

Projet CALLISTO-SARI



Ariane Genty

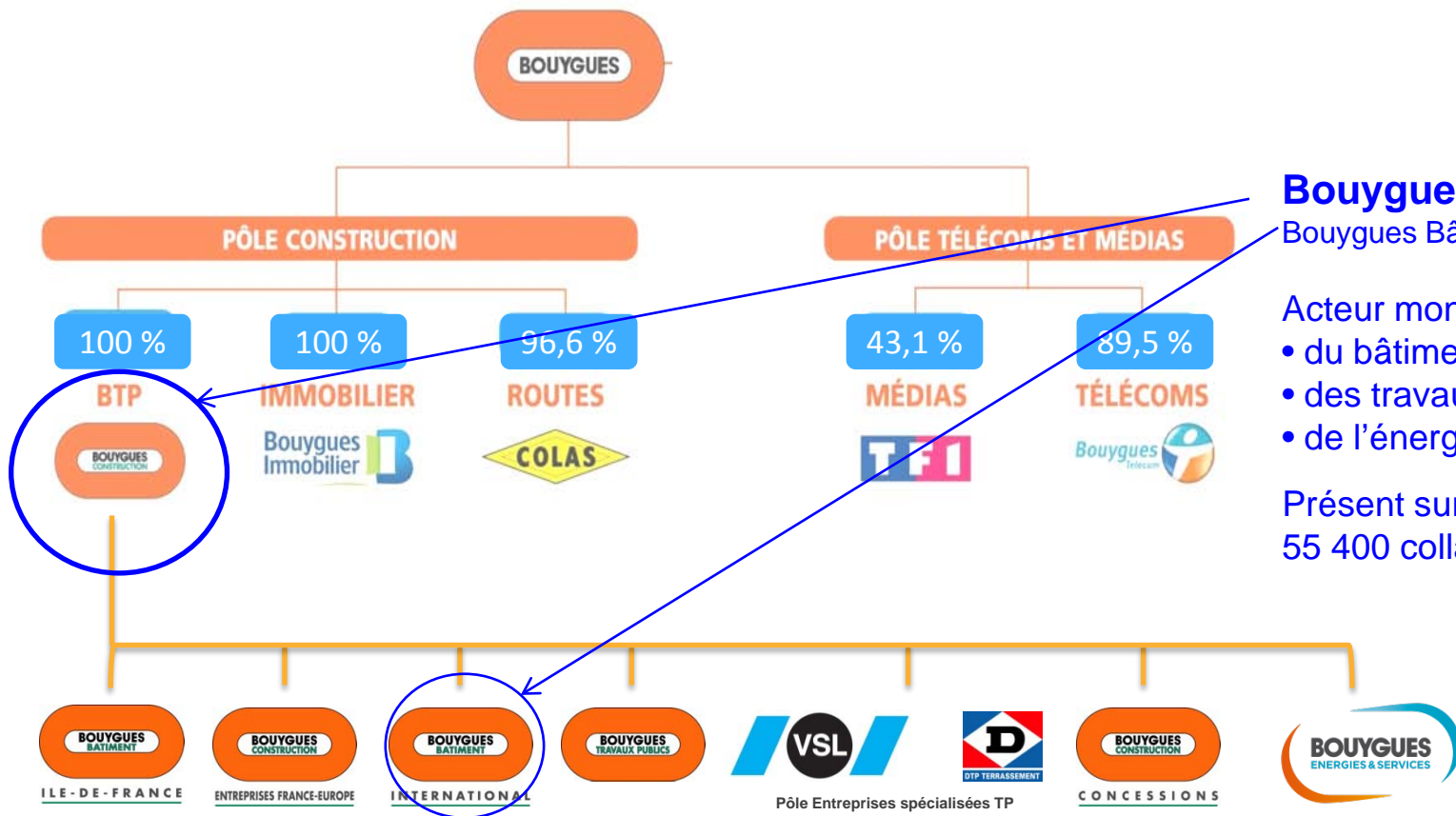
Ingénieur Réalité virtuelle –Coordination du projet Callisto-SARI

Bouygues Bâtiment International

Introduction BOUYGUES CONSTRUCTION

En bref

Un grand groupe, de nombreuses filiales



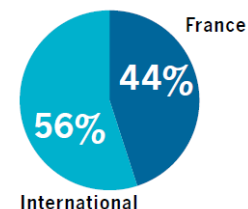
Bouygues Construction

Bouygues Bâtiment International

Acteur mondial

- du bâtiment,
- des travaux publics,
- de l'énergie et des services,

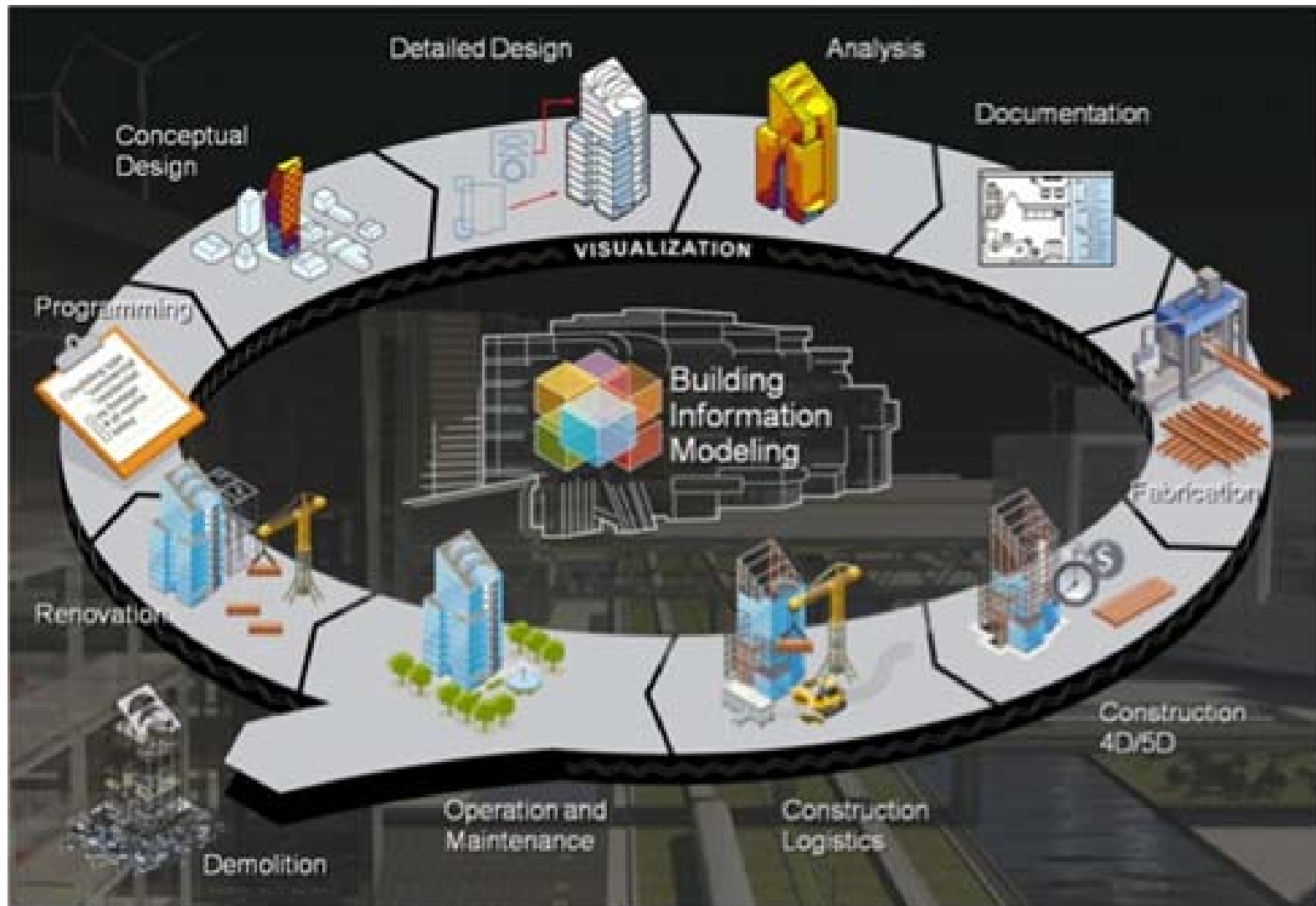
Présent sur les 5 continents,
55 400 collaborateurs



Introduction Le BIM

- La maquette numérique 3D de CAO pour le bâtiment : un virage enclenché depuis quatre ans dans les pratiques chez Bouygues.
- Usages dans la chaîne de construction :
 - ✓ Principalement en phase conception
 - ✓ Mais aussi sur chantier pour effectuer la coordination (entre différents corps de métier)
 - ✓ Puis en phases d'exploitation, maintenance, formation..

Introduction, Définition du BIM:



- **Projet labellisé par les pôles de compétitivité :**

Advancity, Cap Digital

Obtention du Visa « TIC et Ville Durable » décerné par Advancity, Cap Digital, Systématique.

- **Domaines abordés :**

Réalité Virtuelle, Son Image Interactivité, maquette 3D pour l'architecture et la construction, BIM/IFC

- **Porteur :** Bouygues Construction

- **Nombre de partenaires :** 8

- **Durée :** Trois ans **Date de lancement du projet :** juil. 2010, **Fin :** Mars. 2014

- **Montant total :** 5,2 M€ **Montant aide FUI :** 2,3 M€

- **Efforts de R&D :** 3 thèses, 4 post-doc, 4 ingénieurs de recherche, 2 techniciens, 1 chef de projet, plusieurs stagiaires, et des interventions continues des professionnels des différentes entreprises. (50 pers en permanence sur le projet).

Partenaires et support

- **Grandes entreprises**

- Bouygues Construction & filiales

- **PME**

- IMMERSION (Intégrateur de systèmes de Réalité Virtuelle)
- Art Graphique et Patrimoine

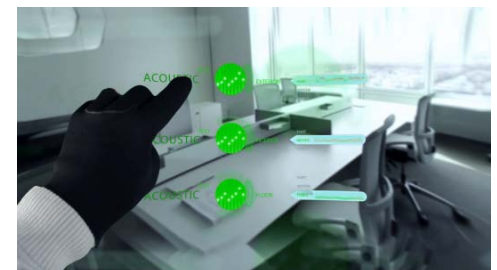
- **Établissements publics**

- Universcience, Cité des Sciences et de l'Industrie (EPIC)
- CSTB, Centre des Sciences et Techniques du Bâtiment (EPIC)
- Arts et Métiers ParisTech
- École Centrale Paris
- Le LUTIN (Lab. des Usages en Technologies Numériques) Plateforme de recherche CNRS Paris 8, hébergée dans la Cité des sciences

- **Et le support** des équipes et des technologies AMD



- Construire une salle de réalité virtuelle à la Cité des sciences et de l'industrie, accessible au grand public et aux industriels, simulant la visite de l'intérieur d'un bâtiment : à l'échelle 1/1, en temps réel, en rendus physiques acoustiques et lumineux.
- Répondre aux besoins en visualisation 3D des acteurs des projets de construction
- Donner aux utilisateurs des sensations visuelles et acoustiques proches d'une visite réelle permettant de prendre des décisions concernant un projet de construction. (Eviter la construction de témoin)
- Sensibiliser les métiers et le grand public à l'apport de la maquette 3D de CAO (au format BIM-IFC : standard CAO interopérable pour le bâtiment)
- Décliner la solution en systèmes mobiles pour travail sur site



Axes de recherche

Développer des axes de recherche forts dans les domaines liés à l'utilisation des maquettes 3D de bâtiment dans un système de réalité virtuelle :

- Modélisation temps réel pour la **simulation physique de l'éclairage** (naturel et artificiel). *CTSB*;
- Modélisation temps réel pour la **simulation physique acoustique** (traitement d'informations spectrales et spatiales 3D liées à un champ sonore). *CSTB*;
- **Simulation** spectrale des propriétés **physiques** visuelles **des matériaux**. *ECP*;
- Simulation de l'éclairage naturel et artificiel pour la visite dynamique de sites patrimoniaux. *CSTB, AMPT, AGP*;
- Évolution des modèles **BIM-IFC** de maquettes numériques pour la modélisation détaillée et le rendu réaliste des bâtiments. *CSTB, AMPT*;
- Visualisation **temps réel** à l'échelle **1/1** et géométrie constante pour la maquette 3D de bâtiment. *AMPT* ;
- Nouvelles modalités **d'interactions 3D** avec les maquettes numériques adaptées aux **usages** en architecture. *LUTIN, AMPT*;
- Modélisation informatique permettant la combinaison entre les relevés lasergrammétriques et photogrammétriques et la numérisation 3D d'un bâtiment. *AGP*.

Schéma organisationnel – Détail des lots de travail

Recherche et Développement, Innovation Technologique, Prototype

Lot 0 : Management et gestion du projet

Lot 1 : Prototype salle Callisto-SARI

MISE EN PLACE DES
EQUIPEMENTS DE REFERENCE

VISION

1A1

AUDIO

1A2

IHM

1A3

1A

1A4

MOYENS DE CALCULS

MISE EN PLACE/REALISATION DES LOGICIELS ADAPTES

1B

Navigation 3D
Simulations

1B1

Echelle 1/1

1B2

Interaction
temps réel
avec le
modèle

1B3

Lot 3 : Prototype Système Mobile

CONCRETISATION DES CONCEPTS
DANS UN SYSTEME MOBILE

Downsizing

3A1

Système
mobile

3A2

Inter-
connexion

3A3

3A

PERTINENCE D'UTILISATION ET APPROPRIATION PAR LES UTILISATEURS

1C

Lot 2 : Processus

PROCESSUS
ET
WORKFLOW

2A

CONTENU DE
REFERENCE –
DEMO
EVOLUTIVE

2B

Validation des contenus
Démonstration bâtiment évolutive

2B1

/ MEDIATION ET EXPLOITATION

Contenus hors bâtiment

2B2

/ MEDIATION ET EXPLOITATION

Données
d'entrée

Principaux livrables

Salle Callisto-SARI

- Système d'immersion visuel, sonore et système d'interactions 3D innovants.

Applications logicielles et algorithmiques pour

- Une meilleure intégration du traitement de la lumière et de l'acoustique;
- Une passerelle entre les applications de simulation spectrale (lumière, matériaux, son) et les applications temps réel;
- Le passage entre maquette numérique et maquette de rendu hyper réaliste. Outils de travail des Bureaux d'études → valorisation par l'infographie ;
- Une Interaction 3D adaptée, basée sur le geste.

Système mobile de RV

- Accessible pour permettre une diffusion plus large de ces techniques dans les métiers de la construction.

Sensibiliser le grand public et les corps de métiers liés au bâtiment aux usages de la réalité virtuelle pour les métiers de la construction par une vitrine accessible au sein d'un musée.

Introduire les technologies de réalité virtuelle et maquettes 3D dans une branche métier qui ne les utilise pas encore couramment tout au long de la chaîne de production : le BTP et l'Architecture.

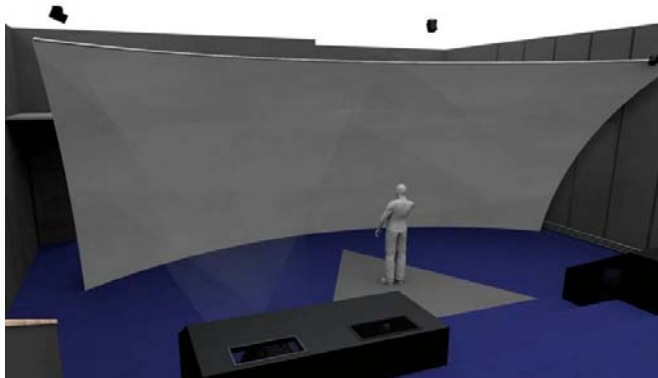
Décliner cette installation dans un système léger, mobile, à moindre coût, accessible au plus grand nombre d'acteurs.



1. Salle avant travaux



2. Numérisation 3D de la salle



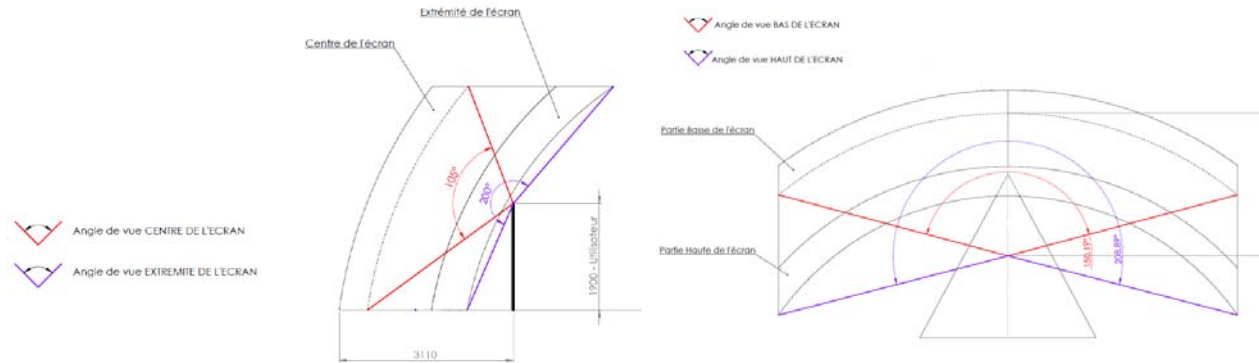
3. Modèle numérique d'étude



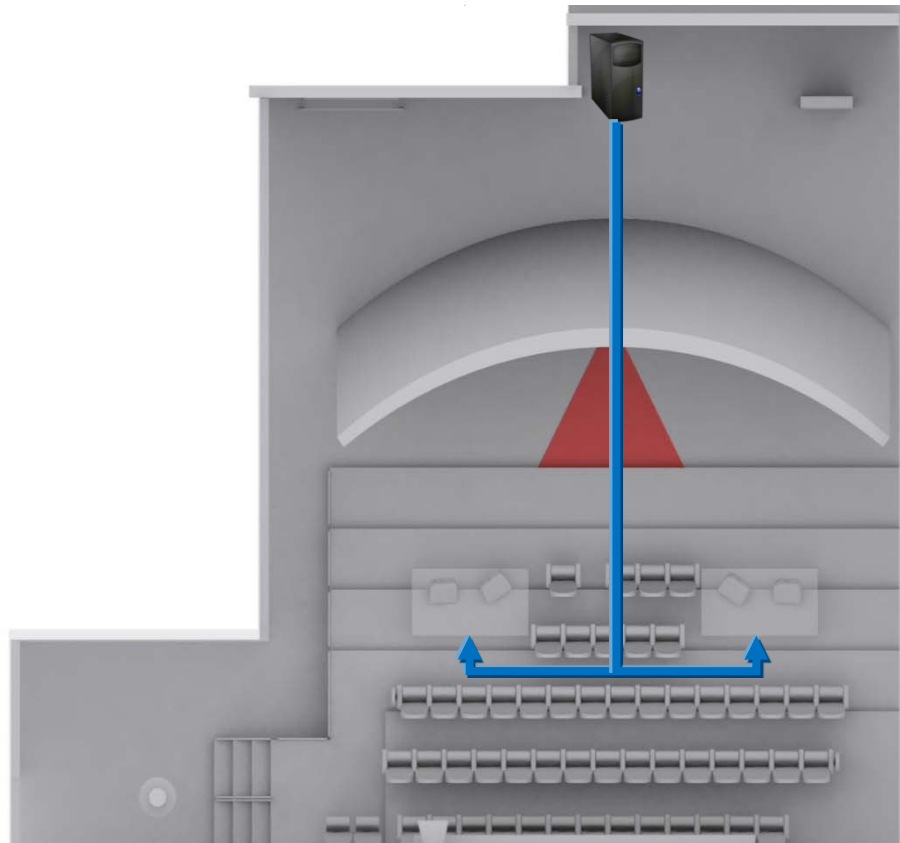
4. Installation de l'écran dans la salle.

Le systeme immersif installé





Configuration matériel serveur graphique



Liaison entre vidéoprojecteur et les cartes graphiques (Display Port – Dvi)

Besoin

Alimenter

- ✓ 8 vidéoprojecteurs
- ✓ Stéréoscopie active
- ✓ 1920 x 1200 résolution d'un vidéoprojecteur

Il faut générer

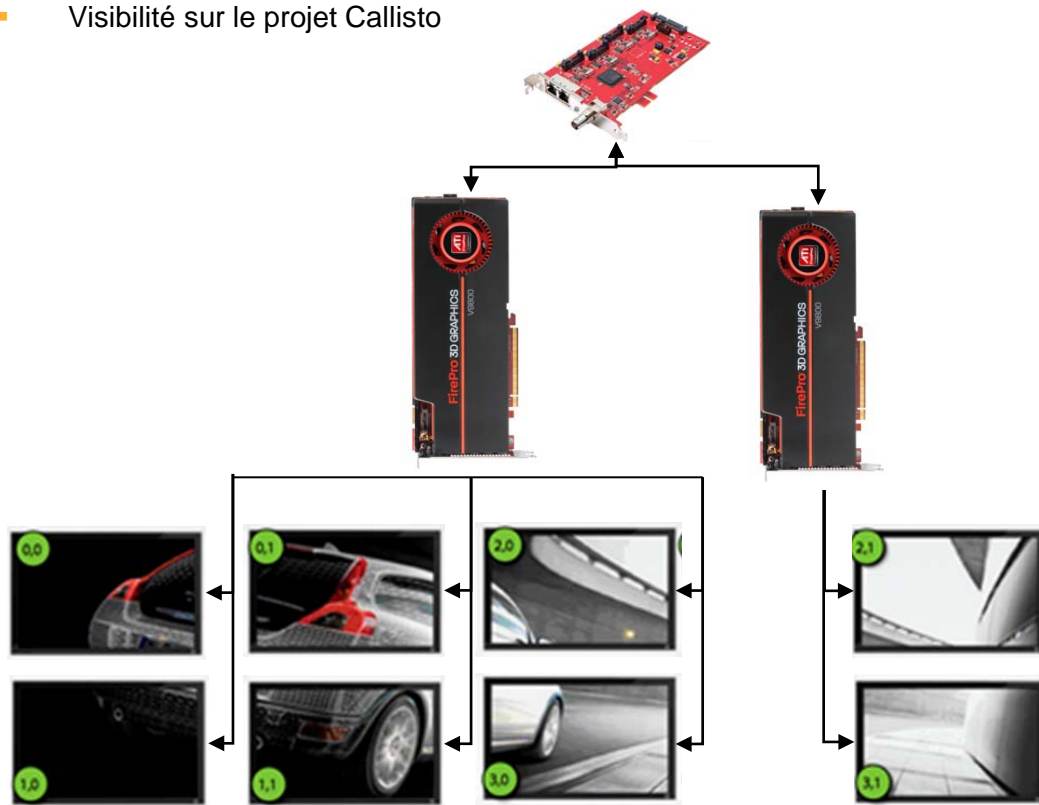
$2 \times 8 \times 1920 \times 1200$ pixels
= **37 millions pixels à 60 Hz**

- ✓ Base de données de plusieurs millions de triangles à afficher en temps réel

Serveur graphique configuration matériel

Partenariat AMD/ATI

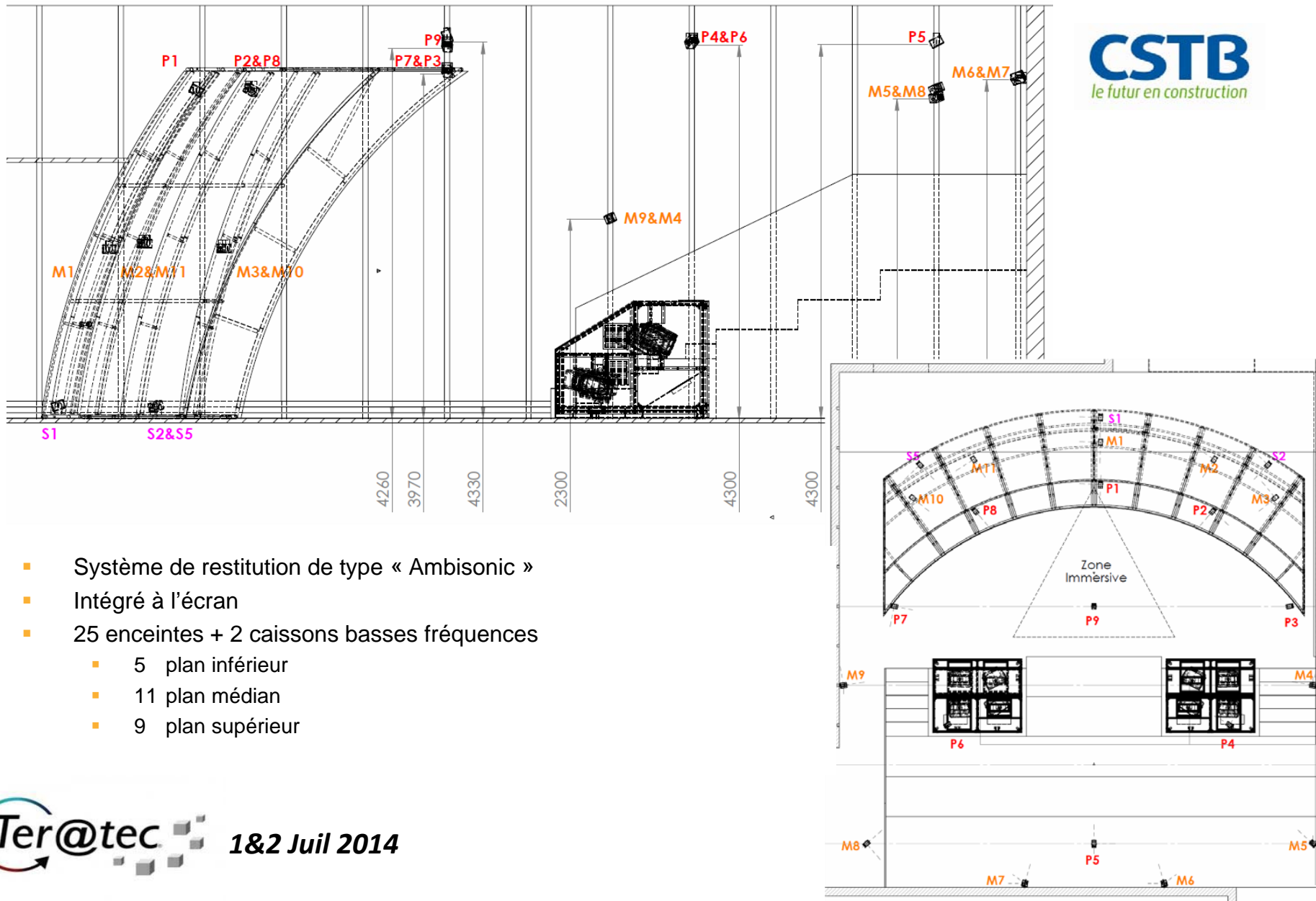
- Mise à disposition de solutions graphiques
- Accès au labs
- Équipe de développement spécifique pour le projet (drivers, implémentation particulière)
- Visibilité sur le projet Callisto



Serveur Graphique

- ✓ 2 cartes graphiques ATI FirePro « V9800+ »
- ✓ 1 carte de synchro ATI FirePro S400
- ✓ Sorties vidéos : 2 x 6 Mini Display Ports => 12 sorties (8 vidéoprojecteurs + 4 écrans de contrôle)
- ✓ Résolution : Prise en charge du format 4k pour chaque carte
- ✓ Stéréo active
- ✓ Bi -processeur Xeon E5-2640
- ✓ 64 Go de ram
- ✓ Système de stockage Raid 5

Restitution sonore 3D - Implantation





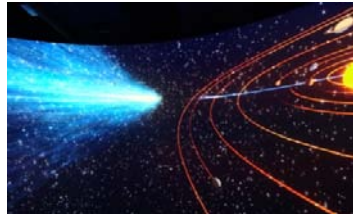
Plateforme logicielle Processus et contenus



AMD Eyefinity Technology Modulo Player



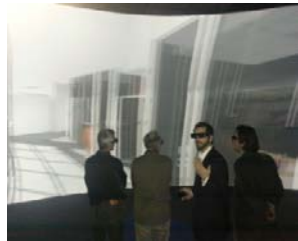
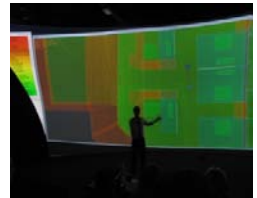
- Opérationnelle – Industrielle / médiation
- Bureau d'étude / recherche



OpenSceneGraph



eveBIM-



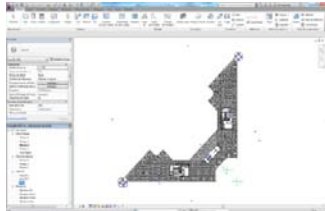
Processus Callisto

1/ Modélisation
Neuf ou Patrimoine

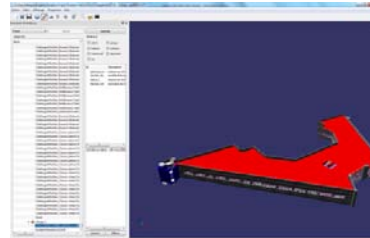
2/ Association des
matériaux , sources
& analyses

3/ Evaluations
Temps-réel

CAO BIM
Ex: Revit,
Revit Architecture,
ArchiCAD...



IFC

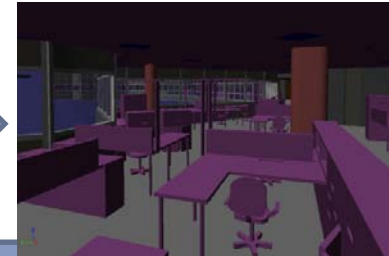


3D
& données de
simulations

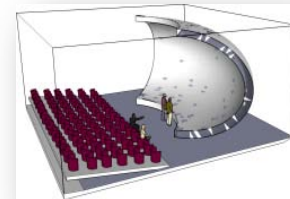
**Viewer
Callisto**



Interactions



Affichage
Multi
projecteurs



Acquisition
&
télémétrie



Analyses/ingénierie
Thermique,
Impact
Environnemental...

Configurateurs

Simulateurs
Temps-réels

BD Produits,
Matériaux,
Sources et textures

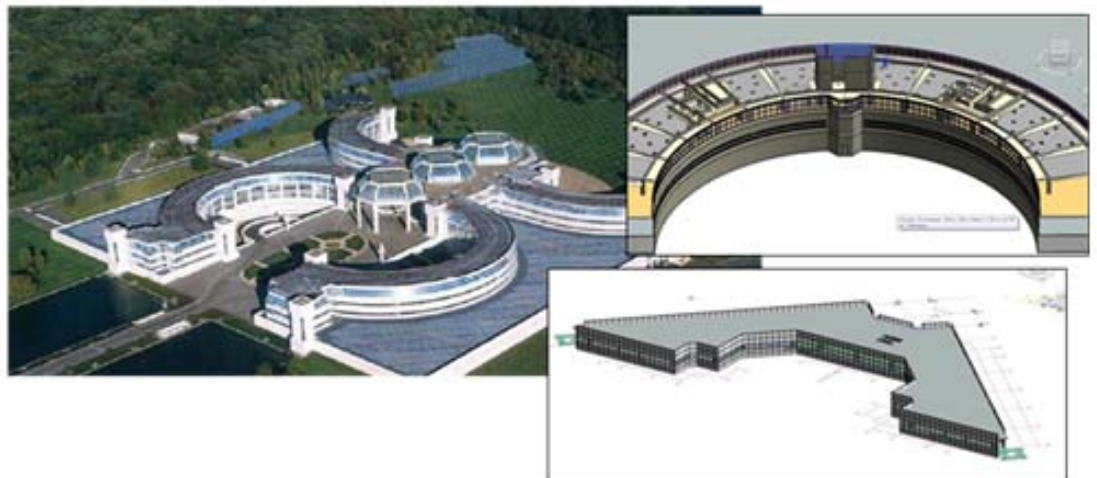
Le processus Industriel...

...En
Collaboration
avec AGP

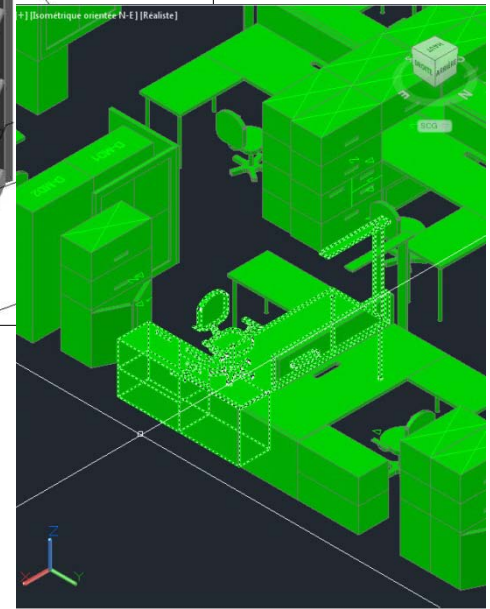
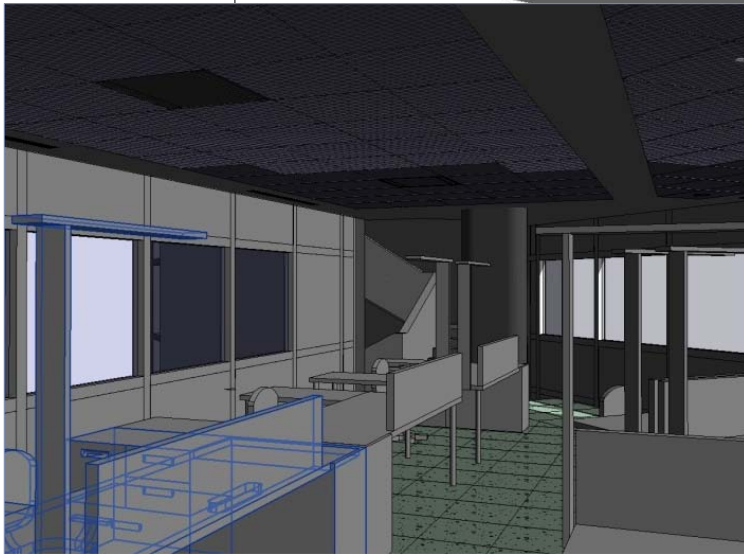
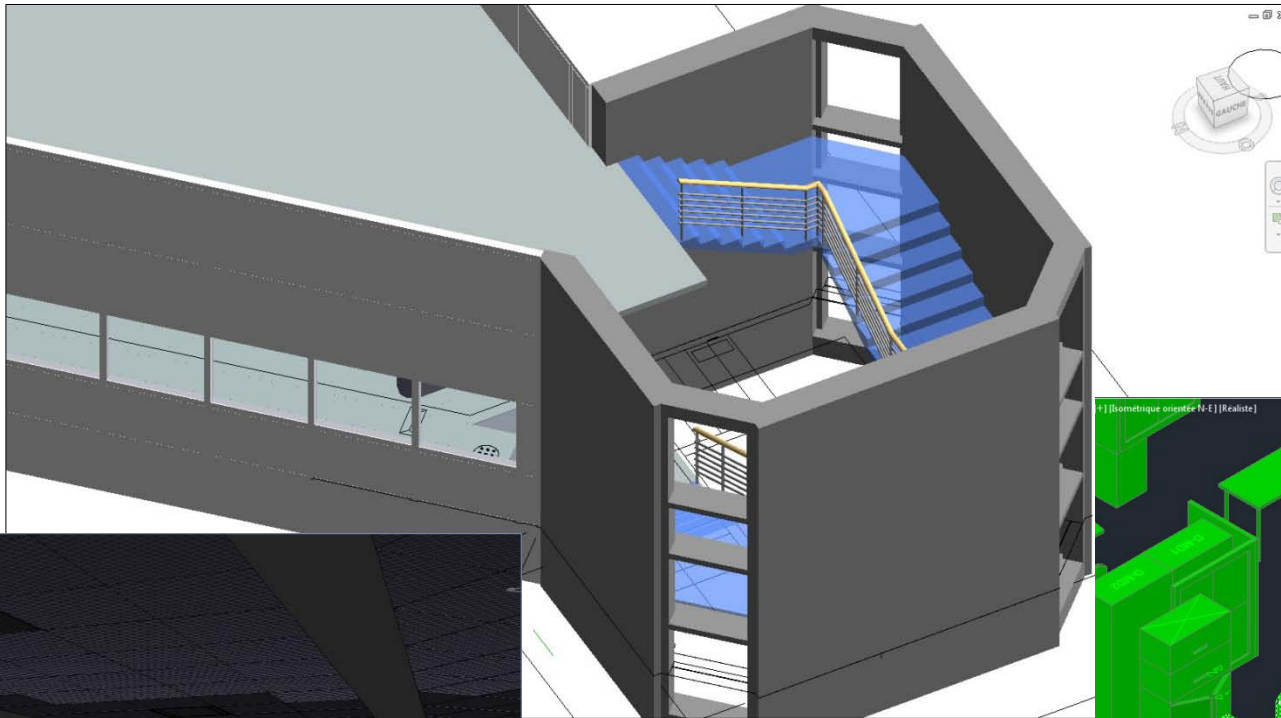


Image de rendu des bureaux (Challenger Triangle Nord) pour le Lot3 A2

- Modélisation de l'aile Nord-Ouest du bâtiment principal et du triangle Nord de Challenger (Siege de Bouygues).

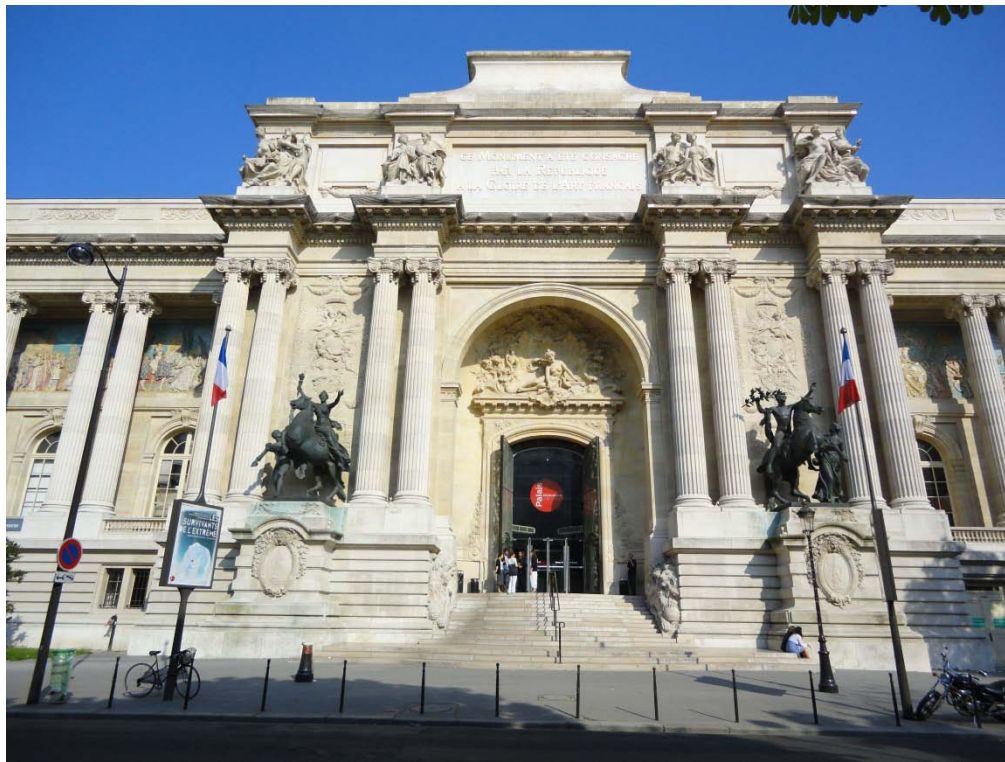


Modélisation du triangle Nord

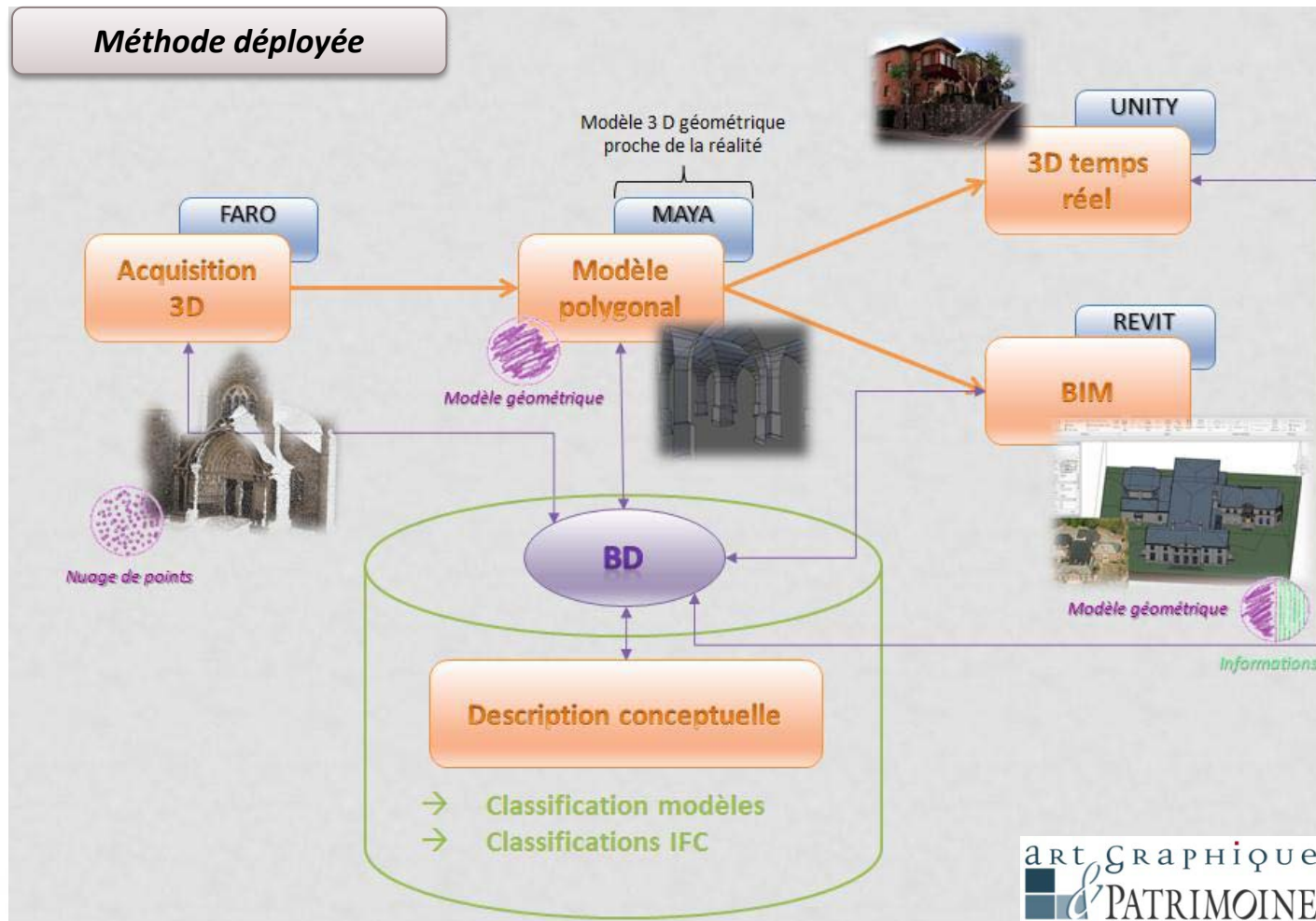


Numérisation et modélisation du Palais de la découverte (universcience),

- Modélisation du Grand Palais comprenant une zone du Palais de la découverte (universcience), et partiellement du Grand Palais (RMNGP) pour une visualisation de la traversée Est-Ouest.



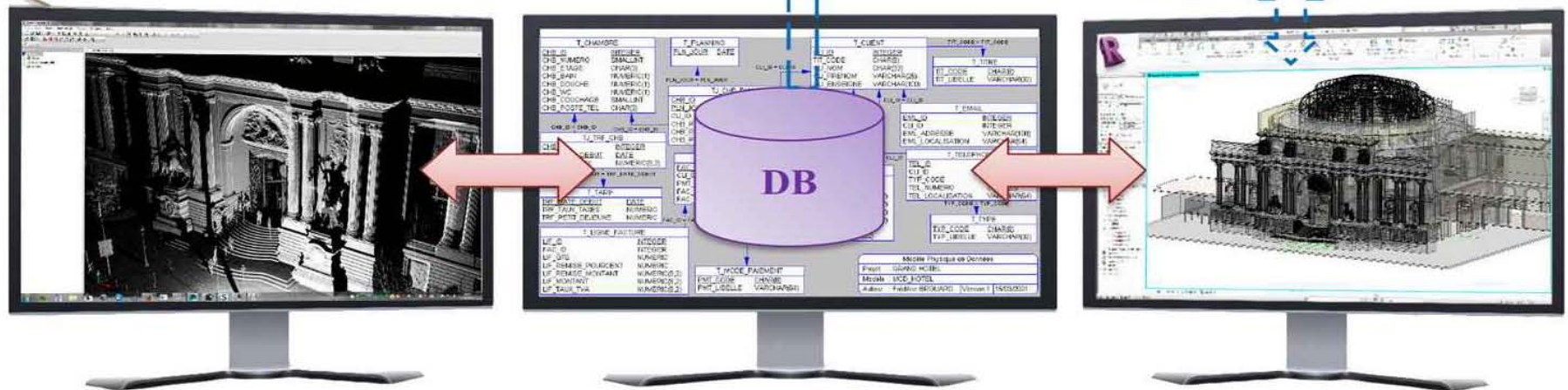
« Recherche d'une approche innovante pour la caractérisation sémantique de nuages de points d'édifices architecturaux »



Développement du processus de création du réel au virtuel « AS-BUILT BIM »

Segmentation tool

Revit Plugin



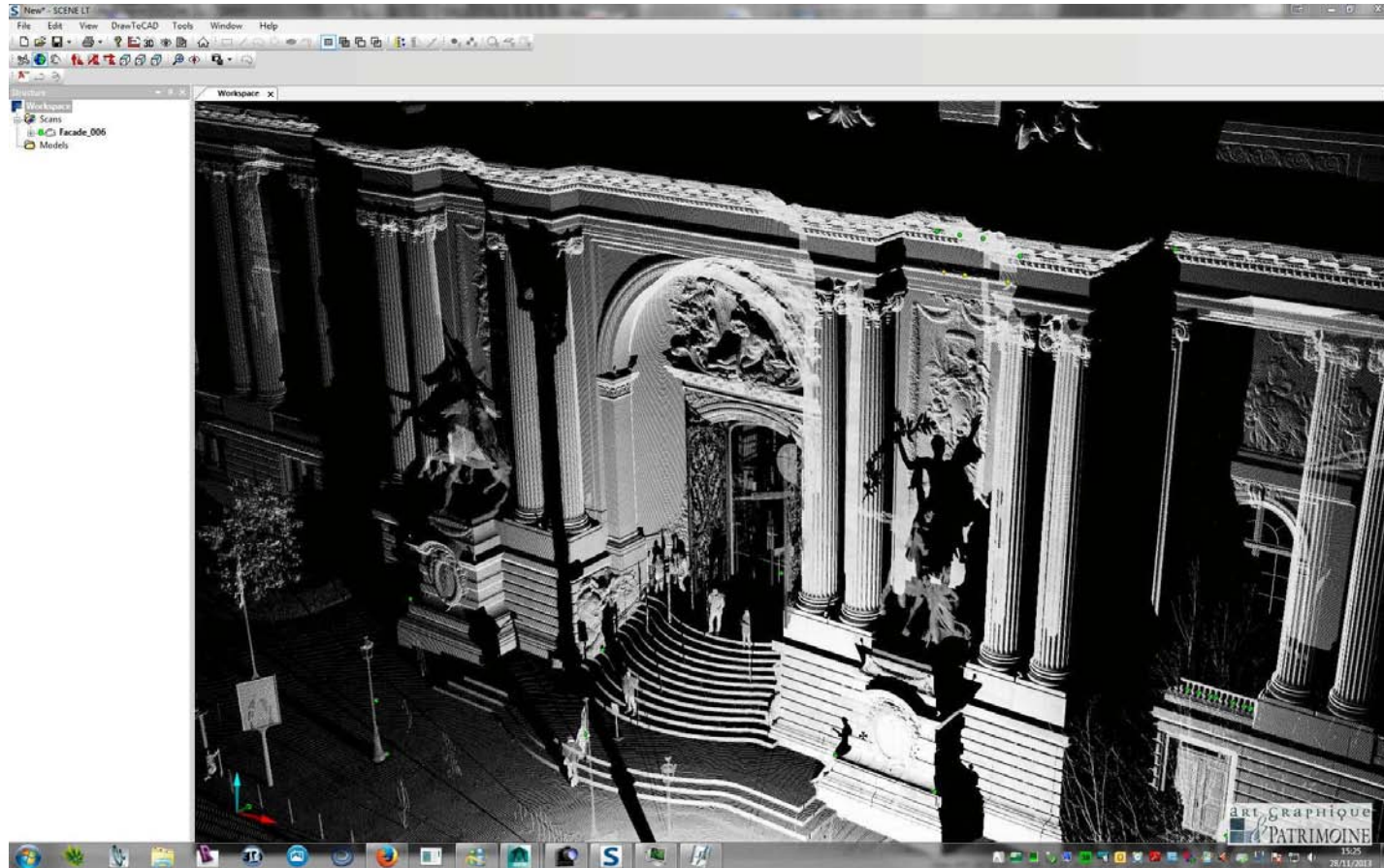
3D Acquisition
Point Cloud Management

Conceptual description
→ Model Classification
→ IFC Classification

Geometric Model
BIM

Relevé lasergrammétrique sur site:

Environ 750 positions de scan 3D d'un total de 30 milliards de points bruts.



Modélisation 3D en parallèle du processus de modélisation « AS-BUILT BIM » semi-automatique à partir des nuages de points.

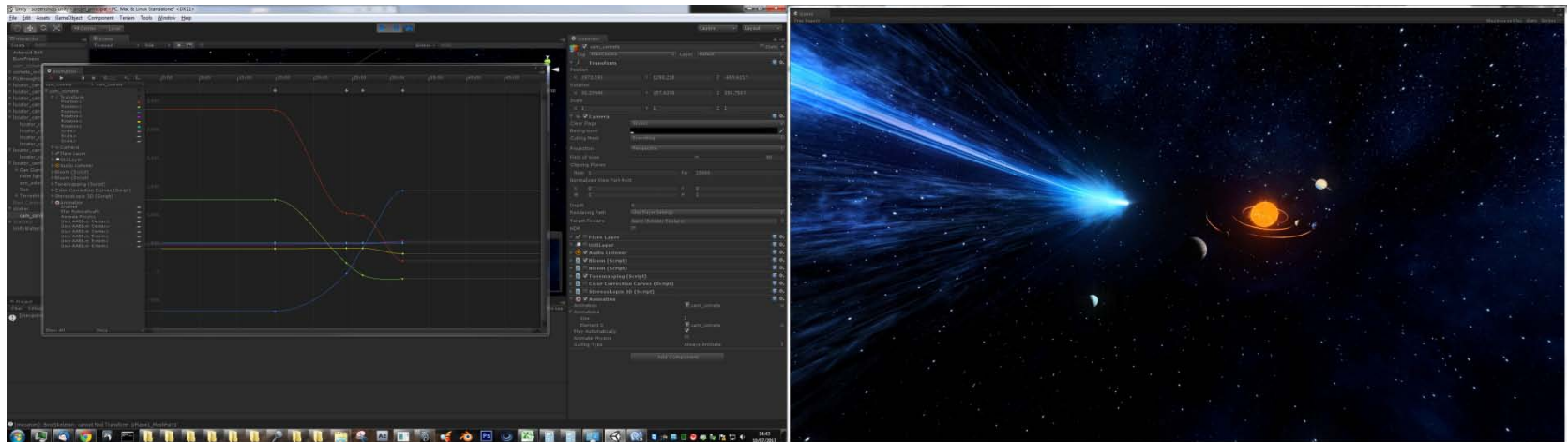


Modélisation 3D en parallèle du processus de modélisation « AS-BUILT BIM » semi-automatique à partir des nuages de points.



Développement d'une application 3D temps réel hors bâtiment grand public dans Unity

- Création de l'outil de médiation en partenariat avec Universcience.
- Développement de l'interface de médiation entre la tablette et la projection du système solaire 3D temps réel dynamique.
- Adaptation du modèle 3D, des focales de déambulation et du relief par rapport aux contraintes de l'écran hémisphérique.



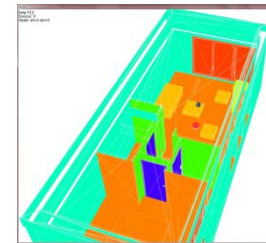
Développement d'une application 3D temps réel hors bâtiment grand public dans Unity



Processus Bureau d'étude/ recherche :

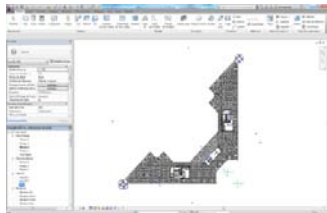
une chaîne intégrée et automatique
du BIM aux simulations physiques
sonores et d'éclairage

Simulation sonore
CSTB Auralies



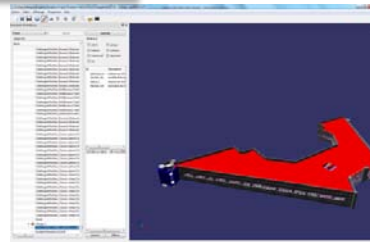
Simulation d'éclairage
CSTB Phanie

CAO BIM (ex: Revit)



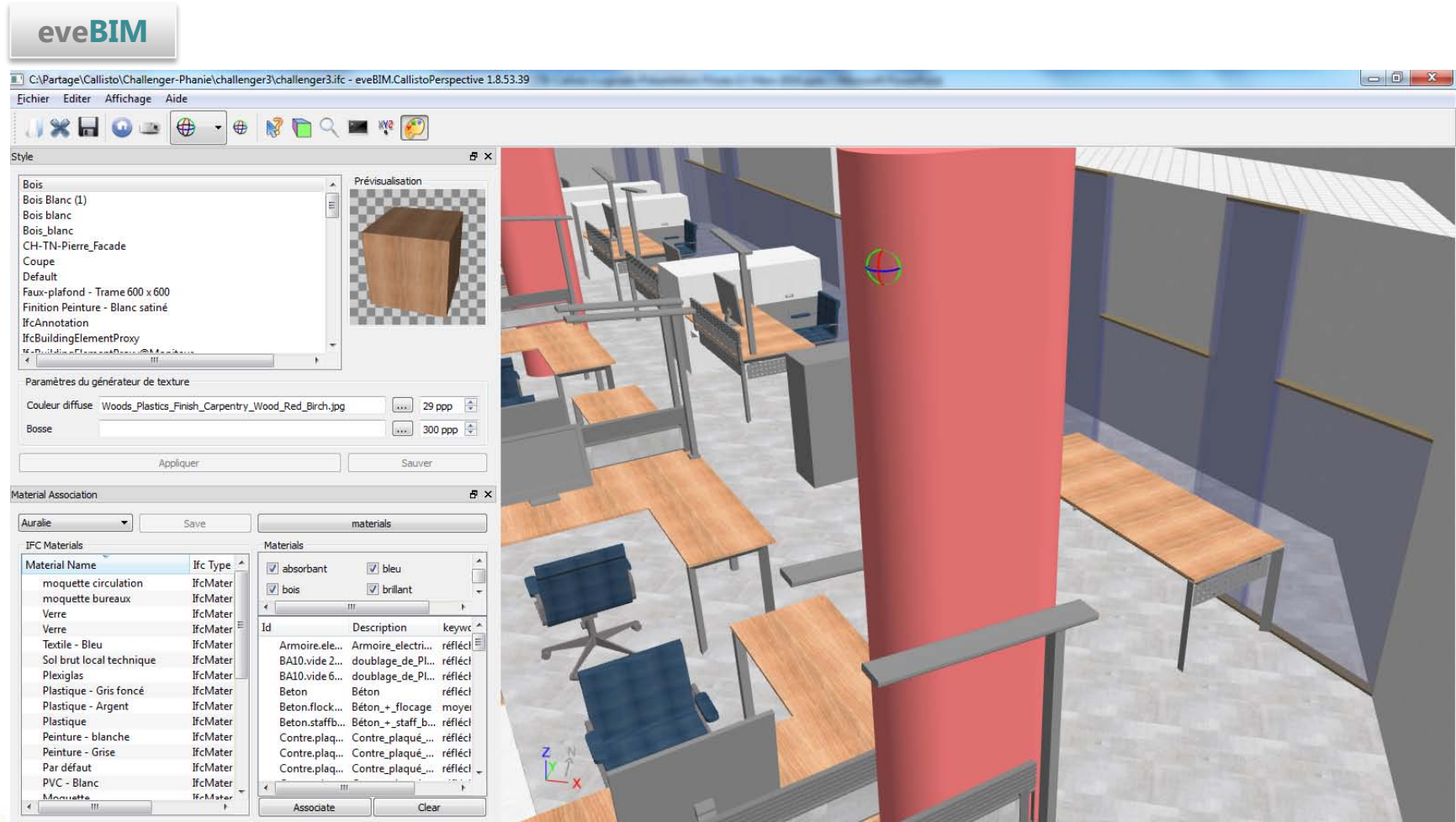
IFC

eveBIM

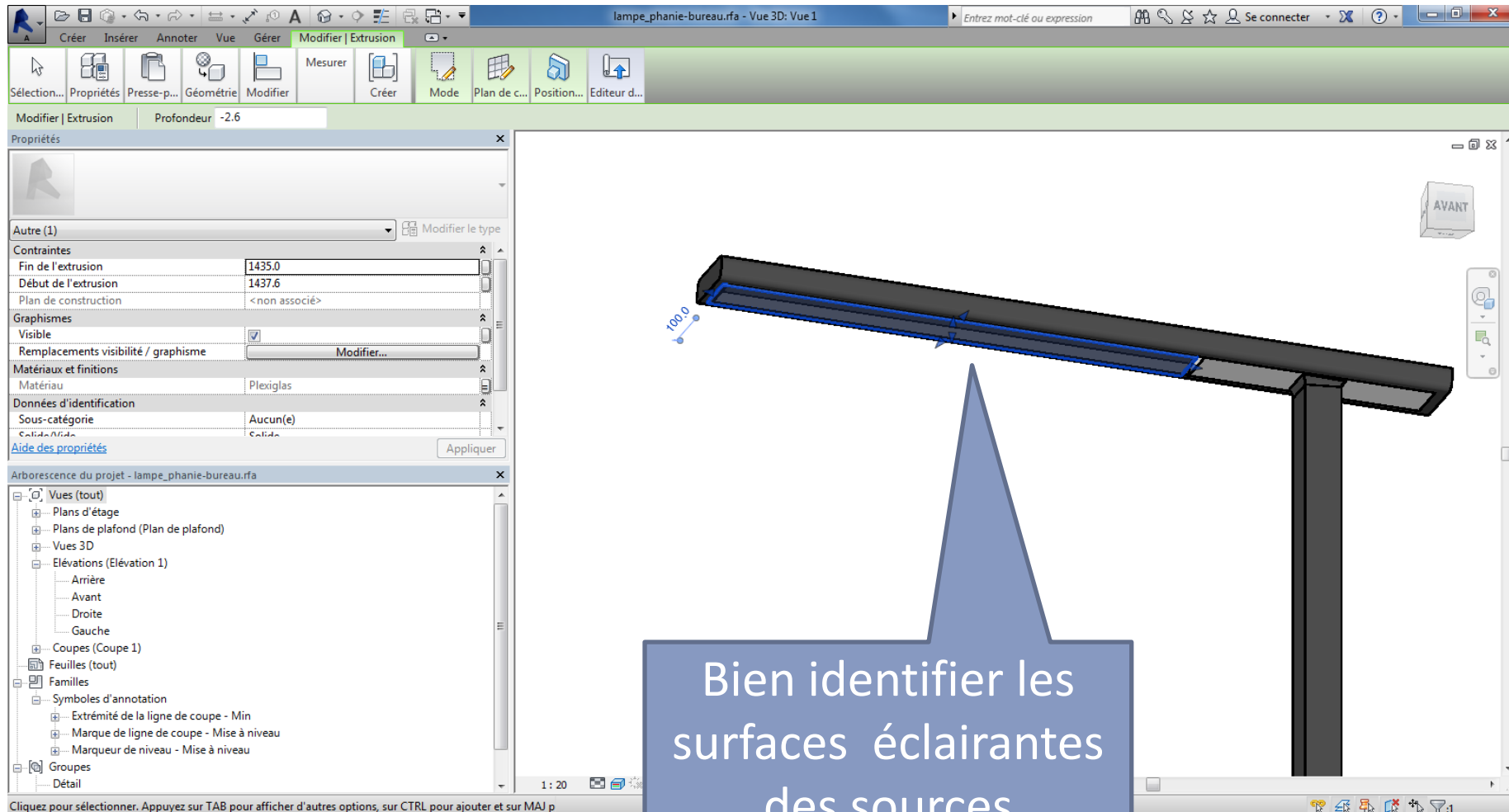


BD Produits, Matériaux, Sources et textures

Enrichissement du BIM avec les propriétés des matériaux et leurs textures

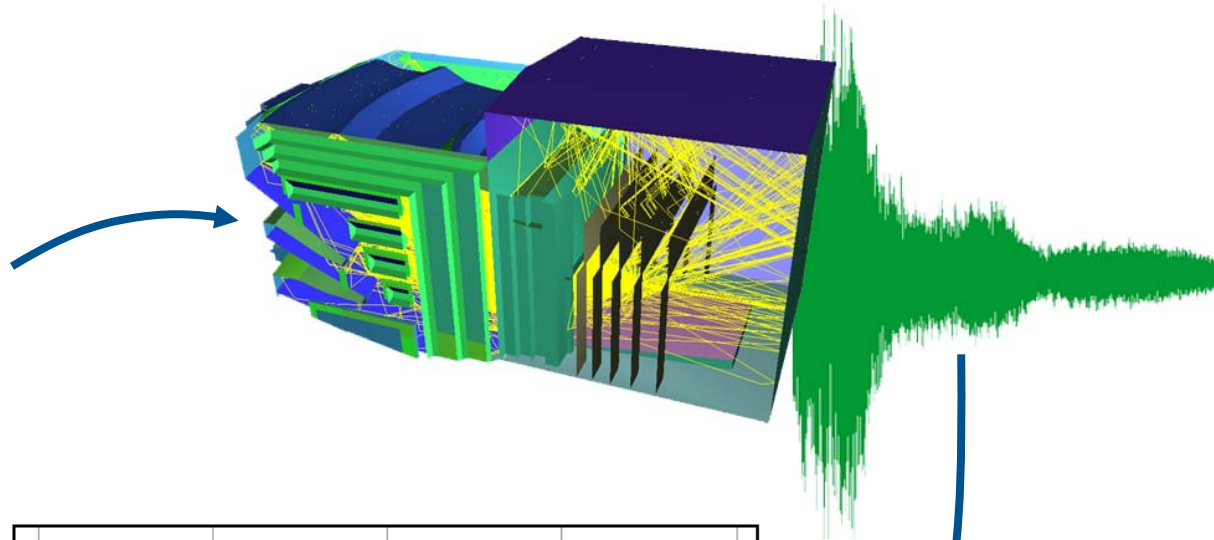


Sources lumineuses, dans le BIM (Revit)



- Restituer l'environnement sonore virtuel d'un volume complexe
- Rendu physiquement valide basé sur une modélisation des phénomènes de propagation acoustique
- Rendu dynamique basé sur une implémentation temps réel (déplacement auditeur, sources, changements matériaux)
- Spatialisation 3D des contributions spéculaires

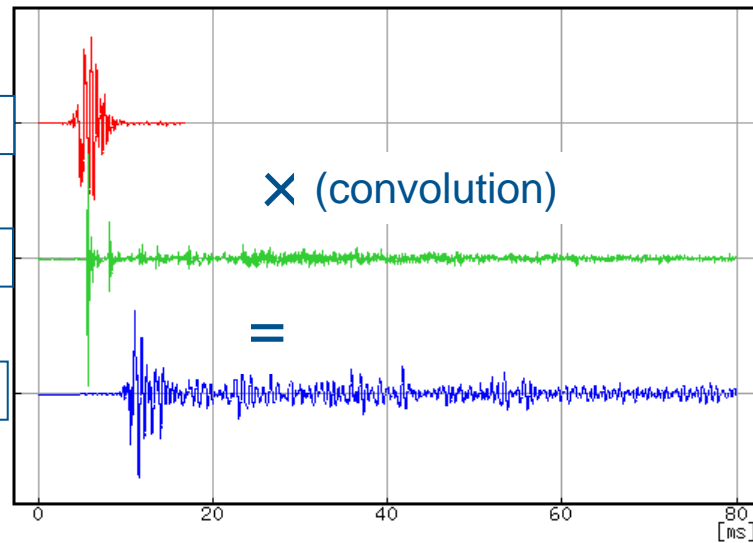
Principes



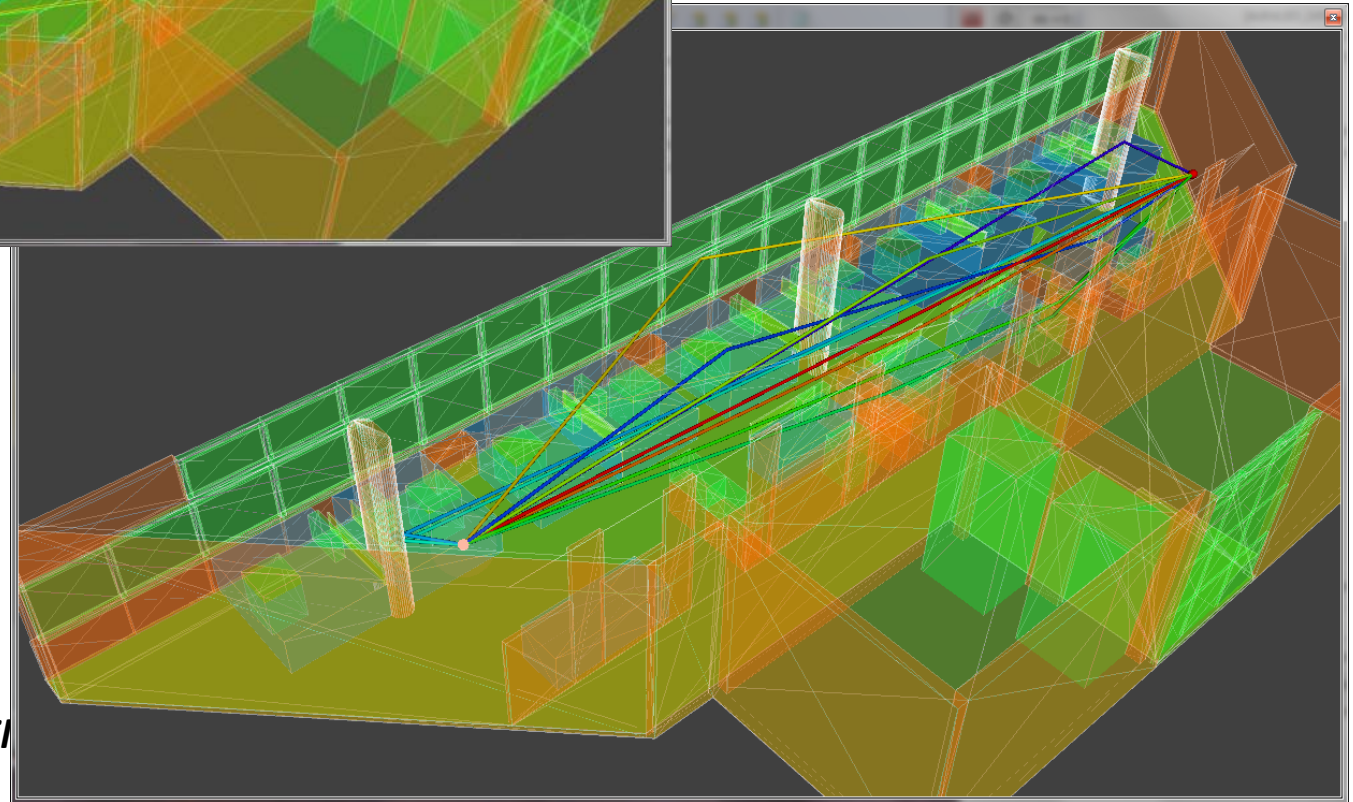
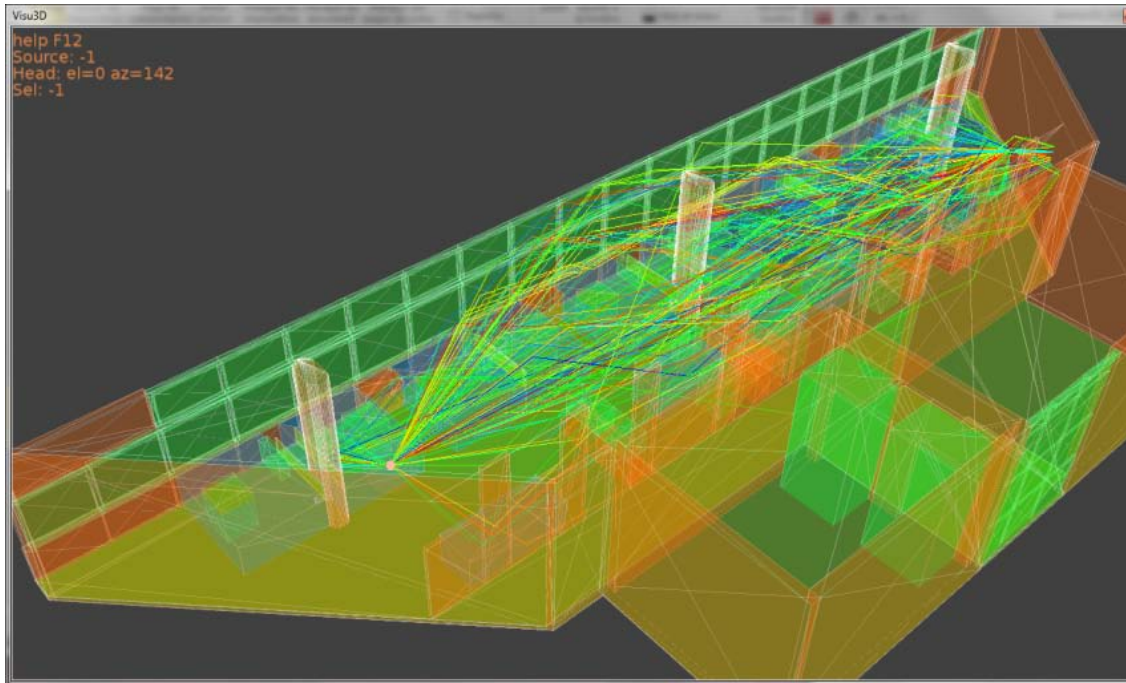
Signal source anéchoïque

Réponse impulsionnelle

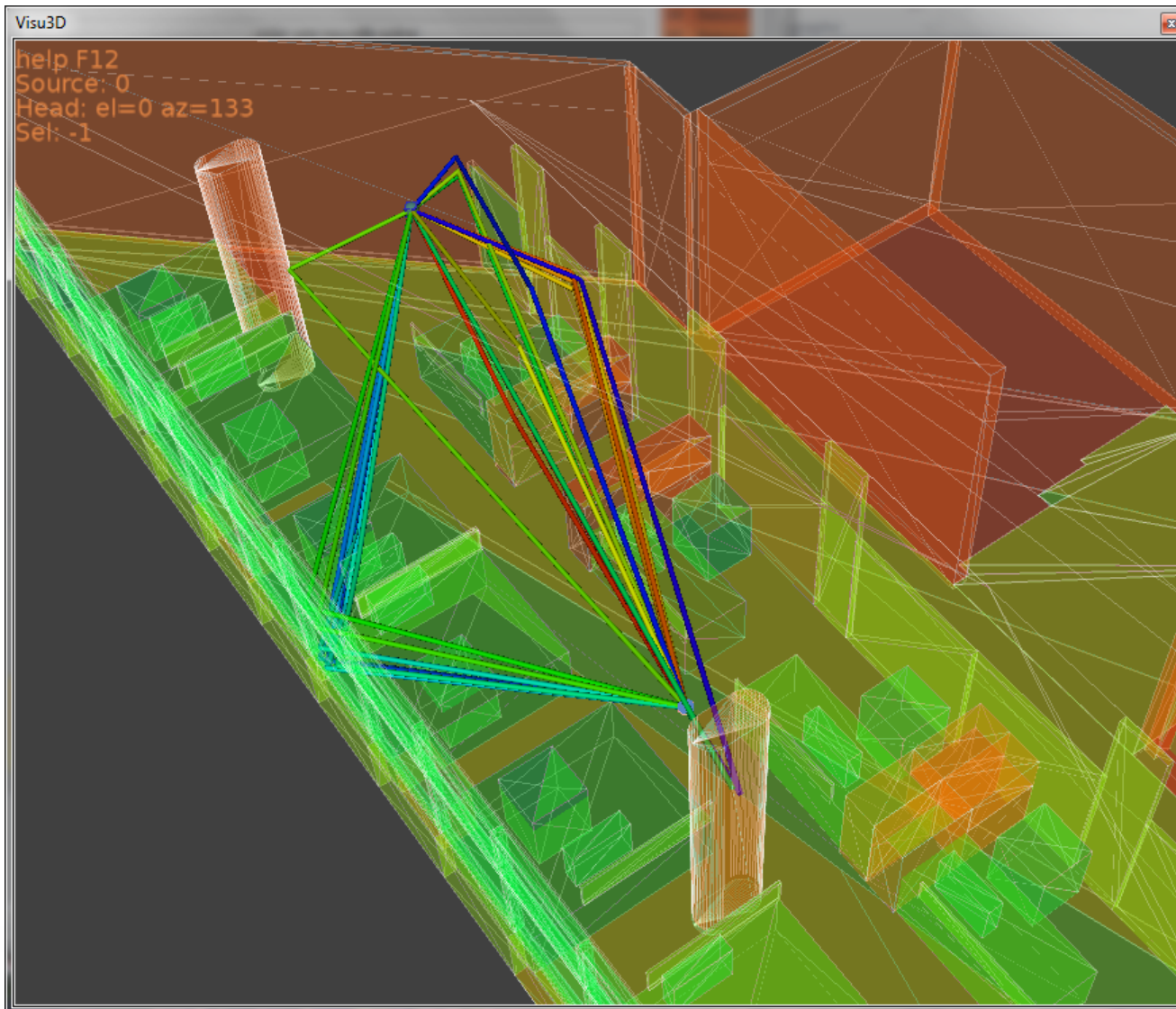
Signal restitué



Lancer de rayons diffus et spéculaire



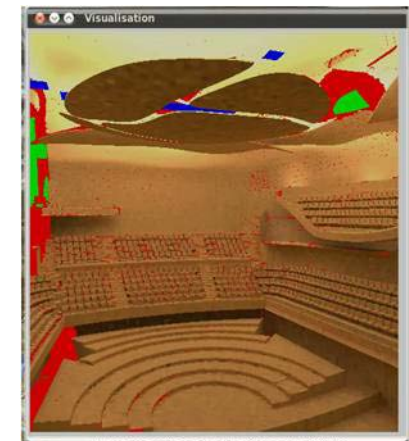
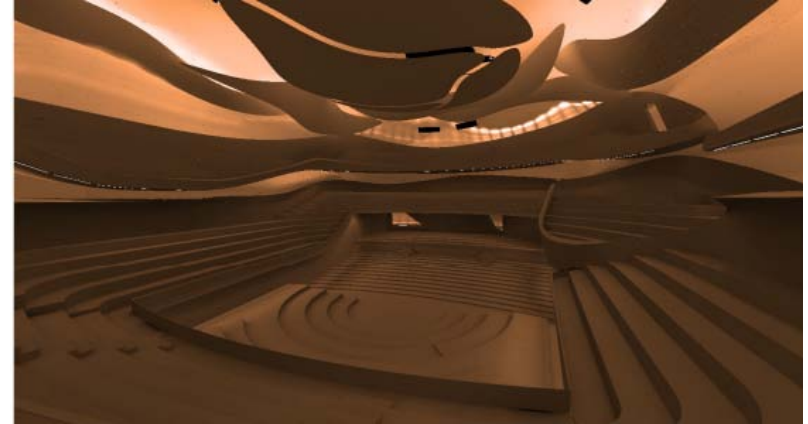
Déplacement auditeur - mise à jour des contributions spéculaires



Simulations d'éclairage avec Phanie

Outils de simulation d'éclairage et de navigation en temps-réel.

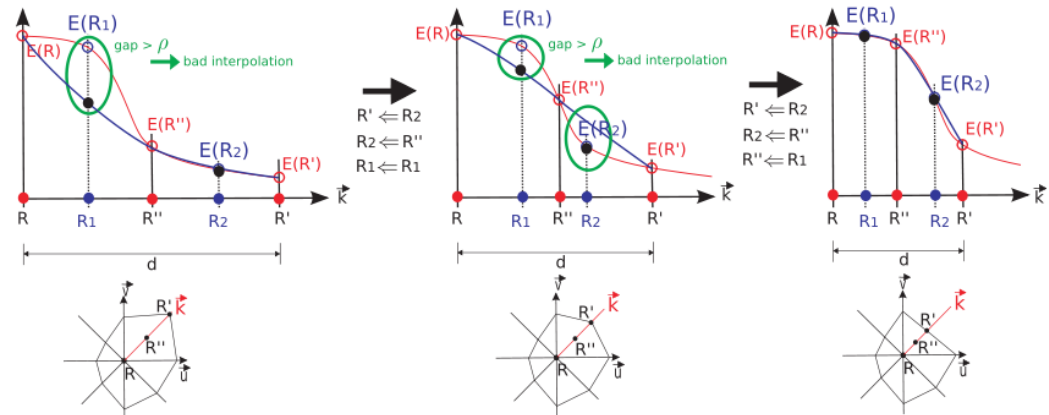
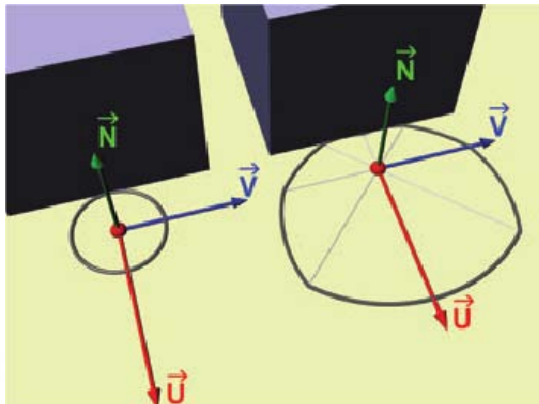
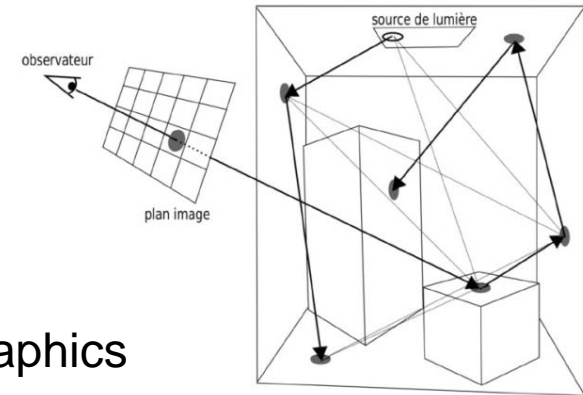
- Contraintes
 - Grands volumes
 - Éclairage naturel et artificiel
 - Sources très nombreuses et surfaciques
 - Matériaux diffus et brillants
 - Multiples inter-réflexions
 - Navigation fluide
- Méthode de simulation retenue
 - Suivi de chemins
 - Cache d'éclairement – enregistrements adaptatifs
 - Extensions pour les matériaux brillants
- Méthode de visualisation retenue
 - Exploitation des cartes graphiques (GPU)
 - Détermination (rapide) des enregistrements associés à chaque pixel
 - Détermination (rapide) de la luminance
 - Prise en compte des matériaux brillants



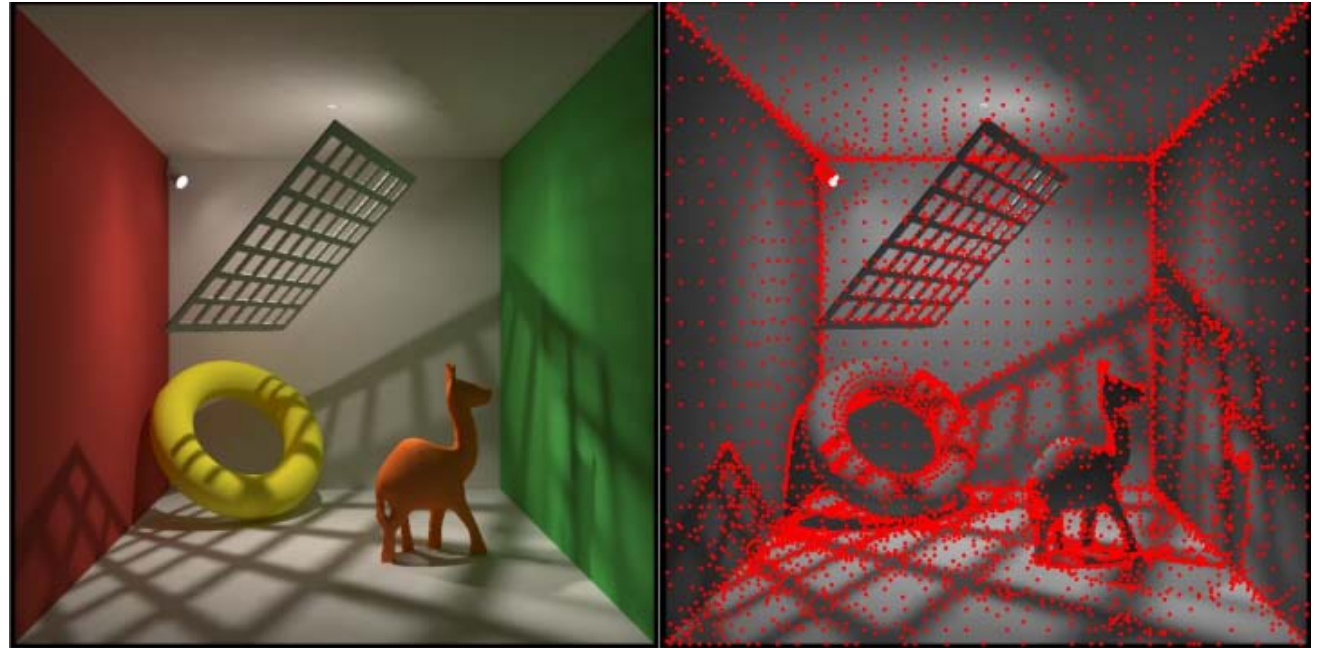
Simulation d'éclairage Navigation temps réel

Méthode : Le suivi de chemins avec cache d'éclairage

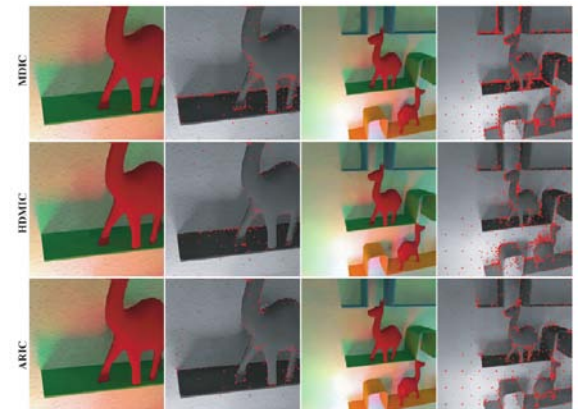
- Exploitation de la cohérence spatiale, stockage d'enregistrements.
- Définition de zones d'influence adaptatives
- Définition de gradients, intégration de l'éclairage direct.
- Adaptive Records for Irradiance Caching, Computer Graphics Forum, septembre 2011



Résultats de la méthode de simulation



- Minimisation du nombre d'enregistrements
- Représentation fidèle des ombres et pénombres
- Génération d'images rapides (seconde)
- Extension possible aux matériaux brillants



Caractérisation des matériaux

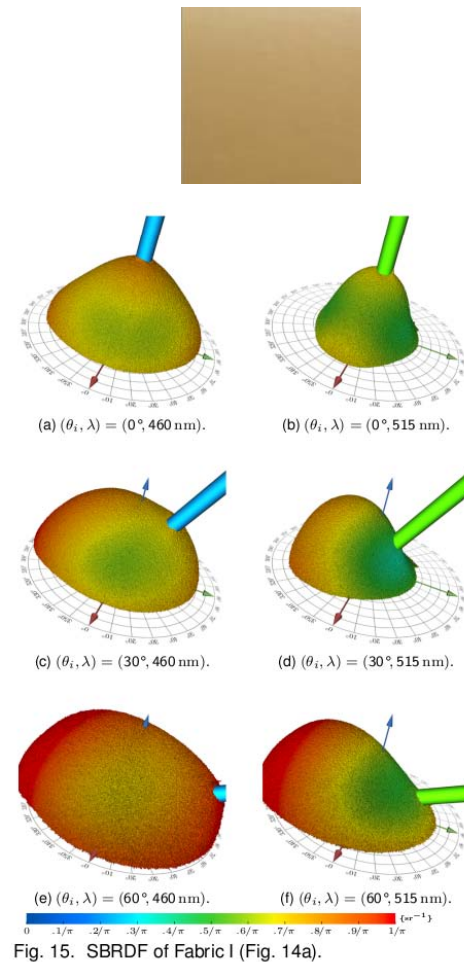


Fig. 15. SBRDF of Fabric I (Fig. 14a).

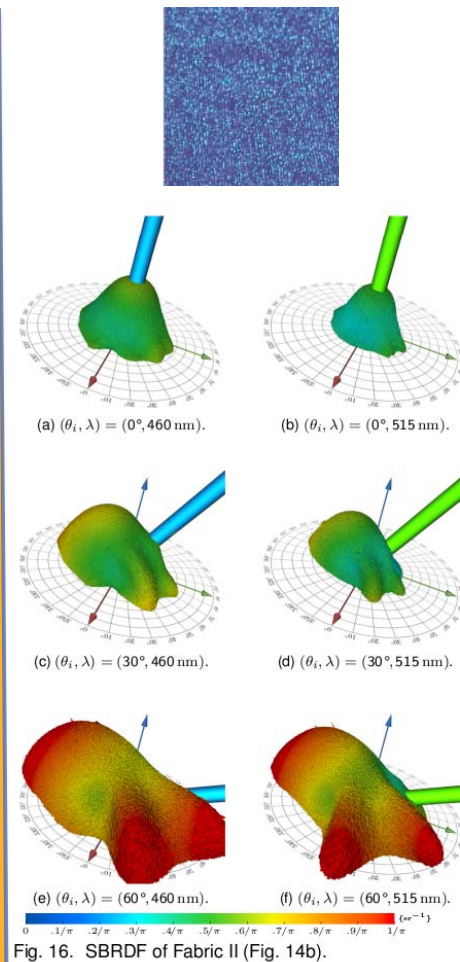
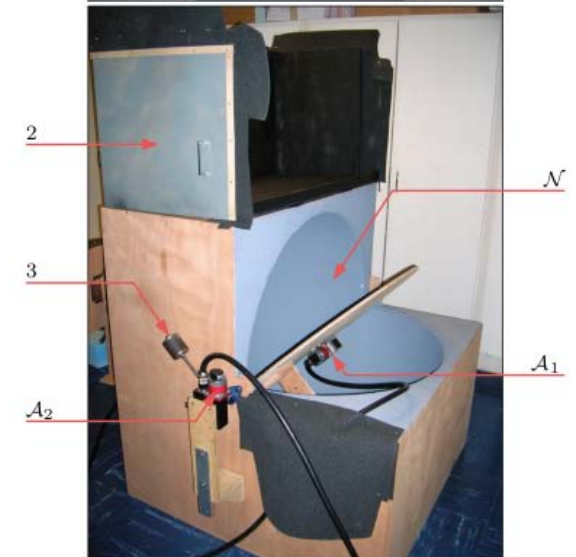
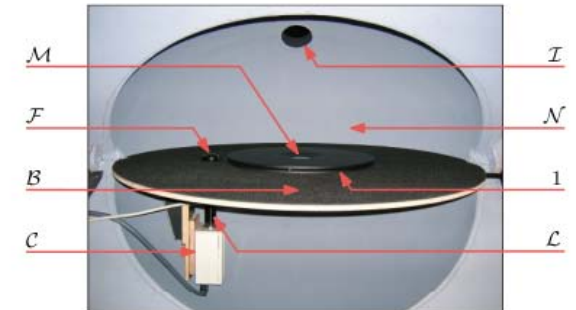


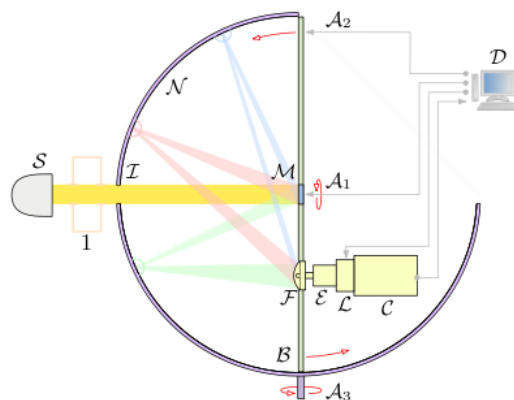
Fig. 16. SBRDF of Fabric II (Fig. 14b).

Caractérisation des matériaux

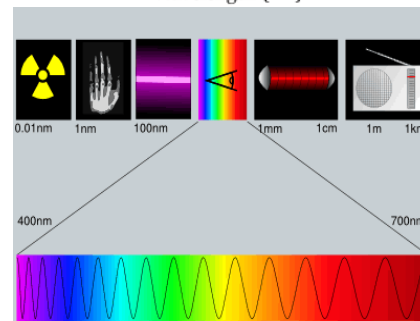
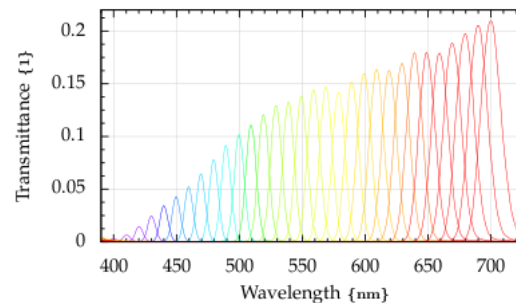
- Banc de mesure imageant rapide
- Brdf spectrale
- Publication (P. Boulenguez)



\mathcal{N} : screen, \mathcal{M} : material, \mathcal{I} : aperture, \mathcal{B} : base,
 \mathcal{C} : camera, \mathcal{L} : LCTF, \mathcal{F} : fisheye, \mathcal{A}_1 : axis \mathcal{M} ,
 \mathcal{A}_2 : axis \mathcal{B} , (1: \mathcal{M} 's holder, 2: hood, 3: counterweight).

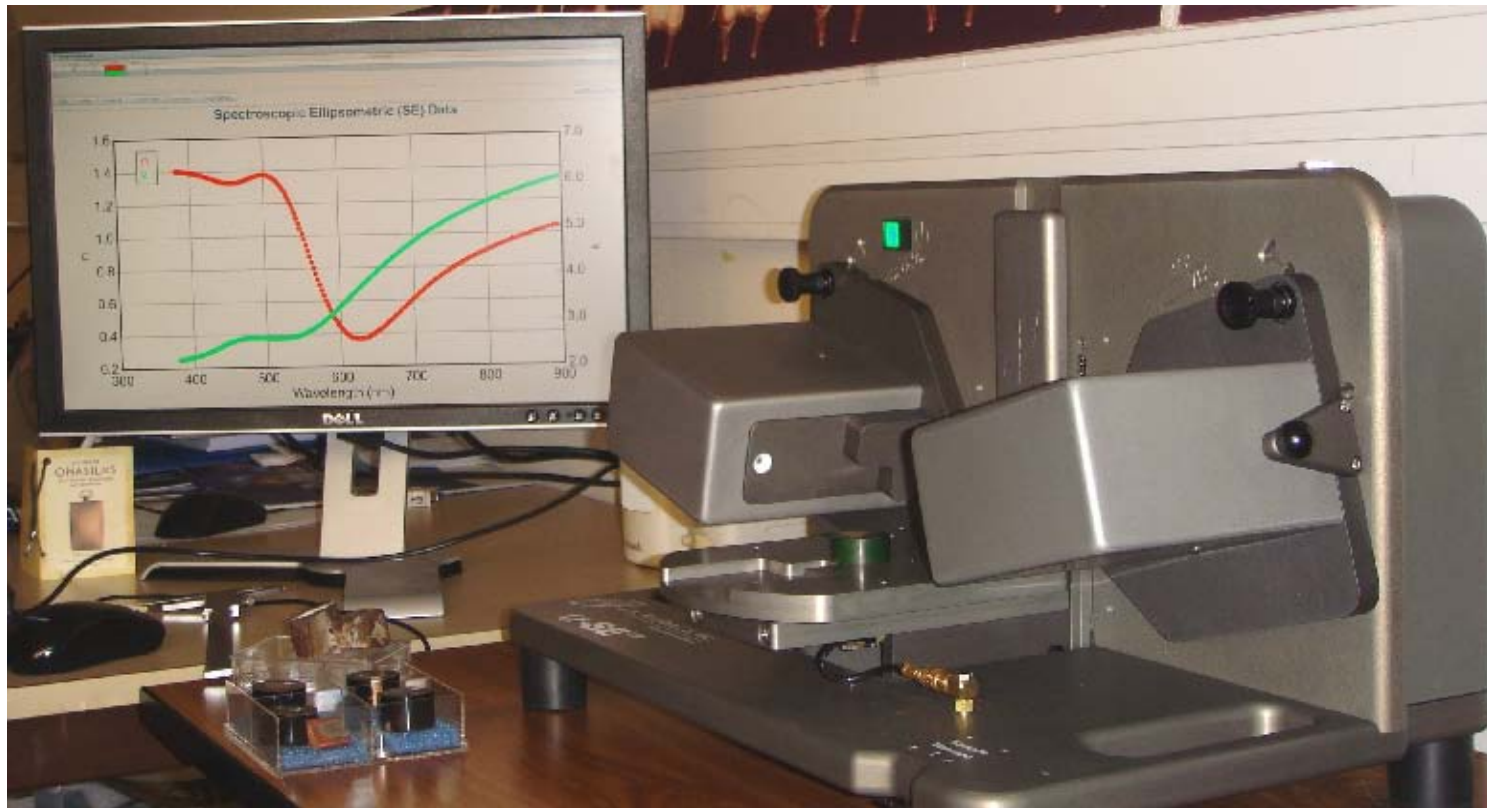


\mathcal{M} : material (sample surf.), \mathcal{S} : source, \mathcal{I} : aperture,
 \mathcal{N} : Lambertian screen, \mathcal{B} : base (dark coat.), \mathcal{C} : CCD cam.
 \mathcal{L} : tunable filter (LCTF), \mathcal{F} : adapter, \mathcal{F} : fisheye,
 \mathcal{A}_1 : axis \mathcal{M}/φ_i ($[0; 2\pi]$), \mathcal{A}_2 : axis \mathcal{B}/θ_i ($[0; \frac{\pi}{2}]$), \mathcal{D} : driver,
 \mathcal{A}_3 : axis \mathcal{N}/θ_i ($\{0; \pi\}$), (1: diaphragms).



Caractérisation des matériaux

- Acquisition de données :
 - Ellipsomètre spectroscopique ALPHA-SE WOOLLAM



Modélisation des matériaux

- Détermination automatique des paramètres de modèles (lobes de Lafortune)
- Pré-calculs et modélisations
- Définition de Sources Surfaceutes Équivalentes (SSE) pour les matériaux brillants
- Thèse en cours

$$L_r(x, \vec{\omega}_r, \lambda) = \int_{\Omega} L(x, \vec{\omega}_i, \lambda) f_r(x, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_i) d(\omega_i)$$

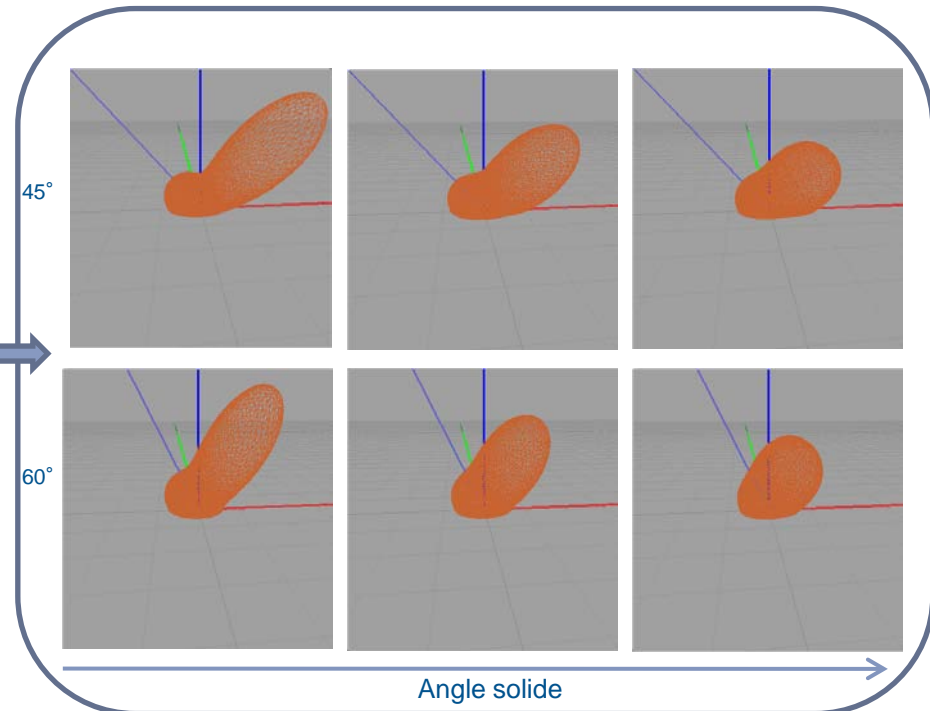
$$L_r(x, \vec{\omega}_r, \lambda) = \sum_{i=1}^n \int_{\Omega_i} L_i(x, \vec{\omega}_{in}, \lambda) f_r(x, \vec{\omega}_{in}, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_{in}) d(\omega_{in})$$

Pour chaque SSE

$$L_{r_i}(x, \vec{\omega}_r, \lambda) \approx L_i(x, \vec{\omega}_i, \lambda) \int_{\Omega_i} f_r(x, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_i) d(\omega_i)$$

$$L_{r_i}(x, \vec{\omega}_r, \lambda) \approx Ecl_i(\lambda) * \frac{\int_{\Omega_i} f_r(x, \vec{\omega}_i, \vec{\omega}_r, \lambda) \cos(\theta_i) d(\omega_i)}{\int_{\Omega_i} \cos(\theta) d(\omega_i)}$$

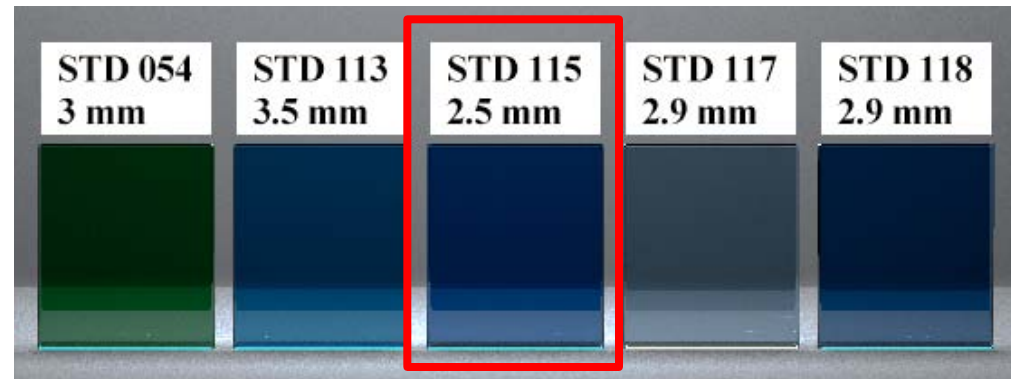
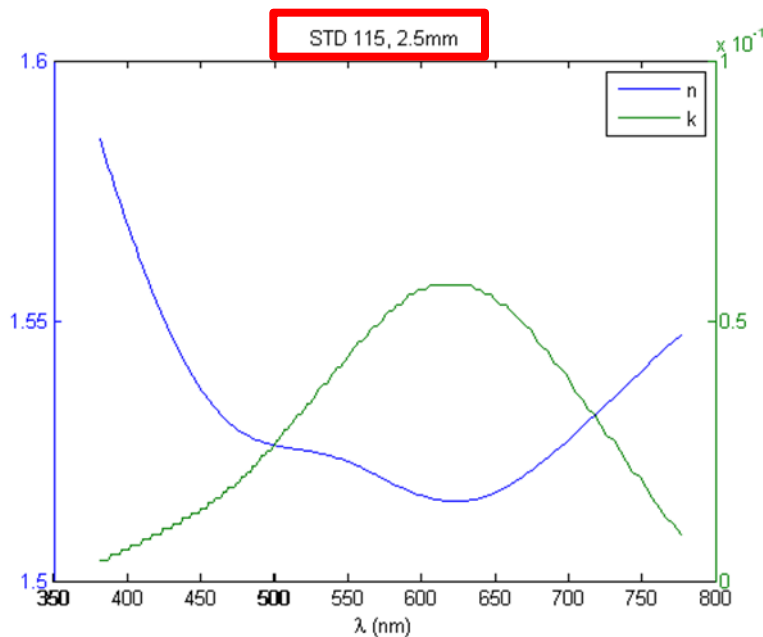
Termes pré-calculés
et modélisés



Modélisation des matériaux

■ Acquisition de données:

- Ellipsométrie spectroscopique : acquisition d'indices de réfraction complexes de verres colorés, de métaux, d'alliages, de couches minces (verres antireflets, vernis, etc.)



Modélisation des matériaux

Challenger et la simulation spectrale : mars 2014

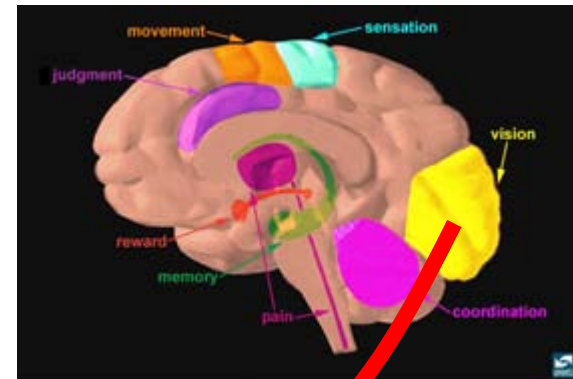
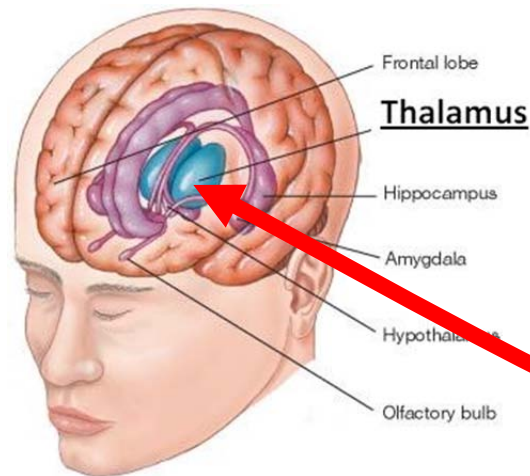


Interaction - Interfaces

Conflits sensoriels en réalité virtuelle : cyber malaise

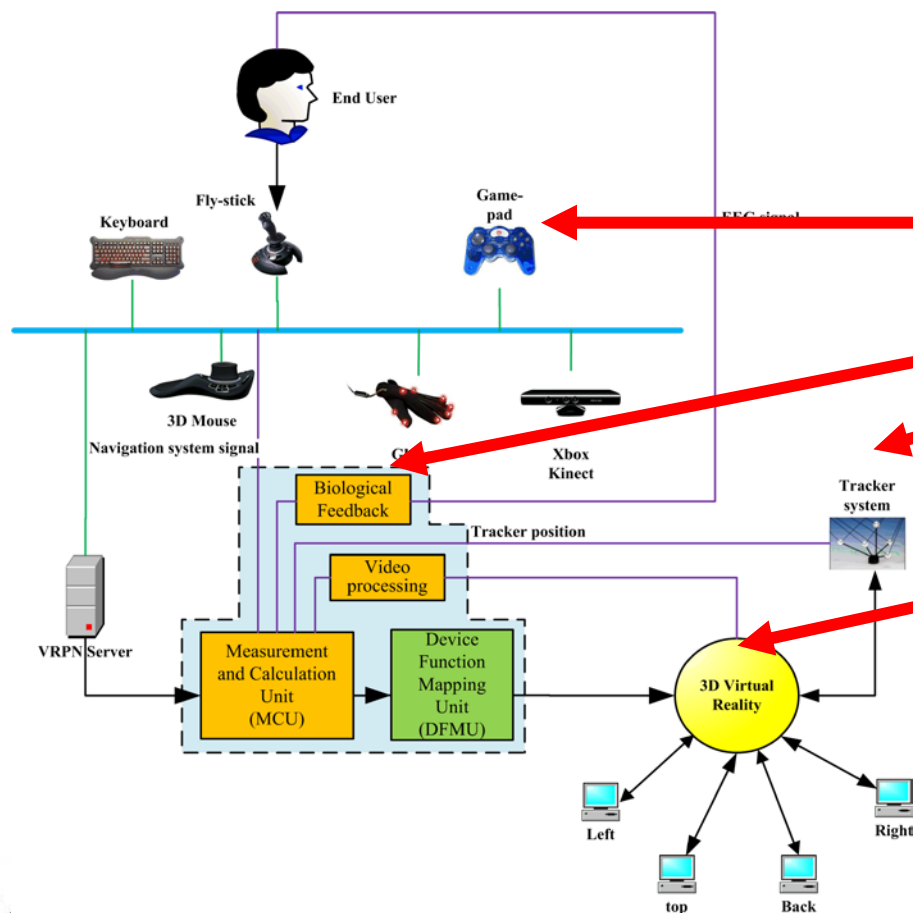
- Difference entre vitesse des images et perception visuelle
- Dans le cerveau, le thalamus est responsable des nausées en 3D : vertiges ou mal des transport (motion-sickness)
- Le Thalamus reçoit directement ses informations des aires cérébrales de la vision

Cinetosis et cyber-malaise



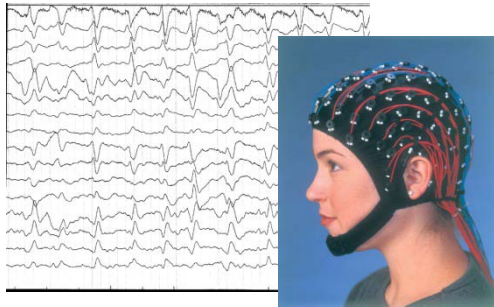
Conflits sensoriels en réalité virtuelle : cyber malaise

Etude des solutions



1. Commande des périphériques de contrôle
2. Retours biologiques
3. Suivi de la position
4. Mesure caméra externe
5. Accélération et vitesse
6. Images 3D virtuelles

Conflits sensoriels en réalité virtuelle : cyber malaise



Signaux cerveau (EEG)



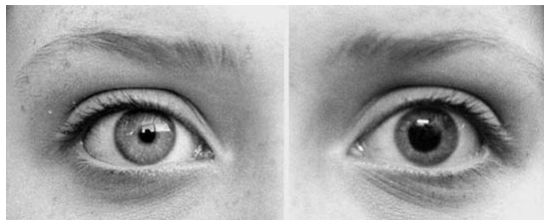
Pression artérielle



Pouls



Résistance de la peau



Dilatation de la pupille



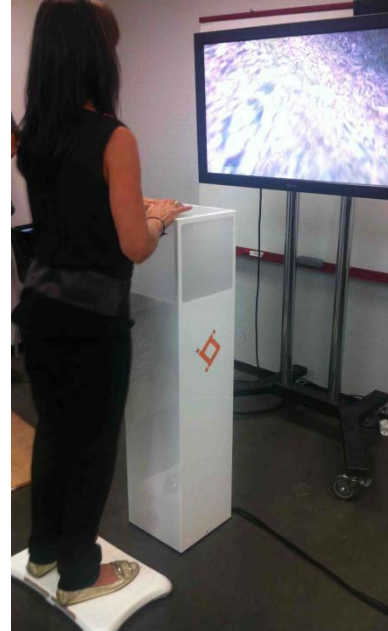
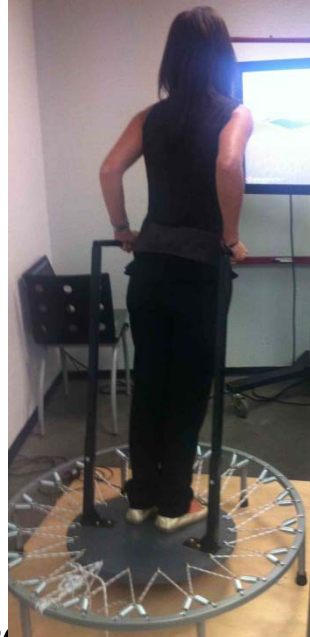
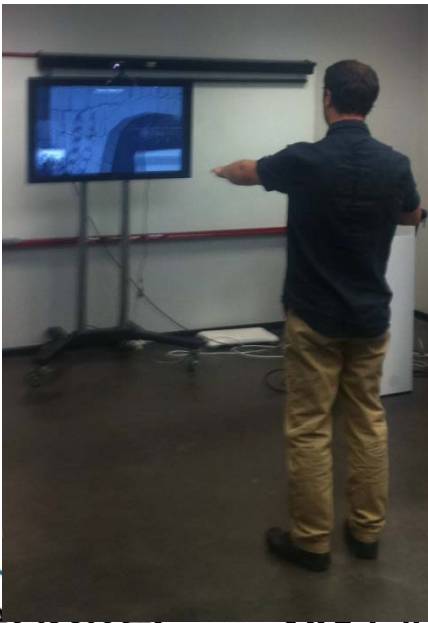
Suivi des yeux

Navigation et interaction dans le modèle 3D

- Mouvements
 - Mode piéton
 - Mode « papillon »
 - Génération de trajectoires
 - Détection de collision
- Interaction
 - Sélection
 - Affichage menu « flottant »



Architecture / Les dispositifs d'interaction





Usages

Les utilisations de la salle

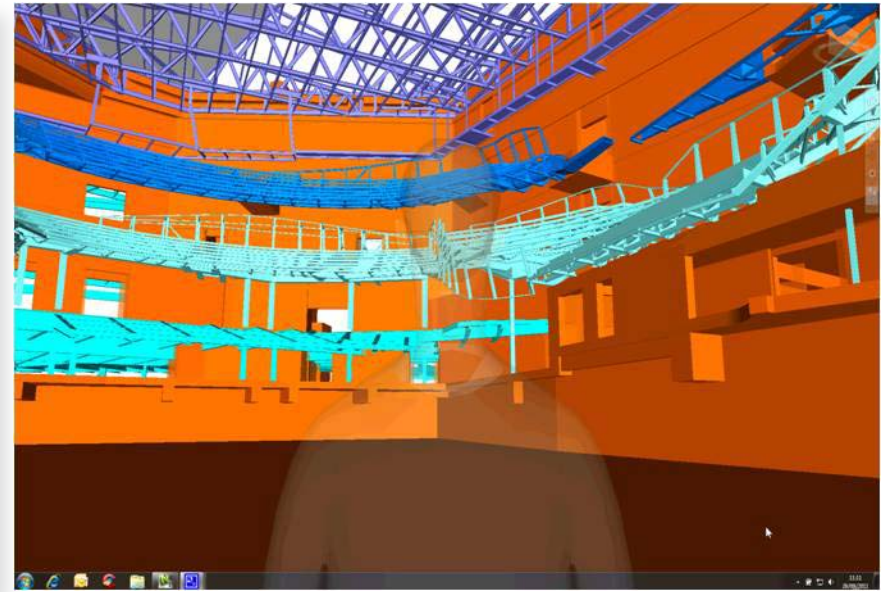
Industriel

visites client/revue de projet

Institutionnel

présentations grand public

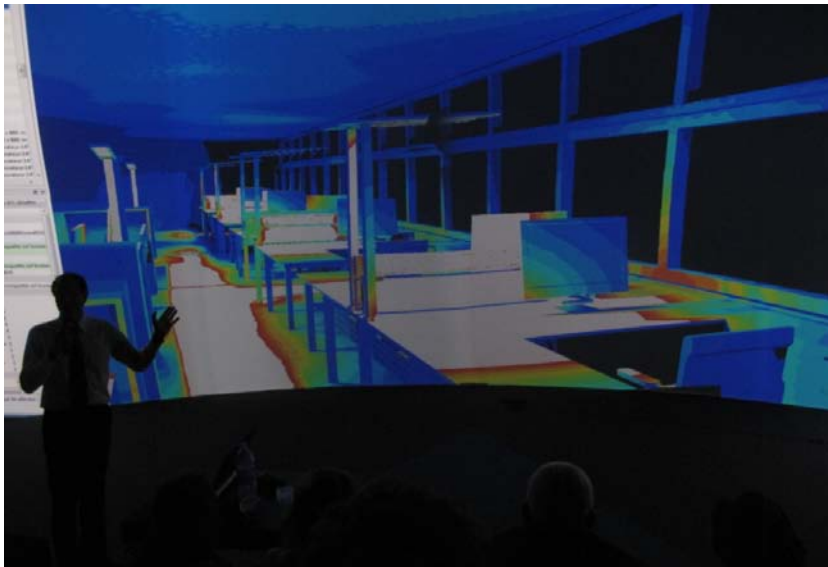
Les visites Client et Revue de Projets



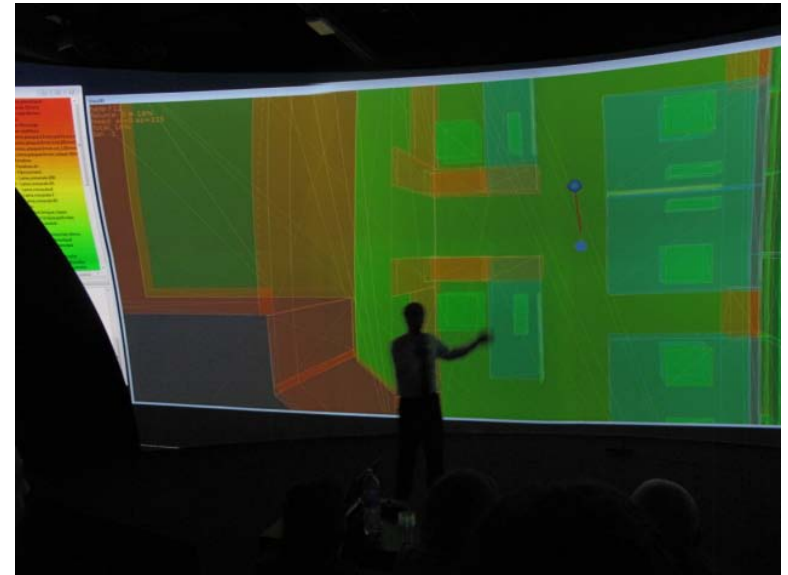


■ **CSTB/ECP**, Viewer EVE/Phanie/Auralies/ virtuelium :

Navigation dans un modèle de CAO bâtiment, démonstration de simulation physique d'éclairage en temps réel, et démonstration de simulation physique acoustique en temps réel sur 27 enceintes réparties dans la salle.



Simulation physique de l'éclairage



Simulation physique acoustique

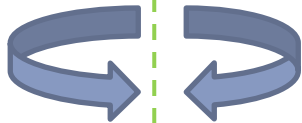
AGP Contenus (Palais de la découverte-numérisation)

Présentation des travaux de numérisation 3D laser et de modélisation BIM du Palais de la découverte.

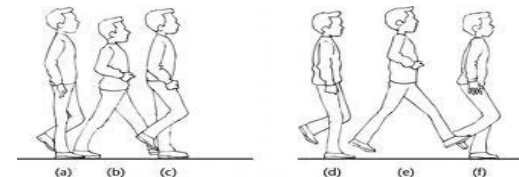


AMPT Interfaces Kinect

Démonstration d'Interaction basée sur le mouvement (orientation, marche sur place, sélection d'objets) à l'aide d'un capteur Kinect, dans la salle, sur le contenu du palais de la découverte.



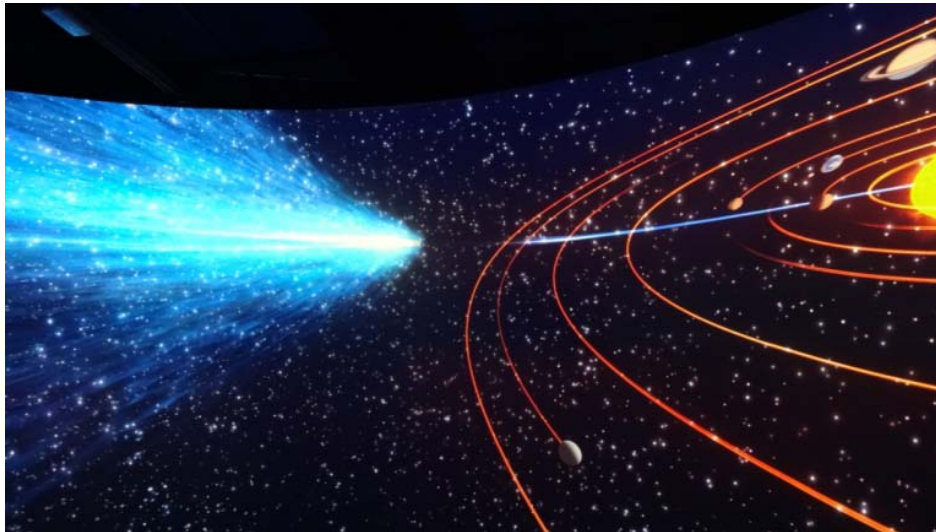
Orientation par le mouvement



Marche sur place

•UNIVERSCIENCE-CSI/AGP Système Solaire

Démonstration d'un scénario de médiation autour du système solaire en 3d relief, interactif, en temps réel (développé à l'aide d'un moteur de jeu -UNITY), interface sur tablette.



Démonstration Système solaire



Interface sur tablette

•BYCN Mini Callisto

Démonstrations (-UNITY) d'applications sur le bureau pour le bâtiment (visites de projet de bâtiment) en 3d relief (casque de RV), interactives (manette de jeu) , en temps réel.



Applications sur le bureau pour le bâtiment

Vos questions ?

Contact :

Ariane Genty ar.genty@bouygues-construction.com

Trino Beltran t.beltran@bouygues-construction.com