



Conférence du mardi 12 décembre 2006
Auditorium du Spacecamp - Alcatel Alenia Space, Cannes

Du Spatial aux Travaux Publics : les Maquettes Virtuelles

Eric Lebègue, Centre Scientifique et Technique de Bâtiment (CSTB)



Eric Lebègue est Ingénieur de l'Institut Supérieure de l'Informatique (ISI) à Sophia-Antipolis - devenue maintenant Ecole Supérieure des Sciences Informatiques (ESSI).

C'est lors de son service militaire en 1988, en tant que scientifique du contingent dans la Division Satellites d'Aérospatiale/Cannes, qu'il participa, en collaboration avec le CNES, aux études et développements des logiciels permettant la liaison des logiciels de CAO avec ceux de thermique et de calculs des déformations élastiques.

Le projet final prit le nom de Baghera.

A la fin de son service, il créa en 1989, avec d'autres collègues, une « start-up » à Sophia-Antipolis, nommée Espri Concept.

Elle s'attela à la diffusion et commercialisation de Baghera en collaboration avec Aérospatiale, le CNES et l'ESA.

La société fut rachetée en 2000 par Simulog.

En 2001, il quitte ce « Secteur Spatial » pour entrer chez Graitec qui est demandeur de ce genre d'applications dans celui du « Bâtiment ».

Il est au CSTB depuis 2005.

eric.lebegue@cstb.fr

La simulation de processus complexes ne date pas d'aujourd'hui. C'est d'ailleurs dans le domaine aéronautique qu'elle a démarré et s'est le plus développée depuis des décennies, par la réalisation des simulateurs de vols permettant des économies gigantesques pour la formation des pilotes. On l'a vu également dans la conduite automobile, la conduite des trains, des centrales nucléaires, etc.

C'est plus récemment qu'elle s'est étendue à la conception de systèmes, permettant de relier la conception assistée par ordinateur (CAO), l'outil qui permet la réalisation architecturale

et sa visualisation en trois dimensions des objets complexes à réaliser, et les autres calcul effectués en parallèle, tels que la thermique, les études de déformation élastique et de résistance des matériaux, etc.

C'est justement dans cet établissement de Cannes d'Alcatel Alenia Space, dans les années 80 (à l'époque Aérospatiale), qu'est née cette idée d'intégration pour la réalisation des satellites. D'où les programmes connus sous le nom de Baghera et la création d'une entreprise dont ce fut le cœur de métier : Espri-Concept.

Plus récemment, le secteur des travaux publics y est venu, comprenant l'intérêt d'une telle intégration, permettant de réduire le coût des grands projets. A Sophia-Antipolis, c'est le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), qui développe ces outils.

D'où le thème cette conférence du 12 décembre : les points communs entre les secteurs du Spatial et des Travaux Publics dans le domaine de la réalité virtuelle. Le conférencier les a illustrées par cinq exemples :

- Le projet *Baghera View*, en coopération avec le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et l'Agence Spatiale Européenne (ESA) pour l'uniformisation des données de tous programmes concourant à la réalisation d'un projet spatial. La norme "STEP".
- Le Viaduc de Millau (coopération avec CNES, IGN, EIF-FAGE, GEOIMAGE) avec introduction de l'imagerie satellitaire 3D dans les grands projets de travaux publics
- La ville de Cannes numérisée
- Le futur campus STIC de Sophia-Antipolis
- Et, revenant sur ce site d'Alcatel Alenia Space, le projet d'extension « Alcatel Odysée » : coopération avec Alcatel Alenia Space et la Ville de Cannes et son projet de "Ville Numérique".

Le conférencier a présenté la division EVE (Environnements Virtuels Enrichis) du CSTB et sa salle « immersive », permettant de simuler en temps réel tous les facteurs devant être pris en compte pour la réalisation d'un bâtiment, ainsi que par des études, en cours de démarrage, très importantes sur le plan environnemental, dont les possibles inondations, tsunami et autres secousses sismiques qui peuvent frapper la Côte d'Azur. Elle a été illustrée de nombreuses vidéos, mais surtout de démonstrations de simulation en temps réel de déplacement sur des maquettes virtuelles (ville de Cannes, aéroport de Nice, Viaduc de Millau, etc.) qu'il n'est pas possible de joindre à ce document.

Harmonisation des données – Bases de données – Normes

C'est par un exemple tout personnel que le conférencier débute son exposé. Lors de la construction de sa villa, dans un lotissement, le plan de l'architecte, respectant ses souhaits, prévoit un vide sanitaire de 80 cm de hauteur, ce qui représente une « norme » minimale. Prenant possession de sa maison, quelques mois plus tard, et devant se rendre dans le vide sanitaire, obligé de ramper pour le parcourir, il le trouve vraiment très bas de plafond ; il le mesure : il ne fait que 60 cm. Convoquant le promoteur, celui-ci vient avec 3 plans : l'original de l'architecte, dont on vient de parler, la version retournée par la mairie avec le permis de construire, où la hauteur de ce VO a été portée à 1,50 m – probablement parce que la ville pense que 80 cm est trop peu – et le plan définitif du constructeur qui lui indique bien 60 cm – pour faire des économies ? Aujourd'hui, lorsqu'un plombier doit intervenir dans le vide sanitaire, il fait appel à son employé le plus mince possible !

Ce genre de problème est courant dans le Bâtiment : pas de plan unique archivé sur un ordinateur, où tous les intervenants ont accès, surtout lorsque des modifications y sont introduites ; pas de bases de données de tous les produits utilisables pour une construction ; et pas de norme d'échange des données entre tous les acteurs du métier. Le coût s'en ressent : près de 30% de surcoûts dans la construction pour les diverses malfaçons rencontrées.

Les maquettes virtuelles dans le domaine du Spatial : la norme STEP et Baghera View

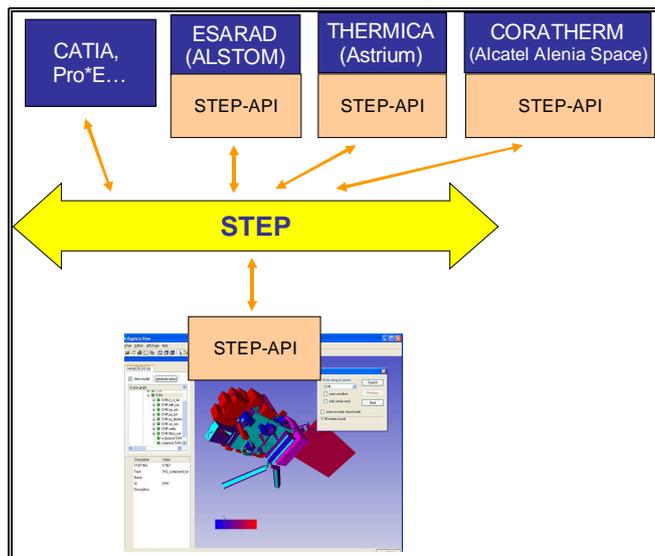


Figure 1 – STEP : une norme qui laisse aux industriels le choix de leurs logiciels de CAO.

La construction spatiale, avec le très haut niveau de qualité requis, a cherché à s'affranchir de ces problèmes, surtout quand le coût d'un satellite avoisine couramment 200 millions d'euros, lancement compris. Les axes d'études, qui se sont concrétisés par les logiciels tels que *Baghera* (développé en 1990) ont porté sur :

- L'harmonisation des données et l'adoption d'une norme unique pour tous les prescripteurs d'ordre (les agences spatiales et les industriels) : STEP (*STandard for the Exchange of Product model*), une norme ISO pour les échanges de données entre outils de CAO.
- La description des objets utilisés pour la construction des satellites et la constitution de gigantesques bases de données, ce qui est permis à des coûts relativement modestes

avec l'abaissement des coûts des mémoires, y compris sur les ordinateurs personnels où tout un chacun peut même gérer ses propres maquettes virtuelles, à commencer par celle de son habitation !

Le CSTB a développé une compétence exceptionnelle dans le domaine des échanges de données entre outils d'ingénierie, basé sur l'utilisation de cette norme STEP, également utilisé dans le secteur de la construction sous sa forme déclinée IFC (*Industry Foundation Classes*). Et le CSTB a remporté un appel d'offre de l'ESA pour assurer la maîtrise d'œuvre des échanges de données, dans le format STEP-TAS (*Thermal Analysis for Space*) entre les outils d'analyse thermique utilisés par les entreprises d'ingénierie spatiale. Ces logiciels sont *THERMICA* (d'EADS Astrium), *ESARAD* (d'ALSTOM Aerospace) et *CORATHERM/CIGAL2* (d'Alcatel Alenia Space). Associé à cette mission, le CSTB réalise pour le CNES, le logiciel *Baghera View* qui permet de visualiser, en 3D, les données STEP-TAS. *Baghera View* est maintenant adopté par l'ESA comme l'outil de visualisation de référence pour la validation des données d'analyses thermiques échangées entre les partenaires spatiaux européens.

La norme STEP-TAS étant également en cours de normalisation au sein de l'ISO, la NASA, qui participe à ces travaux de normalisation, est également vivement intéressée par les travaux du CSTB et par *Baghera View*.

Baghera View

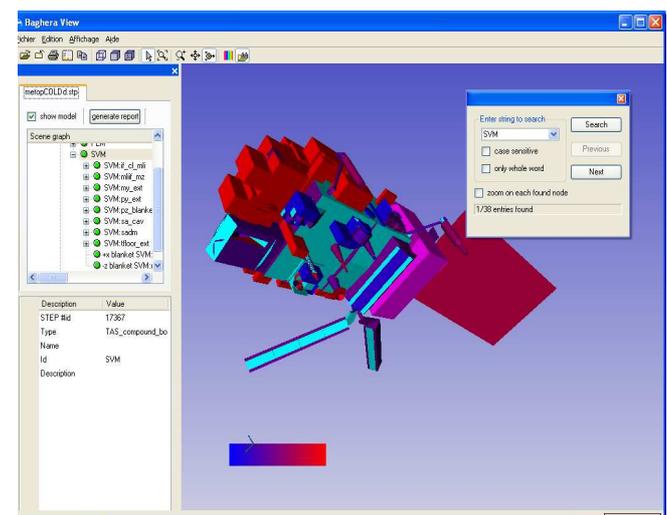


Figure 2 - Un outil de visualisation de référence pour les données d'ingénierie spatiales normalisées (STEP). Il permet la vérification, la synthèse des données, le repérage des évolutions et l'édition de rapports.

Le développement confié au CSTB est basé sur EVE (voir plus loin). Tous les développements réalisés par l'équipe EVE du CSTB sont désormais compatibles avec des simples PC du commerce pour permettre l'accès aux maquettes virtuelles aux plus grands nombres. En complément, la Salle Immersive (voir plus loin), avec sa grande capacité de calcul et d'affichage permet l'affichage des mêmes scènes avec beaucoup plus de définitions et de détails.

Du Spatial à l'Aéronautique, à la construction Automobile, puis au Bâtiment

Les secteurs de l'aéronautique et de l'automobile ont déjà prouvé la capacité de la maquette numérique à concevoir complètement un produit, en intégrant les études techniques (structure, thermique, aérodynamique...) nécessaires, et ce avec un recours limité aux expérimentations physiques.

Cette pratique amène évidemment des gains substantiels en matière de productivité et permet d'investiguer des solutions innovantes.

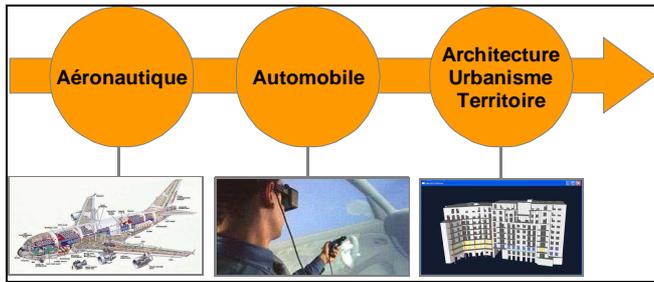


Figure 3 - L'utilisation de maquettes virtuelles a envahi progressivement le secteur Spatial, puis l'Aéronautique¹ et maintenant celui du Bâtiment.

Cette pratique doit pouvoir être transposable au secteur de la construction. Elle sous-entend l'utilisation d'une nouvelle génération de logiciels CAO 3D/Objets. Ces logiciels commencent à exister pour ce secteur. Ils s'appellent, par exemple, Architectural Desktop ou Revit d'Autodesk, ArchiCAD de Graphisoft. De son côté Dassault Systèmes est en train d'adapter au secteur son logiciel CATIA déjà largement utilisé dans les secteurs aéronautique et automobile. Ceci dit, cette nouvelle génération de logiciels est encore sous-utilisée d'une part car encore isolée dans la chaîne de conception globale et, d'autre part, par manque d'appropriation de la démarche de la part des acteurs.

Au CNES, *Baghera* est désormais le système de gestion des documents techniques utilisés sur quasiment l'ensemble des programmes. Le secteur de la construction a identifié un certain nombre de points qui le rapproche du secteur spatial. Pour ce secteur, il est donc souhaitable de puiser dans cette connaissance et l'appliquer à la conception de ces bâtiments qui nécessite de plus en plus d'études combinées pour répondre aux exigences liées au développement durable :

- **Unicité des réalisations** : Un engin spatial, comme un bâtiment, est un ouvrage unique ;
- **Pluridisciplinarité des études, importance des économies d'énergies** : la conception d'un engin spatial nécessite de nombreuses études pluridisciplinaires (architecture, système, structure, thermique, vibration, électricité/électronique...) qui doivent être coordonnées. Les analyses thermiques sont un élément essentiel de cette conception, pour tenir compte des fortes variations de températures auxquelles sont soumis des engins spatiaux. L'ensemble de ces études vise à économiser les énergies, point vital pour la durée de vie de l'engin spatial ;
- **Utilisation de l'énergie solaire** : le secteur a développé une compétence indéniable dans l'utilisation de l'énergie solaire, la seule énergie renouvelable, une fois que le satellite a été lancé ;
- **Corrélation simulation / essais physiques** : avant son lancement, un engin spatial est soumis à de nombreux essais au sol dans des équipements très sophistiqués (chambres à vide, caissons acoustiques...). Et les résultats de ces essais sont systématiquement corrélés avec les simulations réalisées avec les maquettes numériques de conception ;
- **Complexité des consortiums de réalisation** : la conception d'un engin spatial est quasiment systématiquement le

fruit d'un travail collaboratif entre entreprises spécialisées (maîtres d'œuvres, co-traitants, sous-traitants...) qui utilisent des outils de conception, simulation et essais souvent différents mais qui doivent quand même cohabiter pour la réussite du projet ;

- **Outils CAO et norme STEP** : l'industrie spatiale est évidemment un grand consommateur d'outils CAO et la norme STEP (format de base de la norme IFC) commence à être largement utilisée pour les échanges de données.

Le projet EVE (Environnement Virtuel Enrichi)



Figure 4 - C'est en 2000 que le CSTB a lancé le projet EVE.

Le CSTB a lancé, en 2000, le projet « Environnements Virtuels Enrichis (EVE) » qui vise à combiner « simulations scientifiquement valides » et « environnements virtuels ». Le résultat est une plate-forme, désormais industrielle, regroupant des modèles numériques, de fonctionnalités de visualisation / interaction en temps réel et des capacités de partage de données entre les différents modules mais aussi avec le monde de la CAO à l'exemple de ce qui peut se faire dans d'autres secteurs comme l'aéronautique ou l'automobile.

La plate-forme EVE du CSTB est développée, en partenariat avec les principales associations professionnelles du secteur (architectes, BET, éditeurs de logiciels...), un certain nombre de grandes entreprises comme VINCI, Bouygues, OTH, etc., d'autres centres techniques institutionnels comme le SETRA et des laboratoires universitaires comme ceux de EURECOM ou de l'ESSI. Le CSTB bénéficie également de l'expérience d'autres secteurs comme ceux de l'automobile et de l'aéronautique (la plate-forme EVE est en cours d'adoption par le CNES et l'ESA).

Pour une pérennisation et une parfaite évolutivité des maquettes virtuelles, EVE met notamment en œuvre les normes d'échange et stockage de données, et en particulier les standards IFC pour les descriptions 3D sémantiques des bâtiments et la norme GML pour l'intégration des données géographiques.

Mais EVE est également capable d'intégrer des données en format propriétaire, comme celui proposé par le logiciel 3DS Max, utilisé par la plupart des architectes pour présenter leurs projets en 3D au sein d'images ou films de synthèse.

Avec cette plate-forme, la maquette numérique de construction devient le « clone virtuel » du projet réel et un formidable support de simulation et de communication entre les acteurs du projet.

Il vise à combiner :

- Harmonisation des formats de données STEP, IFC, ;
- Simulations scientifiquement valides ;
- Environnements virtuels, gestion des niveaux de détail ;
- Repérer automatiquement les différences entre plusieurs versions d'un même projet. Ceci est possible car chaque version de la maquette est archivée ; et d'un simple clic de souris il est possible de comparer deux versions et découvrir ce qui est nouveau (ajouts) ou ce qui manque (qui peut provenir d'une suppression accidentelle d'un élément).

Les mêmes objets de construction sont utilisés, en présence des spécialistes de chaque discipline pour :

¹ La dernière Lettre AAAF Nationale, fait justement référence au projet du Falcon 7X de Dassault Aviation, réalisé à partir d'une maquette virtuelle, ayant permis un gain de l'ordre de 25% du coût pour la conception de l'avion.

- Simulation acoustique : restitution sonore de l'ambiance acoustique ;
- Simulations thermo aérauliques : confort thermique, consommation d'énergie ;
- Simulation thermique : les objets peuvent être soumis à plusieurs analyses simultanées telles que évolution des températures dans les pièces ; estimation des consommations énergétiques, etc.

L'exploitation des maquettes virtuelles conduit à :

1. La constitution, la reprise de projets existants
2. Les calculs de structures
3. Des simulations, par rapport à la réglementation de Développement Durable, des phénomènes physiques, etc.
4. La production des documents d'exécution (plans)
5. Le phasage de construction
6. Le suivi et contrôle : gestion qualité, délai et coûts, etc.
7. La synthèse : coordination des acteurs, communication,
8. L'actualisation du patrimoine.

La salle immersive



Figure 5 Un écran conique permettant de projeter une image d'environ 33 m².

Et le CSTB s'équipe d'un moyen unique en Europe : la salle immersive (salle Le Corbusier à Sophia-Antipolis). Elle permet de mettre en commun des donneurs d'ordre, des architectes, des constructeurs, pour, en temps réel, simuler l'incorporation de la maquette virtuelle dans son environnement futur et prendre des décisions en temps réel.



Figure 6 - La salle est équipée de quinze sièges amovibles dont trois équipés d'un système individualisé de restitution de son.

Elle dispose des équipements les plus en pointe :

- Des super calculateurs graphiques multi-processeurs en technologie Silicon Graphic et PC
- Trois vidéo-projecteurs technologie DLP (Digital Light Processing™)
- Un écran conique permettant de projeter une image d'environ 33 m²

- Un système de sonorisation globale de la salle
- Quinze sièges amovibles dont trois équipés d'un système individualisé de restitution de son
- spatialisé en 3D (brevet CSTB).

L'incorporation des maquettes virtuelles des travaux publics dans le paysage : le viaduc de Millau



Figure 7 - La maquette numérique du viaduc de Millau incorporée dans le paysage des gorges du Tarn.

C'est l'apport de l'imagerie satellitaire fournissant très rapidement de nombreuses données sur toutes les surface du globe - qui plus est avec un taux de rafraîchissement temporel très élevé -, qui a permis d'intégrer les grands projets de travaux publics dans les paysages.

La France, avec sa série de satellites SPOT développée par le CNES et l'industrie spatiale européenne, est pionnière dans ce domaine. Ils tournent en permanence à 840 km d'altitude au dessus de nos têtes, sur des orbites quasi polaires - dites héliosynchrones -, leurs permettant de passer toujours à la même heure solaire à une latitude donnée. Ils fournissent des « fauchées » d'images du paysage de 120 km de largeur (deux instruments de 60 km de fauchée). Toute la surface terrestre est renouvelée une fois par mois, sous réserve qu'il n'y ait pas eu de nuages lors de leur passage.

Leur apport est surtout intéressant par leur capacité de fournir des images stéréoscopiques permettant de reconstituer le relief du terrain et la création de modèles numériques du terrain (MNT).

La première série SPOT, à partir des années 1980, prenait deux vues obliques d'un même paysage en basculant la visée de sa caméra vers la droite ou vers la gauche de la trace du satellite, avec comme inconvénient que le second passage s'obtenait plusieurs jours après le premier avec des conditions d'observation différentes, (éclairage, météo), voire avec des évolutions du paysage entre les deux instants de prise de vue. La dernière génération, à partir des années 2000, possède en plus deux caméras, dédiées à l'acquisition stéréoscopique : l'une regardant vers l'avant du satellite, la seconde vers l'arrière. Le couple d'images stéréoscopiques est obtenu en quelques secondes avec des observations beaucoup plus proches. La grande novation du CNES fut de créer une filiale, SPOTIMAGE, destinée à la production et l'archivage des images ainsi que leur commercialisation pour divers usagers, mais non pas le grand public.

C'est l'américain Google qui a, le premier, depuis quelques années, diffusé ce type de données vers le grand public, et ce

gratuitement, sur son site *Google Earth*. Il utilise des images de différentes résolutions provenant de capteurs embarqués sur des satellites Landsat (15m), SPOT5 (2,5m) QuickBird (0,60m) ou sur des avions avec une résolution proposée pouvant atteindre 5 cm !



Figure 8 - Le niveau de détail de la maquette virtuelle est saisissant quand on se déplace autour de la maquette.

Parmi les usagers, l'Institut Géographique National (IGN) a été tout naturellement le premier utilisateur pour la mise à jour de toute la cartographie nationale et internationale, avec des coûts très inférieurs aux productions précédentes à partir de photos aériennes. Et l'IGN, qui manipulait depuis fort longtemps les couples d'images stéréoscopiques des photos aériennes pour la restitution des courbes de niveau (photogrammétrie), a pu développer des méthodes numériques de calcul du relief, créant les modèles numériques de terrain (MNT), directement utilisables sur ordinateur. L'IGN est venue tout récemment à cette diffusion gratuite sur Internet avec son *Géoportail*, consacré aux images de la France, y compris ses DOM.

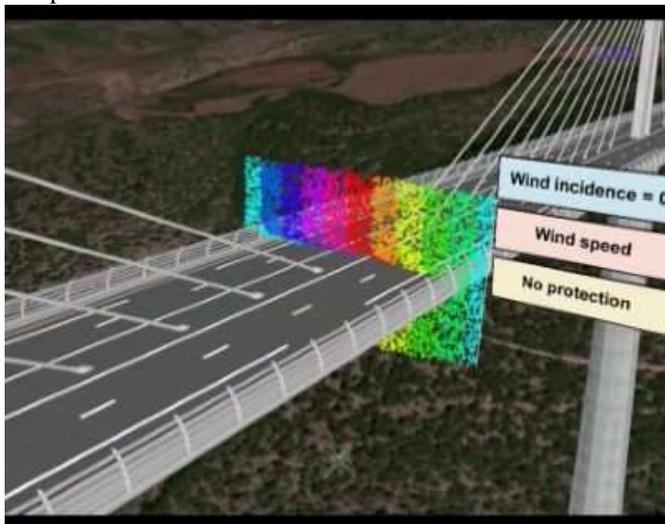


Figure 9 - Simulation de vents latéraux.

Dans notre cas, c'est par une collaboration CNES, SPOTIMAGE, IGN et GEOIMAGE, une société de Sophia-Antipolis, qu'ont été créées les images de synthèse de tous les types de terrains par une mosaïque d'images satellite et de Modèle Numérique de Terrain (MNT) de différentes résolutions. La résolution des images SPOT5 permet de voir le tissu routier, mais de n'y distinguer que des objets de la taille d'un camion. La société Eiffage, réalisatrice du viaduc de Millau, a fourni la maquette virtuelle du pont, avec un niveau de détail très élevé. Après intégration dans le paysage, tous

types de simulations peuvent être réalisés en navigant autour de l'ouvrage. Des applications supplémentaires ont été développées, en particulier pour l'étude des effets du vent. Elles ont permis de définir le meilleur profil possible pour les rampes latérales du pont, minimisant les effets sur les véhicules le traversant.

Partenariat Géoportail - IGN / CSTB

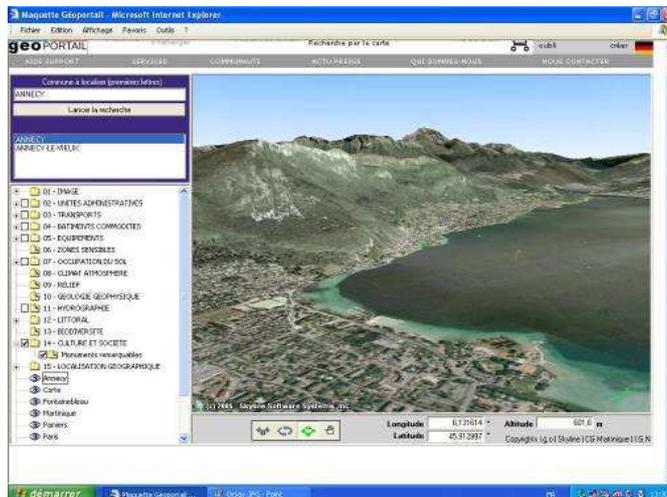


Figure 10 - Grâce à l'application de modèles numériques de terrain, la simulation du relief est saisissante.

Le *Géoportail* (le « Google Earth » français) a été lancé sur Internet en 2006 par l'IGN. Par rapport à la version américaine, il apporte une meilleure qualité et une fiabilité à usage professionnelle, grâce à l'apport des données précises de l'IGN, de la météorologie nationale et, à terme, des données urbaines.

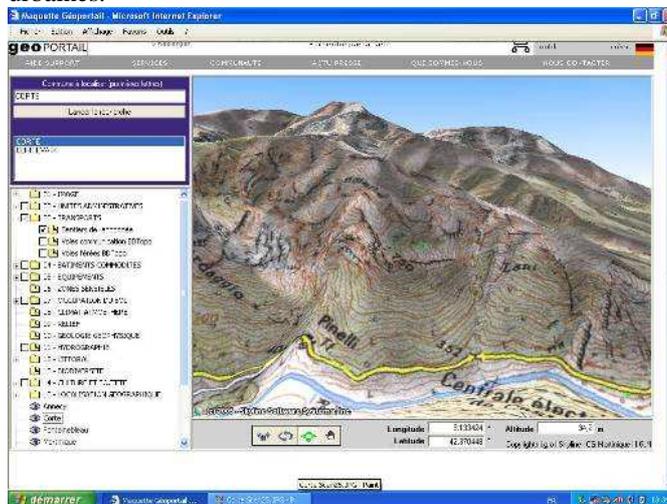


Figure 11 - L'image du terrain peut être agrémentée des courbes de niveaux et des données de la cartographie.

Le CSTB participe au collège des experts.

Depuis le *Géoportail* :

- Sélection d'une zone d'étude
- Récupération / accès aux données pertinentes
- BD-Ortho, Topo, cadastre....
- Environnementales : météo, trafic...
- Création d'une maquette virtuelle enrichie (CSTB & partenaires)
- Intégration bâtiments détaillés (photos aériennes plus précises, photos au sol, IFC...)
- Simulations de phénomènes physiques (acoustique, pollution, sismique...).

Et vers le *Géoportail*, par la mise à disposition des maquettes virtuelles enrichies depuis le site.

Le futur campus STIC (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication) de Sophia-Antipolis



CONSEIL GÉNÉRAL
DES ALPES-MARITIMES



Figure 12 - Le futur campus du STIC sera implanté à Sophia-Antipolis, dans la zone de St-Philippe (proche de Hewlett Packard) sur un terrain de 14 hectares acquis par le Conseil Général des Alpes-Maritimes, maître d'ouvrage du projet. Le Cabinet d'architecte Wilmotte & Associés est le maître d'œuvre.

Le "Campus STIC" est un important projet immobilier mais aussi des projets collaboratifs de recherche financés dans le cadre du quatrième Contrat de Plan Etat Région. Les objectifs du Conseil Général 06 sont :

- Phase APS : communication aux investisseurs
- Phase APD : communication entre les acteurs du projet, support de simulations (acoustique, thermique, ...)
- Phase exploitation : gestion de patrimoine
- Plate-forme de travaux pratique pour les étudiants

Les Actions du CSTB :

- Coordination avec la maîtrise d'œuvre Wilmotte & Associés, dont le projet a été retenu ;
- Modélisation, intégration des données SIG, photos et plans AutoCAD, Simulations ;
- Plate-forme EVE pour l'intégration, la visualisation et la simulation.

Simulation de la végétation

Compte tenu de l'implantation paysagère à respecter sur le site de Sophia-Antipolis, la maquette virtuelle doit s'enrichir de simulation de la végétation.

Une bibliothèque de base de plus d'une centaine d'essences et un outil de création de nouveaux arbres, avec 2 ou 3 niveaux de détail pour chaque arbre, a été créée.

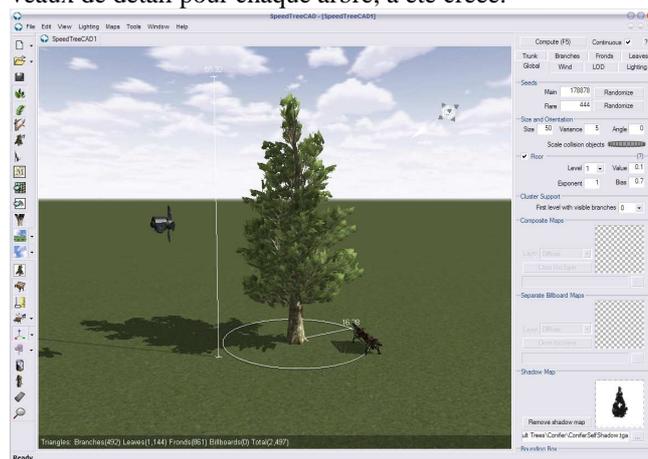


Figure 13 - Les simulations montrées par le conférencier sont vraiment spectaculaires.

Cannes : une ville numérique

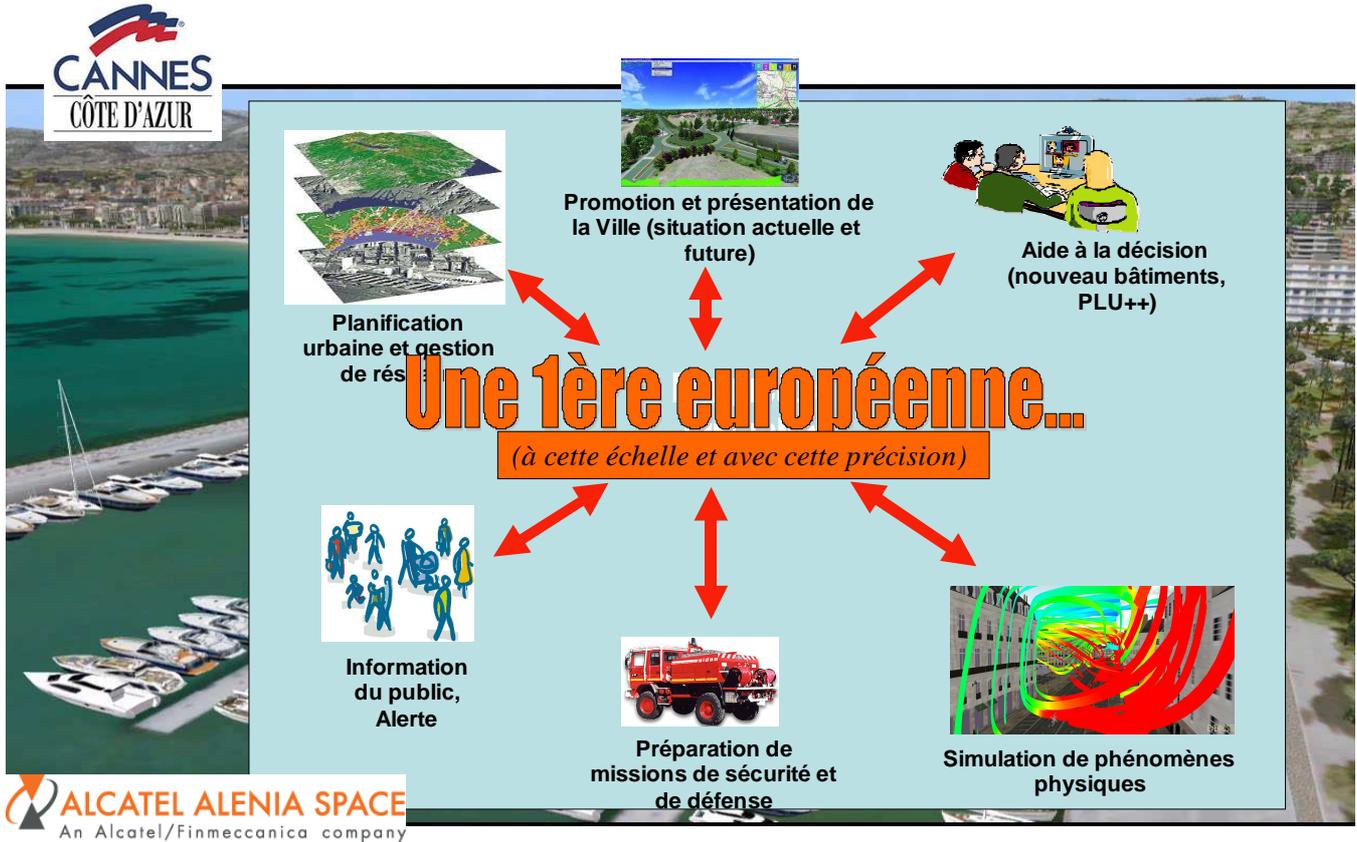


Figure 14 - La Ville de Cannes est la première, en Europe, à avoir lancé un projet de ville numérique.

Les villes qui se sont lancés dans la réalisation de maquette modélisant leur territoire annoncent déjà la couleur : « La maquette numérique de Cannes dispose de passerelles vers les principaux logiciels de conception 3D. Lors d'un concours, les architectes récupèrent des données 3D haute définition (1 pixel = 15 cm) sur l'environnement urbain et fournissent une version 3D de leur projet, que l'on pourra ensuite 'intégrer à la maquette », explique Cédric Blanchard, chef de projet SIG (Systèmes d'informations géographiques) à la ville de Cannes, dans un article publié par *Le Moniteur*.



Figure 15 - Le niveau de détail numérique des sols et des bâtiments est saisissant. Ici le célèbre « Carlton » sur la Croisette.

Que ce soit à l'échelle d'un quartier, d'une ville ou d'un département, une maquette numérique superpose sur une même zone plusieurs couches de données (aériennes, cadastrales,

topographiques), mais aussi des relevés de végétation, ou de façades. A ces données physiques peuvent venir s'agréger des informations réglementaires - sites pollués, classés, zones inondables, PLU, Scot... - ou techniques - réseaux, voiries, transports en commun, points lumineux, mobilier urbain, etc.

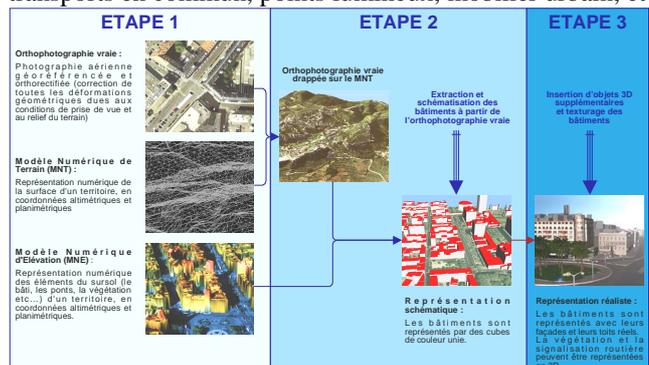


Figure 16 - Méthodes d'acquisition. Les 7 phases de la réalisation de la maquette sont détaillées sur l'illustration.

La maquette s'obtient au terme d'un processus en trois étapes et sept phases :

1. Constitution d'une orthophotographie vraie à partir d'images aériennes du territoire en possession de l'IGN, soit par numérisation de photos argentiques déjà en stock, soit par de nouvelles prises de vues avec des caméras numériques. La résolution (pixel) est de 15 cm au sol, très nettement supérieure à ce que peuvent fournir les satellites d'observation de la Terre.

2. A partir d'un couple d'images stéréoscopiques, création du modèle numérique de terrain (MNT).
3. En parallèle, constitution d'un modèle numérique d'élévation (MNE) avec le bâti (bâtiments, voirie, ponts, etc.) et de la végétation.
4. L'orthographie vraie est drapée sur le MNT.
5. Les maquettes du bâti sont implantées sous forme de cubes de couleur unie.
6. Insertion d'objets 3D supplémentaires, tels que mobilier urbain (lampadaires, kiosques, signalisation routière, etc.) récupérés d'une base de données de tous types de matériels.
7. Les bâtiments sont « texturés » à partir de photos numériques des façades et des toits. La végétation « artificielle » peut être remplacée par des photos numériques de la végétation réelle.

Caractéristiques de la maquette numérique de la ville de Cannes

- Résolution : 15 cm au sol, obtenue par des prises de vues aériennes avec une caméra numérique
- Surface : 21 km²
- 22 000 bâtiments texturés individuellement
- 40 000 photos numériques façades.

Partenaires :

Alcatel Alenia Space (Maître d'Oeuvre), PIXXIM (modélisation), ISTAR (photos aériennes), IGN (cadastre).

Rôle du CSTB

- Expertise en Visualisation avancée, plate-forme EVE
- Support de simulation
- Assurance qualité, évolutivité de la maquette.

Le projet d'extension « Alcatel Odysée »



Figure 17 La maquette virtuelle est très réaliste, que ce soit en extérieur qu'en intérieur

Le futur siège social de la société résultant de la fusion d'Alcatel Space et d'Alenia nécessite la construction d'un nouveau bâtiment. Sa maquette numérique a été réalisée. Elle sert à des études d'impact de l'environnement sur le choix des matériaux. En particulier, situé à proximité de l'aéroport de Cannes/Mandelieu, des simulations des bruits provoqués lors des décollages des avions, permettent un choix judicieux des matériaux d'isolation phonique pour le bâtiment.



Figure 18 – Simulation du bruit provoqué par le décollage d'un avion d'affaires depuis l'aéroport de Cannes/Mandelieu.

Intégrées sous EVE, sont menées aussi les études thermiques, de circulation des personnes (Accessibilité, Propagation d'incendies Evacuation des personnes Plan de signalisation), et, implantée dans une zone pouvant être inondée, la simulation de la montée des eaux.

De nouvelles études en cours

Ce ne sont pas les idées qui manquent pour l'utilisation de telles maquettes numériques. Le CSTB et sa plate-forme EVE ont divers projets en cours :

- pour le Conseil Général 06, des simulations de tsunami et de tremblement de terre basées sur une interopérabilité entre des modèles géologiques et des modèles de cadres bâtis. Le CSTB est maître d'œuvre, en partenariat avec le BRGM, Victor Davidovici, SETOR (BET Structure), Graitec (logiciels de calcul de structures).
- Pour le compte de la CCI, les extensions de l'aéroport de Nice
- collaboration avec l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité) u modèle microscopique de poursuite, chaque véhicule interagissant avec les véhicules qui l'entourent, Simulation des carrefours, feux de signalisation...

Références

Alcatel Alenia Space : <http://www1.alcatel-lucent.com/space/index.htm>

CNES : <http://www.cnes.fr/>

ESA : <http://www.esa.int/esaCP/index.html>

IGN : http://www.ign.fr/rubrique.asp?rbr_id=1&lng_id=FR

CSTB : <http://www.cstb.fr/>

Salle immersive du CSTB à Sophia-Antipolis : <http://salle-immersive.cstb.fr/>

GEOIMAGE : <http://www.geoimage.fr/>

ISTAR : <http://www.istar.com/>

Eiffage : <http://www.eiffage.fr/>

Le Campus STIC :

<http://eurecominfo.eurecom.fr/main/homepage/page1001/page1007.fr.htm>

Cannes, ville numérique : <http://3d.cannes.fr/>

Guy Lebègue, AAAF ; Eric Lebègue, CSTB ; Laurent Lebègue, CNES