation satellitaire a constitué un premier outil qui a entièrement modifié la perception du monde qui nous entoure. Mais la météorologie, l'océanographie, la climatologie ont aussi été marquées par l'apparition d'un outil de compréhension, d'analyse, dans certains cas de prévision, entièrement nouveau : la modélisation numérique. C'est la disponibilité d'une puissance de calcul sans précédent qui a permis cette émergence rapide. L'idée de modéliser l'écoulement atmosphérique à partir des équations de la mécanique des fluides, elle, est déjà ancienne. Elle date au moins de 1922, quand le physicien anglais L. Richardson imaginait un système -resté à l'état de projet- où plusieurs milliers d'opérateurs humains, rassemblés dans un immense amphithéâtre, coopéraient à la réalisation

d'une prévision du temps, sous la conduite d'un chef d'orchestre. Les modèles numériques ont donc bénéficié dès le début de concepts scientifiques déjà établis, et dès les années 50, l'ENIAC, premier ordinateur installé au MIT sous la direction de von Neumann, était utilisé par J. Charney et ses collègues pour des applications météorologiques. Dans les années 60, de vrais modèles globaux de la circulation générale de l'atmosphère étaient développés par Y. Mintz et A. Arakawa à UCLA, par J. Smagorinski et S. Manabe à Princeton.

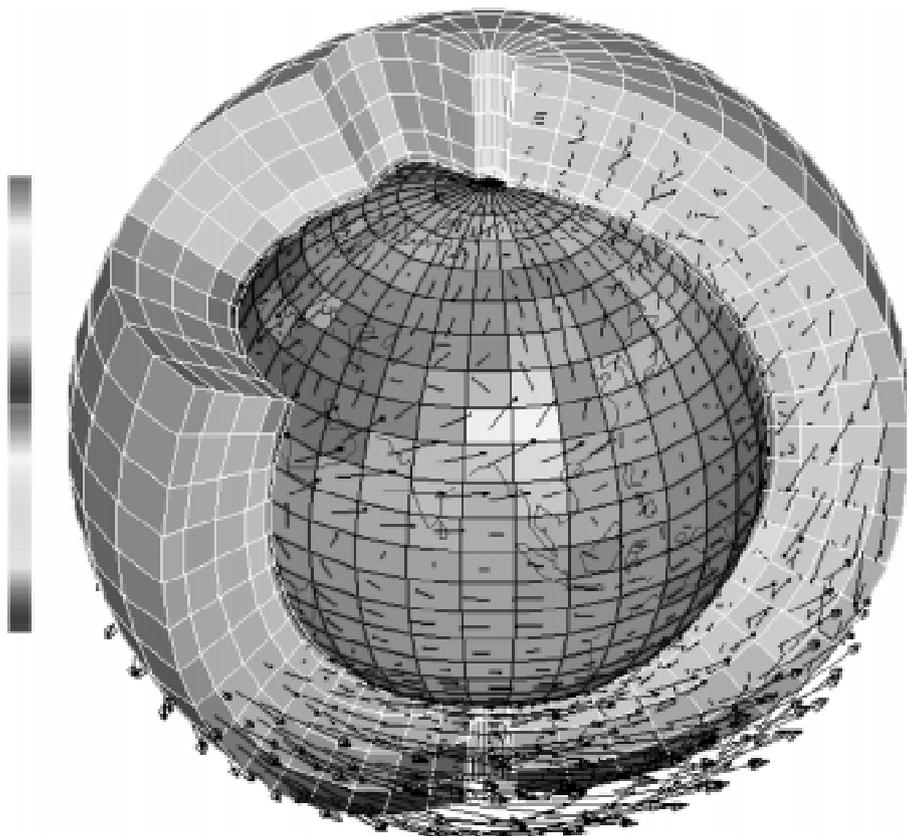
Le développement de ces modèles numériques, toutefois, n'a pas été immédiat : il s'est heurté à de nombreux problèmes qui ont occupé et occupent encore une communauté scientifique nombreuse. Pour donner une idée du travail accompli, il faut rentrer un peu dans le détail. Les modèles numériques d'atmosphère et d'océan ont d'abord été créés pour simuler les régimes de vent ou de courant à

l'échelle du globe, que l'on appelle encore circulation générale de l'atmosphère ou de l'océan. Pour cela ils utilisent les équations très classiques de la mécanique des fluides. La composante atmosphérique, par exemple, calcule ainsi aux nœuds d'un maillage qui couvre la planète avec une résolution de quelques centaines de kilomètres, l'évolution, toutes les demi-heures environ, de paramètres tels que le vent, la température, l'humidité, l'eau nuageuse, les précipitations, ou l'eau du sol. Pour l'océan la maille d'espace retenue est souvent plus petite que pour l'atmosphère, mais l'évolution est généralement calculée de jour en jour. La résolution des équations pose des problèmes difficiles en grande partie parce que cette échelle spatiale du maillage est trop lâche pour retenir tous les processus qui ont une importance significative et un grand nombre d'entre eux doivent être représentés de manière simplifiée, ou paramétrée. C'est le cas des écoulements convectifs responsables de la formation des cumulonimbus, qui ont une taille de quelques kilomètres, des rouleaux turbulents de quelques centaines de mètres qui se forment dans les basses couches de l'atmosphère et sont à l'origine de nuages tels que les strato-cumululus, des zones de formation d'eau profonde dans l'océan, des processus micro-

physiques de formation des nuages, de l'interaction avec la surface continentale pour ne prendre que quelques exemples. Les simplifications nécessaires pour représenter ces processus dans les modèles climatiques constituent à la fois une faiblesse des modèles, et l'aliment d'une recherche active et multidisciplinaire, comme nous le verrons plus loin.

Outre les équations du mouvement, les échanges d'énergie, en particulier sous forme de rayonnement électromagnétique, entre la terre, l'océan, l'atmosphère et l'espace, sont calculés de manière explicite par les modèles. Il s'agit de décrire comment l'énergie reçue du soleil, est compensée par une énergie terrestre, émise dans le domaine infrarouge par la surface des océans ou des continents, les nuages, ou les gaz absorbants de l'atmosphère. L'étude du transfert radiatif dans l'atmosphère constitue aussi un problème physique étudié depuis longtemps, mais où subsistent encore de nombreux processus mal compris – par exemple l'absorption de la lumière solaire dans des nuages aux géométries complexes.

Le développement des modèles se poursuit donc. Mais leur niveau de réalisme en fait déjà des outils performants qui sont devenus indispensables pour des tâches mul-



*Représentation schématique d'un modèle de circulation générale atmosphérique*

tiples: prévision du temps à des échéances qui atteignent désormais plusieurs jours, compréhension fine des différents régimes de circulation atmosphérique, sensibilité de ces circulations à des fluctuations climatiques naturelles ou provoquées par la pollution d'origine humaine. Au cours des dernières années l'augmentation des ressources en temps de calcul a permis de modifier radicalement le type de problèmes abordables par la simulation numérique. Pour situer par un chiffre les progrès accomplis en matière de calcul au cours des dernières années, mon laboratoire, le Laboratoire de Météorologie Dynamique du CNRS, utilisait encore en 1982 un CYBER 760 du CNES, pour lequel une simulation d'un mois d'évolution de la circulation atmosphérique réclamait plus de 30 heures de calcul. A résolution égale, la même simulation réclame aujourd'hui environ 15 minutes de temps de calcul sur un processeur de Cray 90, probablement 8 fois moins sur les processeurs qui deviendront disponibles l'année prochaine.

Cette différence est considérable et ouvre des domaines de recherches entièrement nouveaux. En particulier il devient possible d'étudier des processus se développant sur une durée de plusieurs années, et pour lesquels les modèles atmosphé-

riques et océaniques sont *couplés* pour ne constituer qu'un seul modèle intégré de notre environnement physique. La prise en compte de la dynamique de l'océan modifié complètement l'échéance des prévisions climatiques. Au bout de quelques jours, en effet, l'écoulement atmosphérique devient chaotique et oublie ses conditions initiales: il devient alors impossible de réaliser des prédictions météorologiques précises. Mais l'évolution de l'atmosphère reste guidée par des processus plus lents qui, eux, sont prévisibles. Et c'est le cas en particulier de la circulation océanique. Dans les Tropiques le phénomène appelé El-Niño-Southern-Oscillation offre l'exemple d'une fluctuation climatique naturelle associant étroitement l'atmosphère et l'océan, qui se répète de manière irrégulière toutes les quelques années, avec des modifications importantes des régimes climatiques locaux. Des études récentes montrent aussi qu'une variabilité plus lente encore de l'océan ou du système couplé océan/atmosphère, à l'échelle de la dizaine d'années, se manifeste dans l'Atlantique ou le Pacifique Nord.

Ces fluctuations naturelles du système climatique sont au moins partiellement prévisibles, et constituent une première motivation forte pour le développement

des modèles couplés océan-atmosphère. Une autre motivation très forte est liée aux risques de plus en plus clairs que l'activité humaine puisse modifier irréversiblement cette variabilité climatique naturelle. La modification de la composition chimique de l'atmosphère, avec l'augmentation des gaz à effet de serre, ou celle des aérosols, pose un problème à l'échelle d'un ou plusieurs siècles : pour essayer de comprendre ce qui peut se passer, il faut pouvoir analyser ce qui s'est produit au cours du vingtième siècle, qui a vu l'apparition de ces formes de pollutions nouvelles, et l'extrapoler aux siècles futurs.

La modélisation offre un outil irremplaçable pour étudier ces problèmes et la prévision d'un réchauffement de 1.5 à 4.5 degrés Celsius associée à un doublement du gaz carbonique atmosphérique a constitué l'une des bases scientifiques sur lesquelles se sont appuyées les conférences de Rio ou de Kyoto pour réaliser des prévisions climatiques. Le problème que posent ces simulations est celui de leur crédibilité, ou, pour le dire d'une autre manière, le problème des incertitudes qui y sont associées. Face à des monstres informatiques dont la conception reste récente, un certain scepticisme peut être de rigueur. Il y a là un débat qui est légitime et qui est par-

fois difficile à bien comprendre.

D'une part les modèles constituent notre seul outil cohérent d'analyse des processus environnementaux. Leurs prédictions se font dans le respect de contraintes physiques fortes (conservation de l'énergie, de l'eau, de la quantité de mouvement) et elles concentrent une expertise considérable. En outre, la quinzaine de modèles développés de manière indépendante sur la planète donne une réponse qualitativement convergente au problème de l'effet de serre – aucun ne prévoit que le système climatique va demeurer insensible à cette augmentation, et tous manifestent une sensibilité plus grande des régions polaires en terme de température, et une sensibilité plus grande des régions tropicales au niveau hydrique.

Mais par ailleurs, des facteurs d'incertitudes subsistent. On peut peut-être distinguer trois grandes familles de problèmes. La première source d'erreur est relative à toutes les simplifications qui sont nécessaires dans la construction des modèles eux-mêmes, et que nous avons évoquées plus haut. La deuxième est intrinsèque au système climatique lui-même, qui n'est tout simplement pas un système entièrement prévisible. C'est l'effet bien connu sous le nom d' *effet des ailes de papillon*, qui

exprime que tout battement d'ailes, aussi minime soit-il, modifie irréversiblement l'histoire de l'atmosphère. Il en résulte que toute prévision climatique est une prévision statistique. La nature profondément aléatoire de ces processus n'est pas toujours bien admise : chaque année les interrogations sur le *pourquoi* d'un hiver particulièrement froid reviennent à la une des journaux. Malgré tout, nous nous sommes habitués à l'idée que deux hivers successifs ne sont pas identiques mais qu'un hiver est en moyenne plutôt plus froid qu'un été, et c'est ce type de raisonnement qui doit être transposé dans le domaine climatique : l'effet de serre va guider lentement l'évolution du climat, mais il va se superposer une variabilité naturelle qui rend le système partiellement imprévisible. Un troisième facteur vient limiter la portée pratique des modèles : c'est qu'en dépit des progrès affichés dans ce domaine, ce sont encore le plus souvent des modèles physiques, qui négligent les composantes biologiques ou chimiques du système, dont le rôle essentiel apparaît pourtant de plus en plus clairement. Au cours des dernières années les aérosols soufrés ont ainsi été reconnus comme l'un des facteurs importants susceptibles de masquer, dans l'hémisphère Nord tout au moins, les premières mani-

festations initiales de l'effet de serre. Cette intégration de toutes les composantes chimiques, biochimiques ou physiques du système climatique constitue l'un des grands chantiers ouverts dans le domaine de la modélisation.

L'accumulation de ces facteurs d'incertitude rend sans doute illusoire, pour le moment, la prédiction détaillée d'une évolution du climat futur. On peut même dire, en grossissant un peu le trait, que plus la recherche progresse, plus l'énorme complexité des processus qui participent à l'évolution de notre environnement global apparaît de manière évidente, et plus reculent ainsi les possibilités de prévoir en détail l'évolution future du climat.

En conclusion, si le système climatique n'est pas nécessairement prévisible dans le détail, l'ensemble convergeant des résultats obtenus reste un facteur fort, qui explique que la communauté scientifique ait ressenti le devoir d'alerter l'opinion sur les risques climatiques liés à une modification de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre. Mais cette exploitation des modèles doit se faire en réalisant qu'elle transmet une expertise sophistiquée sur un problème complexe, plutôt qu'une prédiction précise de ce qui peut se passer. ■



# HAEDB



## BASE DE DONNÉES DE

## L'AÉROTHERMODYNAMIQUE HYPERSONIQUE

*Silvio Merazzi, SMR S.A., Biemme, CH, merazzi@smr.ch, Richard Schwane, ESTEC/ESA, Noordwijk, NL, schwane@euler.jsc.nasa.gov & Jan Vos EPFL-DGM-LMF, jan.vos@epfl.ch*

### INTRODUCTION

Dans cet article, nous décrivons le concept et les fonctionnalités du système de base de données HAEDB (Hypersonic Aerothermodynamic Engineering Database - base de données de l'aérodynamique hypersonique) qui vient d'être installé à ESTEC (*European Space Research & Technology Center*) et qui est à présent accessible à la communauté européenne de l'aéronautique spatiale. Tout d'abord, nous décrivons les raisons qui ont conduit aux principes et à l'implémentation de HAEDB. Ensuite, nous décrivons le concept de la base de données qui est issu des fonctionnalités demandées et des limitations techniques, par exemple pour les taux de transfert de données. A la fin de l'article, nous rentrerons plus en détail sur les outils utilisés, ceux qui touchent à la sécu-

rité et la localisation des données, ceux qui touchent aux fonctions de compression des données, et ceux qui concernent la présentation graphique des résultats.

### LE CONTEXTE DU PROJET

Durant le programme de construction de la navette spatiale européenne HERMES et les programmes technologiques qui ont suivi, un très grand nombre de données aérodynamiques ont été récoltées, provenant de la conception aérodynamique du véhicule et de la détermination des points critiques sur les différentes variantes des formes du véhicule ou sur les formes dites génériques. En général, les formats de données utilisés par les différents collaborateurs européens au programme HERMES sont tout aussi divers que leurs méthodes de travail ou les

modèles qu'ils utilisent. La conséquence est qu'il est très difficile de comparer deux jeux de résultats expérimentaux ou numériques sans un pré-traitement important.

Par conséquent, un des efforts du programme de la conservation de la technologie MSTP (Manned Space Transportation Programme), était de se concentrer sur l'harmonisation des formats et la synthèse des données brutes afin que l'information soit accessible à la communauté d'utilisateurs non directement impliqués dans les travaux techniques d'HERMES.

En considérant que les rapports de synthèse écrits par des experts, en général les personnes qui ont effectué le travail technique, sont très utiles, car ils permettent à une personne qui n'est pas forcément directement impliquée dans le projet d'utiliser les résultats d'une expérience et/ou d'un calcul CFD qui s'est déroulé pendant le programme, le risque existe d'une méconnaissance des hypothèses de départ ou du fait que certains résultats ont été invalidés par la suite. Dans ce cas, la synthèse devrait être refaite, ce qui souvent dans la pratique n'est pas possible, car les experts ont entre temps changé de projet. Nous sommes donc dans la situation où le travail technique devient rapidement obsolète et où les résultats même produits peu

d'années auparavant ne sont plus utilisés, malgré le fait qu'une grande quantité de ces résultats peut être encore de valeur.

L'utilisation d'un système de base de données peut aider à résoudre ce problème. A la place d'un processus de sélection basé sur les besoins du moment et en écartant les données brutes, toutes les données sont à présent conservées et préservées.

Les documents de synthèse sont toujours disponibles chez les experts, mais ils ne sont plus la seule source de données. Les données brutes sous forme d'enregistrements expérimentaux ou de résultats tridimensionnels de simulation sont aussi stockées avec un jeu d'outils de post-traitement, qui permettent de générer de façon semi-automatique les courbes de synthèse, par exemple des coupes planes à travers des champs 3D aux positions des instruments de mesures expérimentaux. Dans ce cas, en se basant sur les données brutes toujours disponibles et sur la génération automatisée des données de synthèse, la connaissance de nouvelles incertitudes ou de données brutes mises à jour permet de générer des nouveaux documents de synthèse basés sur de nouveaux critères de sélection de données.

Le système HAEDB a été développé pour l'ESA (*European Space Agency*) par un

consortium suisse composé de l'EPFL, l'Entreprise Suisse d'Aéronautique et de Systèmes à Emmen, et SMR.

## LES CONCEPTS

Le concept de cette base de données se déduit des objectifs qui ont été décrits dans le paragraphe précédent. De plus, on a dû tenir compte de certaines limitations et contraintes, par exemple la disponibilité du personnel pour maintenir la base de données ou les taux de transfert des données à travers le réseau. Afin d'offrir aux utilisateurs d'HAEDB un maximum d'informations utiles, des temps de réponse rapides et un minimum de données rendues obsolètes par le fait que les papiers de synthèse ne sont pas immédiatement mis à jour avec les nouveaux résultats, la structure suivante a été choisie, basée sur deux catégories de stockage différentes :

- les données brutes (par exemple en provenance de calculs CFD ou de campagnes expérimentales) sont stockées sur des cartouches et peuvent être copiées sur disque à la demande d'un utilisateur ou dans le but d'un post-traitement ;
- les données qui sont immédiatement accessibles aux utilisateurs d'HAEDB sont

stockées sur disque. Ce sont des données résultant de post-traitement, par exemple coupes ou surfaces à partir d'un calcul CFD tridimensionnel, des fichiers *postscript* contenant des textes de synthèse – ceux des *chairmen* des groupes de travail tests – et des données expérimentales dans un format graphique ou/et texte.

Les données de synthèse qui sont créées à la demande d'un utilisateur sont en général gardées sur disque jusqu'à ce qu'elles soient invalidées par de nouvelles données brutes. La quantité de données directement accessibles sur le *net* va donc augmenter, et l'intervention humaine décroître avec le temps.

Les utilisateurs peuvent se connecter à HAEDB à travers le Web. Une interface par menus successifs guide l'internaute jusqu'à l'information désirée. Si celle-ci n'est pas encore disponible, parce que personne n'a encore demandé le post-traitement de ce jeu de données brutes, l'utilisateur est invité à envoyer un e-mail au manager de la base de données, qui initiera le post-traitement nécessaire à l'obtention de l'information demandée. Toutes les fonctionnalités sont accessibles à travers une interface Web ou par le biais d'une interface utilisateur locale (écrite en

tcl/tk) en tenant compte du degré de privilèges d'accès (voir fig.1) :

### ACCÈS DE NIVEAU 1

réserve aux personnes qui maintiennent la base de données. Elles ont plein pouvoir pour créer, mettre à jour la base. Les manipulations de données sont accessibles graphiquement en interactif. L'accès au serveur à ce niveau n'est possible qu'à travers une connexion locale au serveur.

### ACCÈS DE NIVEAU 2

cet accès offre des possibilités limitées à un client distant. Les sorties graphiques sont limitées à des *bitmaps* fournis par l'interface Web et les courbes sont générées par le système de traitement de données distant, c'est-à-dire le serveur. L'information est affichée sous format *bitmap* ou *postscript*. Cela peut être, par exemple, la

préparation en *batch* d'un graphique, suivi par une copie ou un affichage sur le poste de travail du client.

### ACCÈS DE NIVEAU 3

C'est l'accès public par le Web. Les requêtes peuvent être faites en consultant les tables autorisés à ce niveau, c'est-à-dire les résultats de synthèse, à travers l'interface Web. Les sorties graphiques sont limitées à des *bitmaps* prédéfinis.

Les comptes utilisateurs des niveaux 1 et 2 sont protégés par mots de passe afin d'assurer que seuls les utilisateurs autorisés peuvent travailler sur les données. Ceci garantit aussi les droits de propriété des différents contributeurs à la base de données.

Dans certains cas exceptionnels, les données brutes qui ne peuvent être envoyées par le réseau à cause de taux de transfert

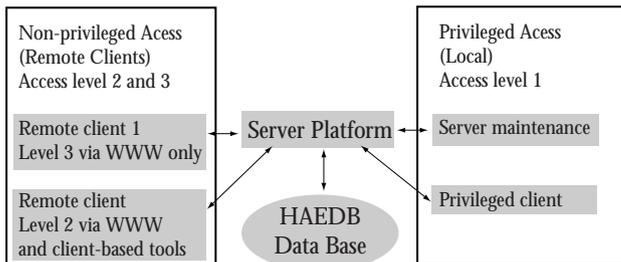


fig 1: Schéma de principe pour l'accès à la base de données

insuffisants peuvent être demandées au manager HAED par e-mail. Dans ce cas les données seront envoyées sur cartouche.

## LES OUTILS

Nous avons développé des outils de travail dans le cadre du projet HAEDB. Certains, comme ceux de la boîte à outils du gestionnaire de la base de données ou les outils de conversion et traitement des données sont destinés au gestionnaire HAEDB pour lui permettre de modifier des données ou d'en introduire de nouvelles. D'autres, comme l'outil de recherche de données et ceux d'extraction sont destinés aux clients. Une description plus détaillée de certains outils est donnée plus loin.

### *LE MOTEUR DE RECHERCHE DE DONNÉES*

L'utilisateur qui veut travailler avec les données afin par exemple de valider ses propres calculs avec des résultats précédents déjà stockés dans HAEDB, doit au préalable faire une extraction de données. Dans ce but, nous avons implémenté un système de mots-clés. Les données peuvent être localisées en spécifiant des mots-clés, par exemple la vitesse du véhicule. Le sys-

tème fournira en plus, des données en liaison avec celles demandées et avec lesquelles il peut être utile de travailler. Un exemple de requête et du résultat de la requête sont montrés sur la fig. 2.

Toutes les personnes qui contribuent à la base en envoyant des données peuvent utiliser une interface interactive qui demande des informations décrivant les données. Ces informations sont ensuite transformées en interne en mots-clés qui restent associés aux données tant que celles-ci résident dans la base, et qui sont utilisés par le moteur de recherche pour identifier les données.

### *LA BOÎTE A OUTILS DU GESTIONNAIRE*

Cette boîte à outils contient les fonctions nécessaires pour importer de nouveaux jeux de données, générer des documents de synthèse (voir fig. 3), indexer les données et maintenir la base. On y accède par une interface Web sur le réseau intranet.

### *LES OUTILS DE TRAITEMENT DES DONNÉES*

Ce sont les instruments pour créer, maintenir et interroger la base. En font partie les fonctions de manipulation et visualisation de données. Les outils de manipulation de données sont les outils de

### HAEDB: Search Form

Model:

Shape:

Contractor:

Main Contractor:

Contact Person:



### HAEDB: Search Results

4 documents found.

[workshops/estec96/halis/f4/epfl-1](#) →

Match Information: mach<sub>0</sub> = 9.8, shape = F4, m...

*Halis for S4 Windtunnel conditions*  
[workshops/estec96/halis/f4/epfl-2](#)

Match Information: mach<sub>0</sub> = 9.8, shape = F4, m...

*EPFL F4 second test*  
[workshops/estec96/halis/f4/epfl-3](#)

Match Information: mach<sub>0</sub> = 9.8, shape = F4, m...

*HALIS F4 computations made at EPFL*  
[workshops/estec96/halis/f4/epfl00](#)

### HAEDB: HALIS Experiments (EPFL)

Halis for S4 Windtunnel conditions

#### Synthesis Documents

Convergence history for variables RISEL2, CL, CD, C...

Some surface plot of Cp

Convergence History Plot

Convergence History Plot

#### Document Description

Origin

Contractor	Main Contractor	Contact Person
EPFL	-	-

Geometry Information

Model	Shape	
HALIS	F4	
Body Flap	Aero Brake Angle	Landing Gear Out
15	-	-
Right Aileron Angle	Left Aileron Angle	Right Winglet Angle
-	-	-
Reference Surface	Reference Length	Reference Origin

fig. 2: Exemple d'une requête à HAEDB et résultat de la requête

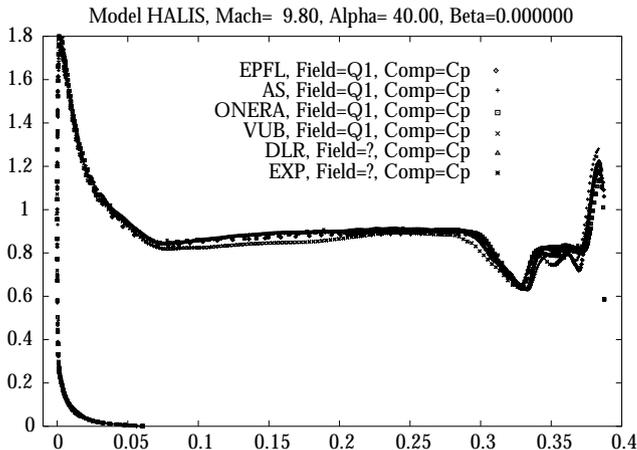
lecture de données et de conversion dans le format standard (fichier fortran) ainsi que les outils d'insertion, extraction, et mise à jour.

Dans les fonctions de visualisation, on retrouve des outils pour la représentation graphique des modèles de calculs en dynamique des fluides et des outils pour la présentation graphique des données.

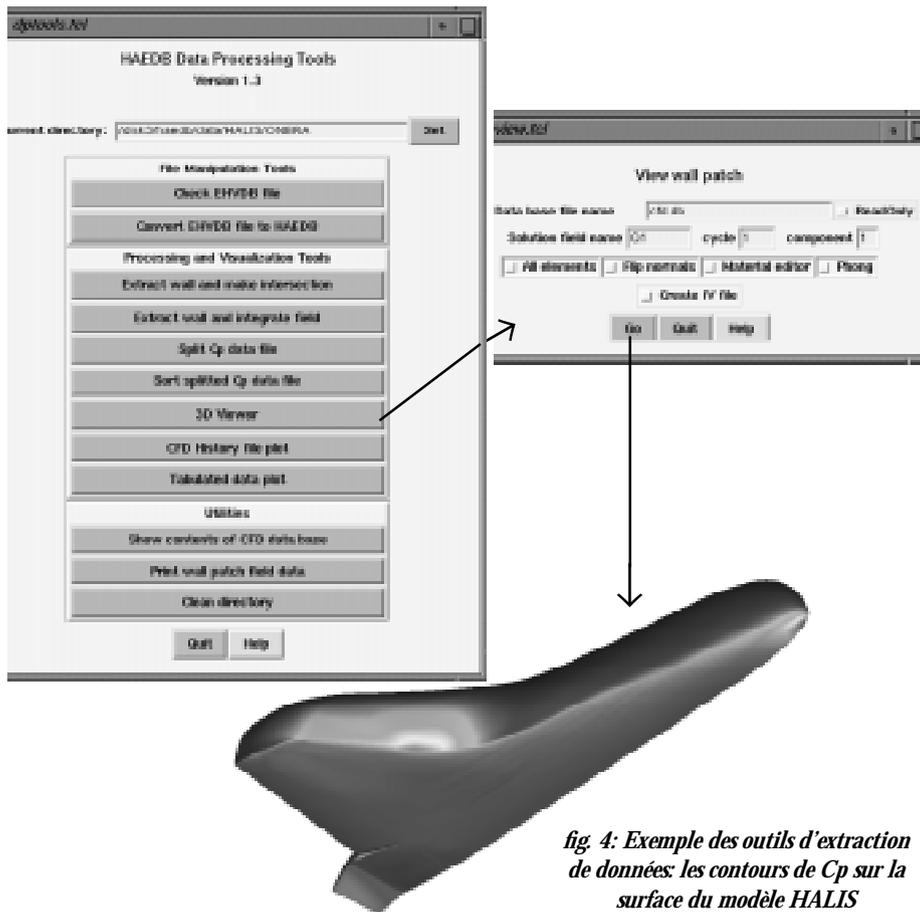
L'extraction des données est possible à tous les niveaux d'accès. Le niveau 1 permet d'accéder à toutes les données, à travers l'interface locale pour accéder aux outils d'extraction. Le niveau 2 permet d'accéder à un nombre limité de données

dans un mode différé. Pour le niveau 3 les données ne sont accessibles qu'à travers une interface Web. Les résultats d'une requête consistent aux données réclamées (principalement des données de synthèse) et à des pointeurs vers les fichiers de la base de données où les données détaillées résident. Les clients qui ont accès aux données de niveau 2 ont la possibilité de consulter, au moins partiellement, les fichiers contenant les données détaillées.

En général, tout type de données peut être extrait en fonction de n'importe quel critère d'extraction. Cependant, du fait que les calculs sont liés aux informations géo-



*fig.3: Exemple de document de synthèse:  
Cp dans le plan de symétrie du cas test  
HALIS*



*fig 4: Exemple des outils d'extraction de données: les contours de Cp sur la surface du modèle HALIS*

métriques et physiques, la plupart du temps les données seront extraites suivant les critères tels que :

- géométrie : on extrait les nœuds, les éléments, les facettes ; on peut spécifier des critères supplémentaires comme *flags* de sélection de nœud, d'élément ou de facette ;
- champs de solution : on extrait un champ de solutions et on l'ajoute à la géométrie dans la forme voulue. Voir l'exemple en fig. 4 ;
- attributs : on extrait les attributs, comme le nombre de Mach du calcul, etc.

#### LA RÉDUCTION DES DONNÉES

Elle concerne les données expérimentales et calculées. La plupart de ces outils de réduction sont utilisés par le gestionnaire pour mettre à jour les données de synthèse. Il peut s'agir de réduction 3D, 2D ou 1D des données calculées (voir exemples de diagrammes de synthèse sur la fig. 3).

#### L'AUGMENTATION DES DONNÉES

Cette fonction est régulièrement appliquée par le gestionnaire pour mettre à jour les données de synthèse du système HAEDB. Cela peut être la duplication de données, par exemple pour créer un gra-

phe complet à partir d'un calcul fait sur la moitié du modèle. C'est réalisé en copiant les données géométriques et les champs de solution. Un autre cas d'augmentation de données consiste à calculer les quantités dérivées. Certaines quantités dérivées sont relativement faciles à obtenir par extraction des données depuis la base, en effectuant les calculs et en insérant les nouveaux champs dans la base. Exemple : intégrer le coefficient de pression  $C_p$  sur la surface d'un avion. D'autres quantités dérivées sont des lignes ou bandes de courant et des lignes de frottement.

#### CONCLUSION

Le système HAEDB est à présent accessible pour une utilisation générale. C'est une collection dynamique de données brutes, de données traitées et de documents de synthèse, ce qui implique que la quantité de données accessibles interactivement va augmenter avec le nombre d'utilisateurs de la base de données. Le système HAEDB est accessible à l'adresse :

<http://haedb.estec.esa.nl:8080/> ■

Références de l'éditorial de la page 3

- [1] Flatland, Edwin A. Abbott, paru en français aux *Présences du futur*, 1968
- [2] le centre de recherches d'IBM: [www.watson.ibm.com](http://www.watson.ibm.com)

Références de l'article: Les enjeux du visible: perspective, piège, passage de la page 4

- [1] Erwin Panofsky, *La perspective comme forme symbolique*, Editions de Minuit, Paris, 1975. Citations pp. 147, 42.
- [2] Edmond Couchot, *Images, de l'optique au numérique*. Ed. Hermès, Paris, Londres, Lausanne, 1988, p.17
- [3] <http://visiblehuman.epfl.ch/>
- [4] [www.terraserver.microsoft.com](http://www.terraserver.microsoft.com)
- [5] Gilles Deleuze, *Le pli, Leibniz et le baroque*, Ed. de Minuit, Paris, 1988. Citations: p. 8, 9
- [6] Akira Miyoshi, The Silent Beat of Japanese Music, in Japanese Essences (Japan as I see it - 3) Shichi Yamamoto, Kenichi Fukui et al., Tokyo, 1985

Références de l'article: En attendant le Bernin de la page 13

- [1] M. Merleau-Ponty, *L'œil et l'esprit*
- [2] H. Bergson, *Matière et mémoire*
- [3] G. Deleuze, *cours synthèse et temps, 14 mars 78*
- [4] De La Fontaine, *Fables «Le statuaire et la statue de Jupiter»*

Références de l'article: Maquette, panorama et rendering de la page 26

- [1] Francesco Biamonte, *L'apparition de la maquette dans le projet d'architecture*, 1998. ms
- [2] Stephan Ottermann, *Das Panorama, Die Geschichte eines Massenmediums*. Francfort, Syndikat, 1980
- [3] Jean Baudrillard, *Simulacres et simulation*, Paris, Galilée, 1981. p.159
- [4] André Malraux, *Les voix du silence*, Paris, Galerie de la Pléiade, 1951. p.114

Références de l'article: Mon ordinateur voit double de la page 30

- [1] Starks Michael – *Stereoscopic Imaging technology : a review of patents and the literature*, 3DTV Corporation, Haf Thwaites, <http://ijvr.uccs.edu/starksa.htm>
- [2] Lipton Lenny – *Stereo-vision formats for video and computer graphics*, StereoGraphics Corporation, [http://www.stereographics.com/html/body\\_stereo\\_formats.html](http://www.stereographics.com/html/body_stereo_formats.html)
- [3] Lipton Lenny – *StereoGraphics Developers' Handbook*, Stereo Graphics Corporation, <ftp.stereographics.com/developers/handbook.pdf>
- [4] Schechter Joanne – *Update Your Thinking of Stereoscopic Displays*, CGW Magazine 9/97, <http://www.cgw.com>

Références de l'article: Serveur WEB d'images parallèles pour le projet Visible Human de la page 41

- [1] Michael J. Ackerman, *Accessing the Visible Human Project*, D-Lib Magazine: The Magazine of the Digital Library Forum, October 1995,

<http://www.dlib.org/dlib/october95/10ackerman.html>

- [2] Benoit A. Gennart, Joaquin Tarraga, Roger D. Hersch, *Computer-Assisted Generation of PVM/C++ Programs using CAP*, Proceedings of EuroPVM'96, LNCS 1156, Springer Verlag, Munich, Germany, October 1996, 259-269
- [3] Vincent Messerli, Benoit A. Gennart, Roger D. Hersch, *Performances of the PS2 Parallel Storage and Processing System for Tomographic Image Visualization*, Proceedings of the 1997 International Conference on Parallel and Distributed Systems, IEEE Computer Society Press, Seoul, Korea, December 1997, 514-522

Références de l'article: Des avatars aux humains virtuels autonomes et perceptifs de la page 56

- [1] D.Thalmann, L.Chiariglione, F.Fluckiger, E.H. Mamdani, M.Morganti, J.Ostermann, J.Sesena, L.Stenger, A.Stienstra, *Report on Panel 6: From Multimedia to Telepresence*, Expert groups in Visionary Research in Advanced Communications, ACTS, European Commission, 1997

- [2] D.Thalmann, *A New Generation of Synthetic Actors: the Interactive Perceptive Actors*, Proc. Pacific Graphics'96 Taipei, Taiwan, 1996, pp.200-219
- [3] D.Thalmann, *Using Virtual Reality Techniques in the Animation Process in: Virtual Reality Systems* (Earnshaw et al. eds), Academic Press, pp.143-159
- [4] P.Bécheiraz, D.Thalmann, *A Model of Nonverbal Communication and Interpersonal Relationship between Virtual Actors*, Proc.Computer Animation'96, IEEE Computer Society Press, 1996
- [5] L.Emering, R.Boulic, D.Thalmann, *Interacting with Virtual Humans through Body Actions*, IEEE Computer Graphics and Applications, 1998, Vol.18, No1, pp.8-11
- [6] I. Pandzic, N. Magnenat Thalmann, T. Capin, D.Thalmann, *Virtual Life Network: A Body-Centered Networked Virtual Environment*, Presence, MIT, Vol. 6, No 6, 1997, pp. 676-686
- [7] T.K.Capin, I.S. Pandzic, N. Magnenat Thalmann, D. Thalmann, *Virtual Human Representation and Communication in the VLNET Networked Virtual Environments*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.17, No2, 1997, pp.42-53
- [8] I.Aleksander, *Artificial Consciousness*, in: (Magnenat Thalmann and Thalmann, eds) *Artificial Life and Virtual Reality*, John Wiley, Chichester, 1994, pp.73-81

Références de l'article: Outils de la photogrammétrie pour visualiser des projets de la page 66

- [1] Gabaglio V., 1997, *Orientation d'un système multi-antennes GPS ou Détermination d'attitude à l'aide de GPS*, travail de diplôme EPF-Lausanne
- [2] Gigon B., 1997, *Développement d'une méthodologie basée sur les moyens photogrammétriques pour la prise en compte de la visibilité dans l'analyse de tracés routiers*, travail de diplôme EPF-Lausanne
- [3] von Moos M., 1998, *Intégration d'un projet d'ouvrage d'art dans une séquence vidéo*, travail de diplôme EPF-Lausanne

