



## *3D, au-delà de la visualisation*

Myriam Servières et Vincent Tourre

Équipe CRENAU - Laboratoire Ambiances Architectures Urbanités (UMR 1563)  
Ecole Centrale de Nantes - ENSAN - ENSAG

[myriam.servieres@ec-nantes.fr](mailto:myriam.servieres@ec-nantes.fr), [vincent.tourre@ec-nantes.fr](mailto:vincent.tourre@ec-nantes.fr)

31 mai 2016



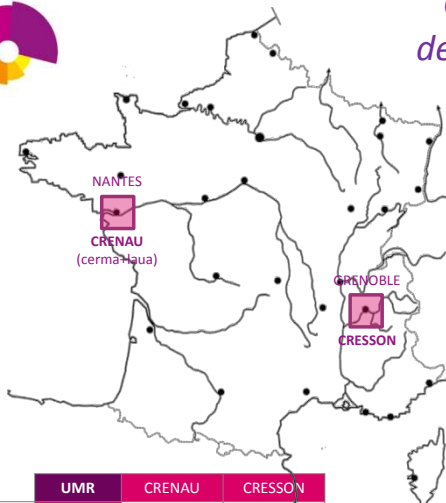
## UMR AAU - équipe CRENAU /IRSTV



AAU crenau  
ambiances  
architectures  
urbanités



## Organisation de l'UMR 1563



Tutelles  
(délégation MCC  
au 1/1/2016)



1er janvier 2016

	UMR	CRENAU	CRESSON
Recherche et enseignement	66	35	31
Appui et soutien à la recherche	9	4	5
Doctorants	35	16	19
	110	55	55

2

# IRSTV

IRSTV : Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville



- Pôle de recherche fédératif et interdisciplinaire sur l'environnement urbain et la ville durable
- Fédère 20 laboratoires de l'ouest sur 15 établissements
- 5 axes de recherches, un service d'observation, 3 axes en émergence

# IRSTV

IRSTV : Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville



- Pôle de recherche fédératif et interdisciplinaire sur l'environnement urbain et la ville durable
- Fédère 20 laboratoires de l'ouest sur 15 établissements
- 5 axes de recherches, un service d'observation, 3 axes en émergence
  - Géoconnaissances Urbaines
  - Sol Urbain
  - Microclimat Urbain et Energies
  - Environnements Sonore Urbain
  - Tomographie Urbaine

# IRSTV

IRSTV : Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville



- Pôle de recherche fédératif et interdisciplinaire sur l'environnement urbain et la ville durable
- Fédère 20 laboratoires de l'ouest sur 15 établissements
- 5 axes de recherches, un service d'observation, 3 axes en émergence
  - ▶ Géoconnaissances Urbaines
  - ▶ Sol Urbain
  - ▶ Microclimat Urbain et Energies
  - ▶ Environnements Sonore Urbain
  - ▶ Tomographie Urbaine

# IRSTV

IRSTV : Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville



- Pôle de recherche fédératif et interdisciplinaire sur l'environnement urbain et la ville durable
- Fédère 20 laboratoires de l'ouest sur 15 établissements
- 5 axes de recherches, un service d'observation, 3 axes en émergence
  - ▶ Géoconnaissances Urbaines
  - ▶ Sol Urbain
  - ▶ Microclimat Urbain et Energies
  - ▶ Environnements Sonore Urbain
  - ▶ Tomographie Urbaine

# IRSTV

IRSTV : Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville



- Pôle de recherche fédératif et interdisciplinaire sur l'environnement urbain et la ville durable
- Fédère 20 laboratoires de l'ouest sur 15 établissements
- 5 axes de recherches, un service d'observation, 3 axes en émergence
  - ▶ Géoconnaissances Urbaines
  - ▶ Sol Urbain
  - ▶ Microclimat Urbain et Energies
  - ▶ Environnements Sonore Urbain
  - ▶ Tomographie Urbaine

## Mise en contexte

## Au-delà de la visualisation ?

- Qu'est-ce qu'un modèle 3D ?
- Qu'est-ce que visualiser/représenter un modèle 3D ?
- Qu'est-ce pour vous aller au-delà de la visualisation/représentation ?



## Au-delà de la visualisation ?

- Qu'est-ce qu'un modèle 3D ?
- Qu'est-ce que visualiser/représenter un modèle 3D ?
- Qu'est-ce pour vous aller au-delà de la visualisation/représentation ?

## Au-delà de la visualisation ?

- Qu'est-ce qu'un modèle 3D ?
- Qu'est-ce que visualiser/représenter un modèle 3D ?
- Qu'est-ce pour vous aller au-delà de la visualisation/représentation ?

## Au-delà de la visualisation

[BSL<sup>+</sup>15] découpe les cas d'utilisation des "applications des modèles 3D des villes" en :

- Cas d'utilisation où la visualisation n'est pas nécessaire (possible mais pas indispensable comme le calcul du potentiel d'éclairement d'un toit)
- Cas d'utilisation basés sur une visualisation avec

[F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models : State of the Art Review," ISPRS Int. J. Geo-Information, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015]

## Au-delà de la visualisation

[BSL<sup>+</sup>15] découpe les cas d'utilisation des "applications des modèles 3D des villes" en :

- Cas d'utilisation où la visualisation n'est pas nécessaire (possible mais pas indispensable comme le calcul du potentiel d'éclairement d'un toit)
- Cas d'utilisation basés sur une visualisation avec  
- des résultats de calculs du 1<sup>er</sup> groupe où la visualisation est importante sous peine de faire perdre du sens au cas d'utilisation

[F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models : State of the Art Review," ISPRS Int. J. Geo-Information, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015]

## Au-delà de la visualisation

[BSL<sup>+</sup>15] découpe les cas d'utilisation des "applications des modèles 3D des villes" en :

- Cas d'utilisation où la visualisation n'est pas nécessaire (possible mais pas indispensable comme le calcul du potentiel d'éclairement d'un toit)
- Cas d'utilisation basés sur une visualisation avec
  - ▶ des résultats de calculs du 1<sup>er</sup> groupe où la visualisation est importante sous peine de faire perdre du sens au cas d'utilisation
  - ▶ des cas d'utilisation basés uniquement sur de la visualisation (comme pour de la communication ou RV)

[F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models : State of the Art Review," ISPRS Int. J. Geo-Information, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015]

## Au-delà de la visualisation

[BSL<sup>+</sup>15] découpe les cas d'utilisation des "applications des modèles 3D des villes" en :

- Cas d'utilisation où la visualisation n'est pas nécessaire (possible mais pas indispensable comme le calcul du potentiel d'éclairement d'un toit)
- Cas d'utilisation basés sur une visualisation avec
  - ▶ des résultats de calculs du 1<sup>er</sup> groupe où la visualisation est importante sous peine de faire perdre du sens au cas d'utilisation
  - ▶ des cas d'utilisation basés uniquement sur de la visualisation (comme pour de la communication ou RV)

[F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models : State of the Art Review," ISPRS Int. J. Geo-Information, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015]

## Au-delà de la visualisation

[BSL<sup>+</sup>15] découpe les cas d'utilisation des "applications des modèles 3D des villes" en :

- Cas d'utilisation où la visualisation n'est pas nécessaire (possible mais pas indispensable comme le calcul du potentiel d'éclairage d'un toit)
- Cas d'utilisation basés sur une visualisation avec
  - ▶ des résultats de calculs du 1<sup>er</sup> groupe où la visualisation est importante sous peine de faire perdre du sens au cas d'utilisation
  - ▶ des cas d'utilisation basés uniquement sur de la visualisation (comme pour de la communication ou RV)

[F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin, "Applications of 3D City Models : State of the Art Review," ISPRS Int. J. Geo-Information, vol. 4, no. 4, pp. 2842–2889, 2015]

## Visualisation comme but

Exemples de cas d'utilisation dont la visualisation est le but :

- Géo-visualisation
- Visualisation pour la navigation
- Communications à la population
- Archéologie
- ...



## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Simulations :
  - ▶ Estimation du rayonnement solaire
  - ▶ Calcul de la direction du soleil
  - ▶ Estimation de l'ombre portée
  - ▶ Simulation de la propagation de bruit
  - ▶ Prévision de dommages sismiques
  - ▶ Prévision d'inondations
  - ▶ Propagation d'ondes radio
  - ▶ Estimation de la demande énergétique
  - ▶ Estimation de population

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Simulations :
  - ▶ Estimation du rayonnement solaire
  - ▶ Calcul de la direction du soleil
  - ▶ Estimation de l'ombre portée
  - ▶ Simulation de la propagation de bruit
  - ▶ Prévision de dommage sismiques
  - ▶ Prévision d'inondations
  - ▶ Propagation d'ondes radio
  - ▶ Estimation de la demande énergétique
  - ▶ Estimation de population

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Calcul de morphologie urbaine
  - ▶ Étude de la morphologie de la ville pour les réflexions d'ondes
  - ▶ Analyse de visibilité
- Aide au positionnement
- Analyse de la ville

→ [http://www.gdrmagis.fr/IMG/pdf/3D\\_au-del%C3%A0\\_de\\_la\\_visualisation.pdf](http://www.gdrmagis.fr/IMG/pdf/3D_au-del%C3%A0_de_la_visualisation.pdf)

→ [http://www.gdrmagis.fr/IMG/pdf/3D\\_au-del%C3%A0\\_de\\_la\\_visualisation.pdf](http://www.gdrmagis.fr/IMG/pdf/3D_au-del%C3%A0_de_la_visualisation.pdf)

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Calcul de morphologie urbaine
  - ▶ Étude de la morphologie de la ville pour les réflexions d'ondes
  - ▶ Analyse de visibilité
- Aide au positionnement
- Analyse de la ville

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Calcul de morphologie urbaine
  - ▶ Étude de la morphologie de la ville pour les réflexions d'ondes
  - ▶ Analyse de visibilité
- Aide au positionnement
- Analyse de la ville
  - ▶ Détection de changements dans une ville
  - ▶ Détermination de la surface habitable
  - ▶ Classification des types de bâtiments

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Calcul de morphologie urbaine
  - ▶ Étude de la morphologie de la ville pour les réflexions d'ondes
  - ▶ Analyse de visibilité
- Aide au positionnement
- Analyse de la ville
  - ▶ Détection de changements dans une ville
  - ▶ Détermination de la surface habitable
  - ▶ Classification des types de bâtiments

## Au-delà de la visualisation

Puis tous les autres "au-delà de la visualisation" :

- Calcul de morphologie urbaine
  - ▶ Étude de la morphologie de la ville pour les réflexions d'ondes
  - ▶ Analyse de visibilité
- Aide au positionnement
- Analyse de la ville
  - ▶ Détection de changements dans une ville
  - ▶ Détermination de la surface habitable
  - ▶ Classification des types de bâtiments

## Au-delà de la visualisation

La visualisation est possible, parfois même nécessaire à la compréhension des résultats mais ce n'est pas la base ni le seul but du processus.

- Analyse Morphologique de l'espace urbain - isovist
- Simulation de phénomènes physiques - solaire et micro-climatique
- Géolocalisation à partir d'images et SIG - 2D, 2,5D et 3D
- Gestion patrimoniale à travers une maquette - exemple du projet Nantes1900



## Au-delà de la visualisation

La visualisation est possible, parfois même nécessaire à la compréhension des résultats mais ce n'est pas la base ni le seul but du processus.

- Analyse Morphologique de l'espace urbain - isovist
- Simulation de phénomènes physiques - solaire et micro-climatique
- Géolocalisation à partir d'images et SIG - 2D, 2,5D et 3D
- Gestion patrimoniale à travers une maquette - exemple du projet Nantes1900

## Au-delà de la visualisation

La visualisation est possible, parfois même nécessaire à la compréhension des résultats mais ce n'est pas la base ni le seul but du processus.

- Analyse Morphologique de l'espace urbain - isovist
- Simulation de phénomènes physiques - solaire et micro-climatique
- Géolocalisation à partir d'images et SIG - 2D, 2,5D et 3D
- Gestion patrimoniale à travers une maquette - exemple du projet Nantes1900

## Au-delà de la visualisation

La visualisation est possible, parfois même nécessaire à la compréhension des résultats mais ce n'est pas la base ni le seul but du processus.

- Analyse Morphologique de l'espace urbain - isovist
- Simulation de phénomènes physiques - solaire et micro-climatique
- Géolocalisation à partir d'images et SIG - 2D, 2,5D et 3D
- Gestion patrimoniale à travers une maquette - exemple du projet Nantes1900

## Au-delà de la visualisation

La visualisation est possible, parfois même nécessaire à la compréhension des résultats mais ce n'est pas la base ni le seul but du processus.

- Analyse Morphologique de l'espace urbain - isovist
- Simulation de phénomènes physiques - solaire et micro-climatique
- Géolocalisation à partir d'images et SIG - 2D, 2,5D et 3D
- Gestion patrimoniale à travers une maquette - exemple du projet Nantes1900

## Analyse Morphologique de l'espace urbain

# Plan

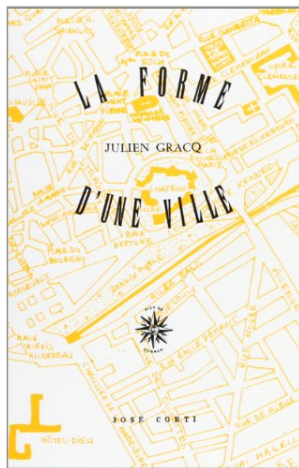
1 Contexte

2 Accessibilité Visuelle

3 Approche sujet-centrée

# Analyse Morphologique

- La forme d'une ville ?
- Point de vue :
  - ▶ global
  - ▶ immergé
- Données
  - ▶ 2D, 2.5D, 3D, 4D ?
  - ▶ Acquisition
  - ▶ Format de données
  - ▶ Niveau de détails



## Données - Niveaux de détails

- Beaucoup d'objets, peu de polygones
- Généralisation cartographique en 3D
  - ▶ Supprimer
  - ▶ Agréger
  - ▶ Critères
- Génération de niveaux plus détaillés pour les parcours



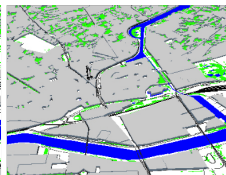
(a) LoD1



(b) LoD0C



(c) LoD0B



(d) LoD0A

Shuang He, Gonzalo Besuievsky, Vincent Tourre, Gustavo Patow, Guillaume Moreau : All range and heterogeneous multi-scale 3D city models, *3u3d2012 : Usage, Usability, and Utility of 3D City models*, 2012



# Plan

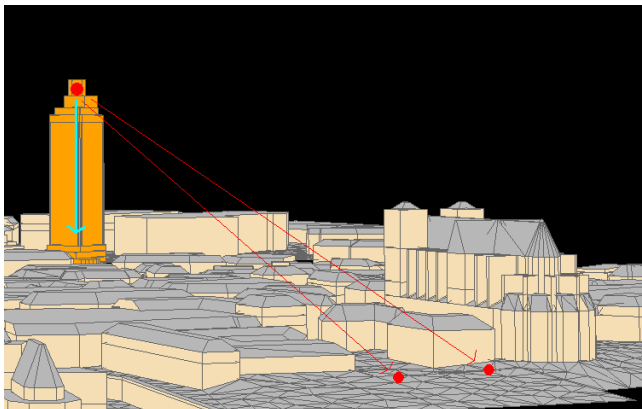
1 Contexte

**2 Accessibilité Visuelle**

3 Approche sujet-centrée

## Accessibilité visuelle

- Impact visuel d'un bâtiment
- Mesure d'intermittence
- Séquences visuelles

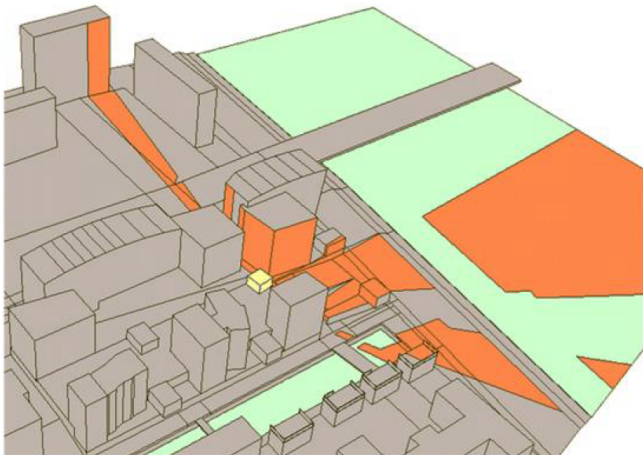


MORIN M., CERMA, ENSA Nantes, 1995

Zones de visibilité de la tour Bretagne

## Accessibilité visuelle

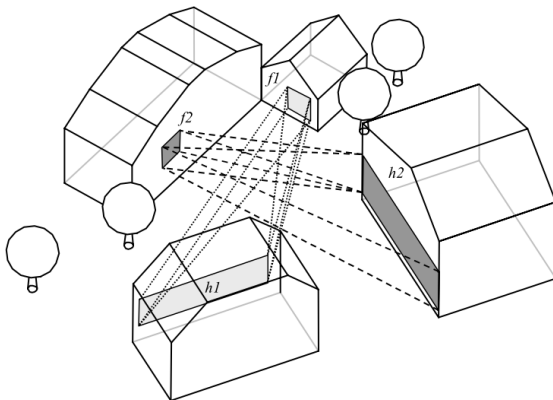
- Qualification des vues depuis un point



(Miguet, 2010)

## Accessibilité visuelle

- Contraintes de visibilité
- Aide à la conception



*Intention 1 : De la fenêtre f1 ne pas voir la partie de façade h1,*

*Intention 2 : De la fenêtre f2 ne pas voir la partie de façade h2*

NIVET M.-L., UMR AAU / CERMA, ENSA Nantes, 1999

# Plan

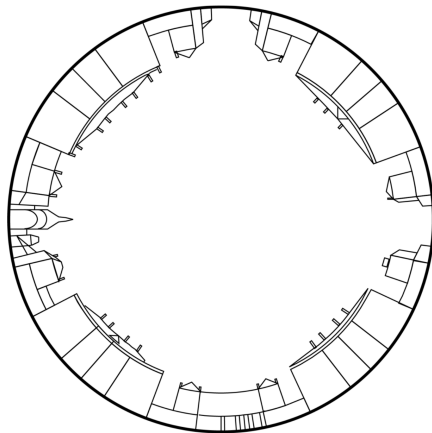
1 Contexte

2 Accessibilité Visuelle

**3 Approche sujet-centrée**

## Approche sujet-centrée

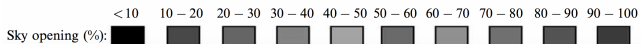
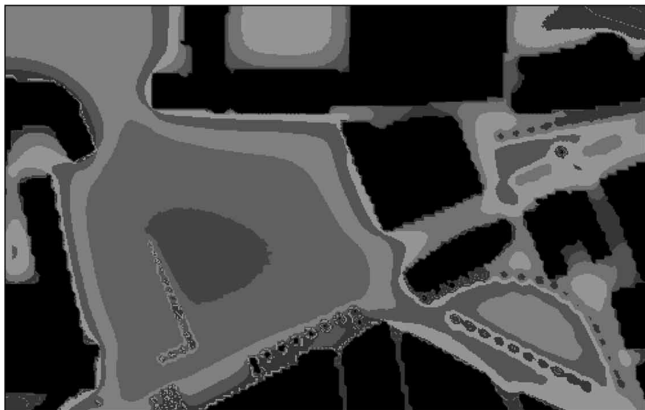
- Étude de la forme de ciel
  - ▶ Qualification des espaces [TA01]



Stereographical Projection (Amalienborg Plads, Copenhagen), (Teller, 2003)

## Approche sujet-centrée

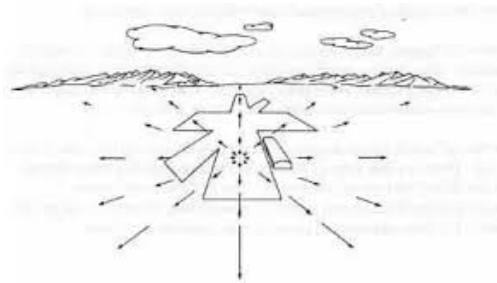
- Étude de la forme de ciel
  - ▶ Qualification des espaces [TA01]



Sky opening variation in the Place Saint-Lambert, (Teller, 2003)

## Approche sujet-centrée

- Perspective de mouvement
- Changements dans le champ visuel

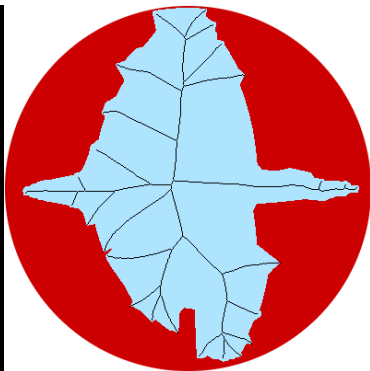


(Gibson, 1979)



## Approche sujet-centrée

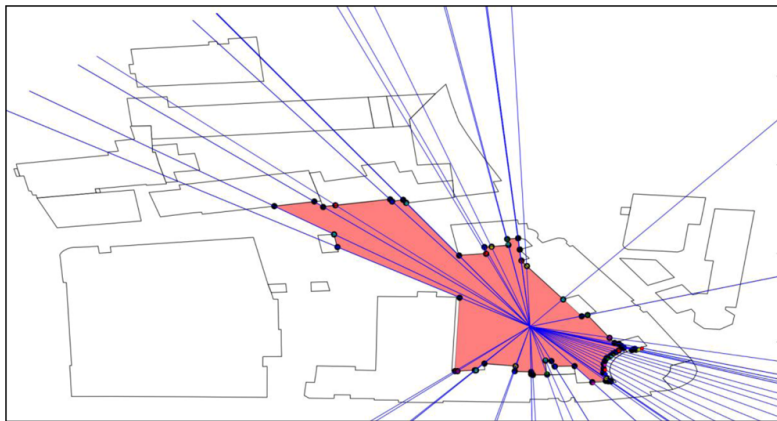
- Étude de la forme de ciel
  - ▶ Analyse de parcours [SSCT07]



(Sarradin, 2007)

## Approche sujet-centrée

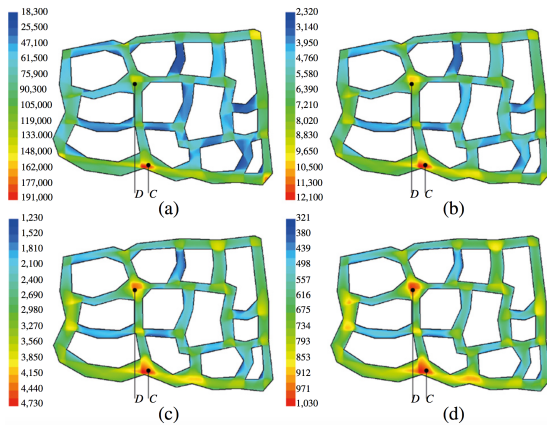
- Isovist - champ d'isovists (Benedikt, 1979)
  - ▶ description synthétique de l'espace enveloppant à chaque endroit



Yin et Carswell, 2013

## Approche sujet-centrée

- Pondération de l'isovist



Youngchul et al., 2014

## Approche sujet-centrée

- Perspectives de mouvement et champs d'isovists
- Parcours confort Nantes Métropole



## Approche sujet-centrée

- Perspectives de mouvement et champs d'isovists
- Parcours confort Nantes Métropole



## Approche sujet-centrée

- Perspectives de mouvement et champs d'isovists
- Métro aérien de Detroit



Frame 6

285

351

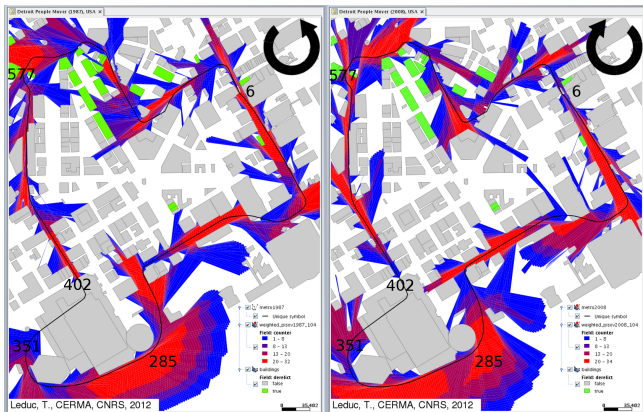
402

577

(Bertrand, 2012)

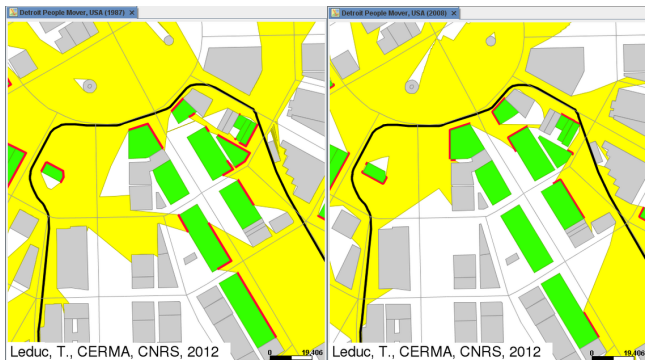
## Approche sujet-centrée

- Perspectives de mouvement et champs d'isovists
- Métro aérien de Detroit



## Approche sujet-centrée

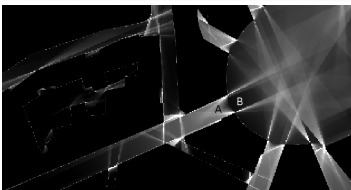
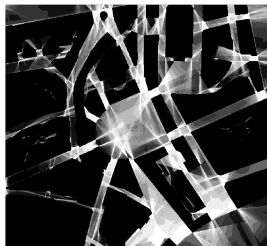
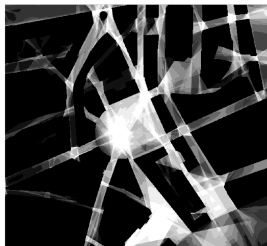
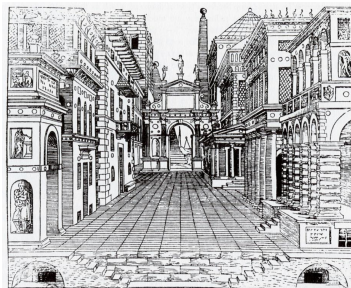
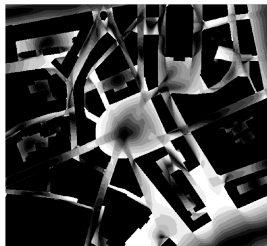
- Perspectives de mouvement et champs d'isovists
- Métro aérien de Detroit





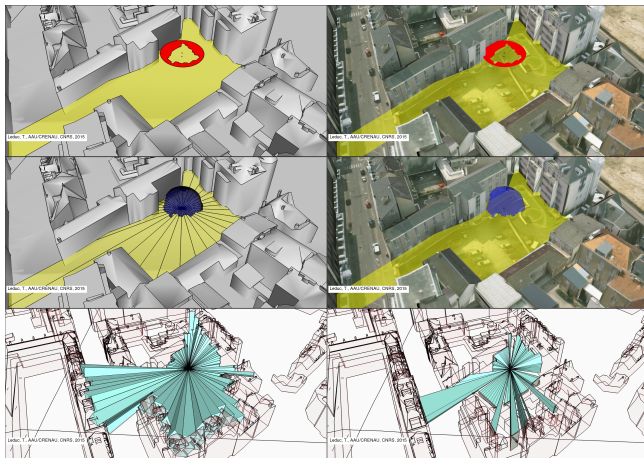
## Approche sujet-centrée

- Analyse systématique de "points de vues immergés" : poids du paysage caché



## Approche sujet-centrée

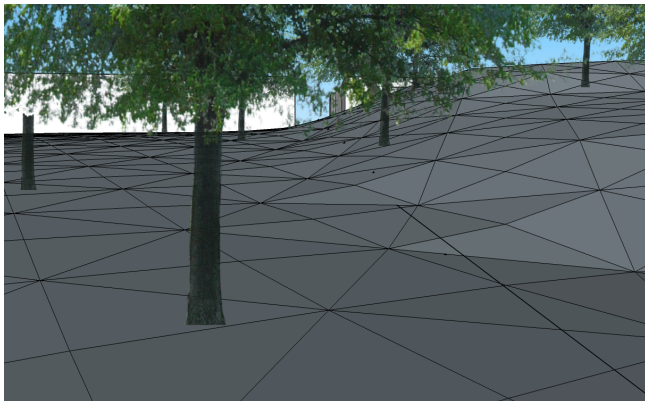
- Vues du ciel, vues de saillances



(Leduc, 2015)

## Approche sujet-centrée

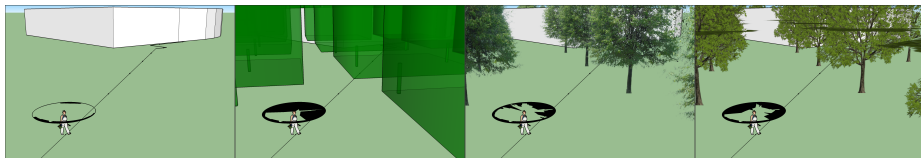
- Influence du relief et des couverts boisés



LEDUC T., UMR AAU / CRENAU, CNRS, 2016

## Approche sujet-centrée

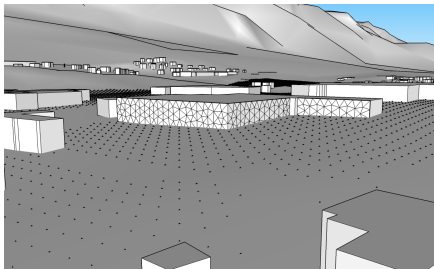
- Influence du relief et des couverts boisés



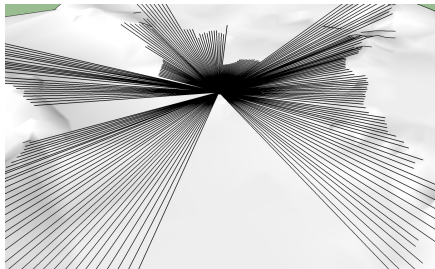
LEDUC T., UMR AAU / CRENAU, CNRS, 2016

## Approche sujet-centrée

- Influence de l'horizon lointain



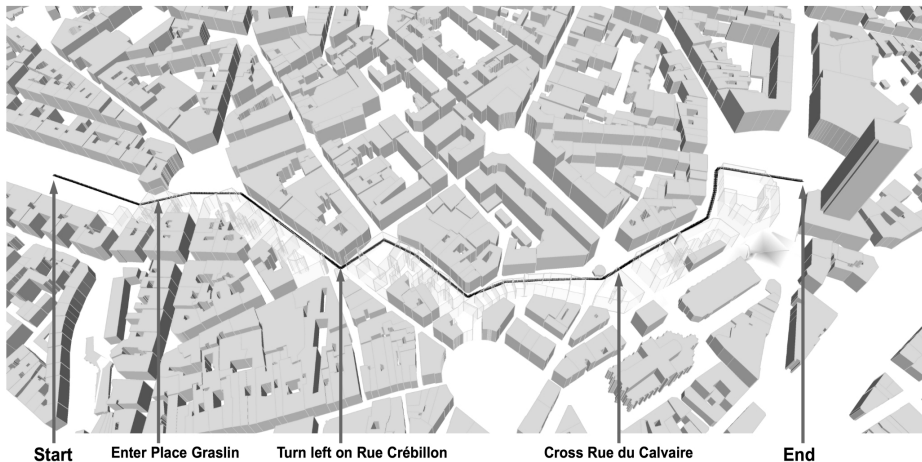
LEDUC T., UMR AAU / CRENAU, CNRS, 2016



LEDUC T., UMR AAU / CRENAU, CNRS, 2016

## Approche sujet-centrée

- Aide à la navigation sensible



(Signorelli et al., 2016)

## Simulation de phénomènes physiques

# Plan

## 4 Simulation de phénomènes physiques

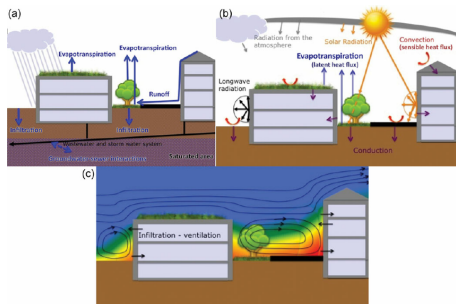
- Microclimat urbain
- Solene

## 5 Indicateurs urbains



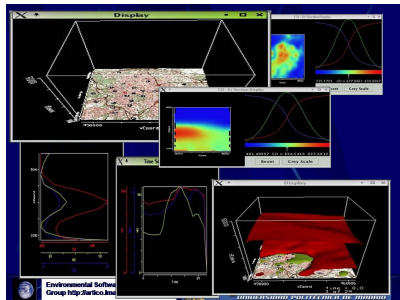
## Microclimat urbain

- Simulation multi-phénomènes
  - ▶ Thermique, Aéraulique, Hydraulique
- Échelles
  - ▶ Ville, Quartier, Bâtiment
- Données
  - ▶ Description explicite ou non
- Enjeux
  - ▶ Îlot de chaleur urbain
  - ▶ Comportement écoquartiers (albédo, toits végétalisés, matériaux poreux, bassins, etc)



## Îlot de chaleur urbain

- Analyse et réduction du phénomène
- Simulation à grande échelle
- Flux physiques variés

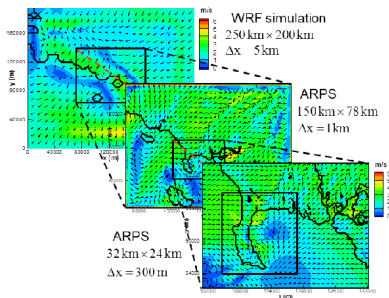


Visual representation of outputs of different meso-scale models (<http://www.bridge-fp7.eu>)

[González A, Donnelly A, Jones M, et al. A decision-support system for sustainable urban metabolism in Europe. *Environ Impact Assess Rev* 2013 ;38 :109 – 19.]

## Modèle urbain SM2U

- Échanges surface-atmosphère
- Données morphologiques (Cadastre, IGN)
- Données radiatives
- Échelle ville
  - ▶ SVF : indicateur échanges radiatifs
- Échelle quartier
  - ▶ SVF : valeurs moyennes (largeur rue ou hauteur bâtiment)

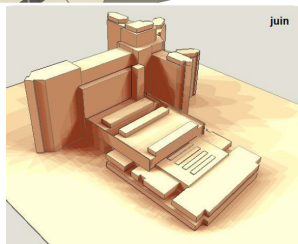
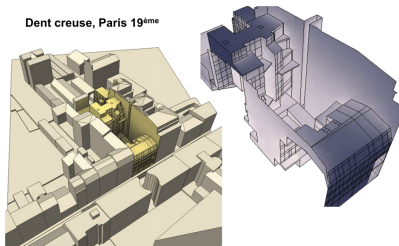


Micro-météorologie de la Baie de Quiberon : Simulations par emboîtement de modèles et de domaines depuis l'échelle régionale jusqu'à l'échelle de la baie en conditions météorologiques réelles (Herlédant, 2011)

## Solene : conception de projets architecturaux et urbains

- D'un logiciel de simulation d'ensoleillement, d'éclairage et de rayonnement thermique...
  - ▶ tracés d'ombre (détermination des surfaces à l'ombre ou au soleil), par projections axonométriques en fonction de la géométrie solaire,
  - ▶ intégration du rayonnement, i.e. des inter-réflexions entre éléments de surfaces de la maquette urbaine préalablement maillée.

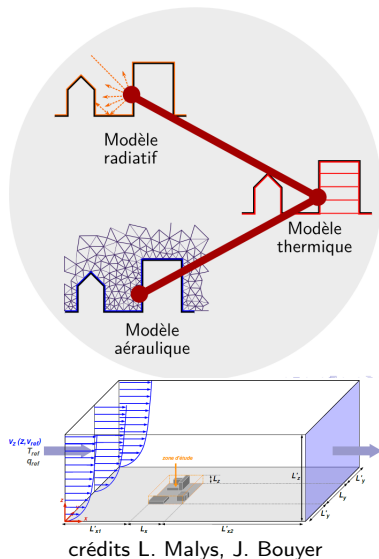
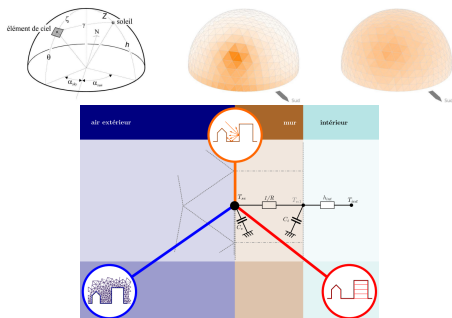
Dent creuse, Paris 19<sup>ème</sup>



Cumul des zones à l'ombre sur une journée - Hôpital G Roussy, Villejuif - crédit F. Miguet.

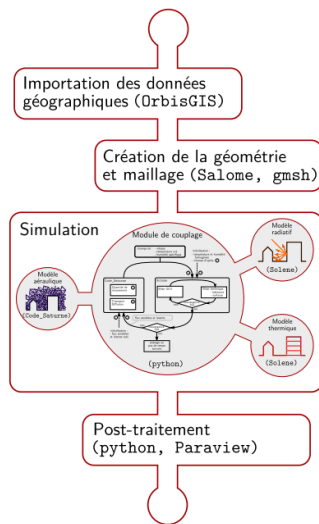
## Solene : conception de projets architecturaux et urbains

- ... à une plateforme couplant :
  - ▶ modèle radiatif,
  - ▶ modèle aéraulique,
  - ▶ modèle thermique de bâtiment,
- par des bilans de surface, pour une maquette 3D détaillée.



## Solene : modèles et workflow

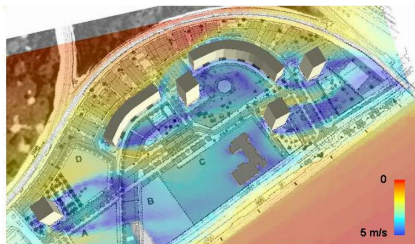
- Radiatif : rayonnement solaire direct/diffus (ciel discrétisé), inter-réflexions solaires (méthode des radiosités), bilan de rayonnement IR
- Thermique : modèle de paroi R2C, modèle thermique multizone (une zone par étage), conditions aux limites extérieures discrétisées,
- Aéraulique : technique de la veine numérique, méthode RANS - modèle de turbulence  $k-\epsilon$ , transport de la température et de l'humidité



crédit L. Malys

## De la grande à la petite échelle

- GPV Malakoff - grands ensembles (kilométrique)



crédit F. Miguet

- Dispositif (centimétrique)



crédit F. Miguet

# Plan

## 4 Simulation de phénomènes physiques

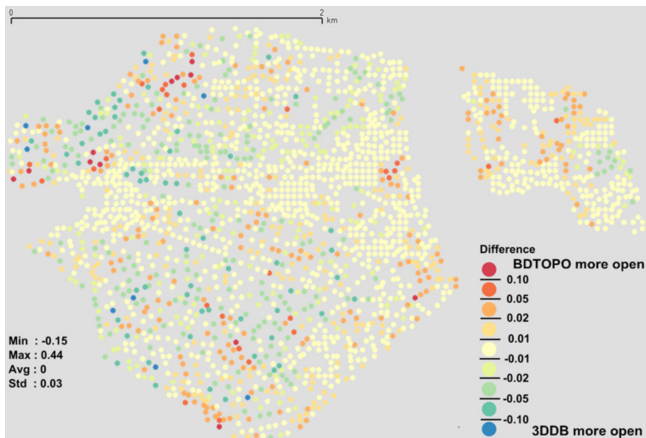
- Microclimat urbain
- Solene

## 5 Indicateurs urbains



## Indicateurs urbains

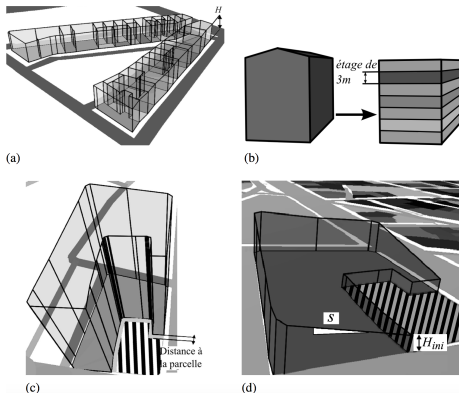
- Influence du modèle sur les indicateurs



(Brasebin, 2012)

## Indicateurs urbains

- Contraintes de visibilité
- Aide à la conception



(Brasebin, 2011)

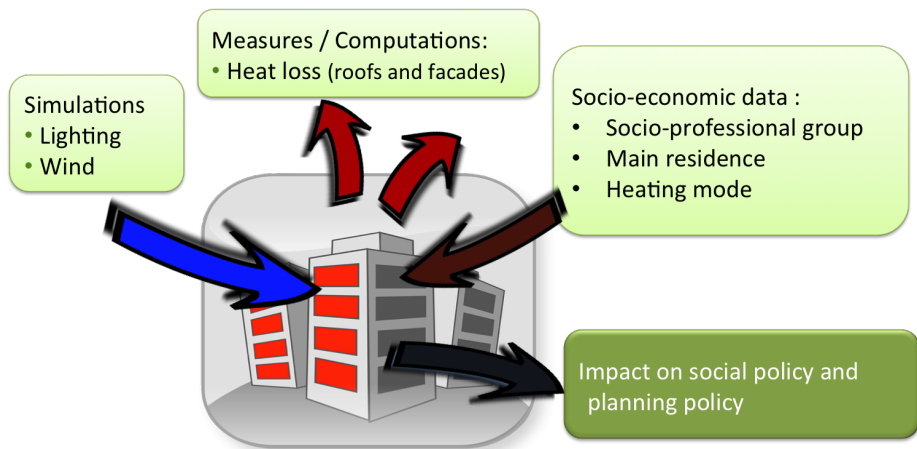
## Indicateurs urbains

- Production d'indicateurs échelle urbaine
- Indicateurs :
  - ▶ Environnementaux,
  - ▶ Socio-économique
  - ▶ Socio-démographique

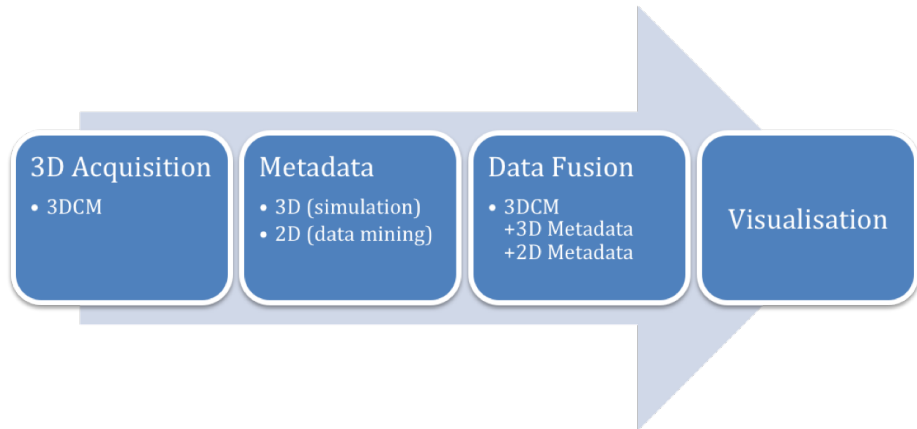


(Siradel, 2012)

## Indicateurs urbains



## Indicateurs urbains



## Indicateurs urbains



## Indicateurs urbains

- Processus de production d'indicateurs
  - ▶ Acquisition données
  - ▶ Indicateurs utiles
  - ▶ Analyse thermique
  - ▶ Simulation
  - ▶ Analyse données INSEE
  - ▶ Interopérabilité (cityGML)



## Indicateurs urbains



## Géolocalisation à partir d'images et SIG

# Plan

## 6 Motivations

## 7 Contexte

## 8 Différents types d'approches images-SIG

- Pas de données SIG
- Recalage image SIG 2D
- Recalage avec un SIG 2.5D
- Recalage avec un SIG "3D"
- Cartes Augmentées

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Se positionner dans l'espace
  - ▶ Extraire des informations de son environnement (via des images ou des vidéos)
  - ▶ Croiser ces informations avec celles extraites d'un SIG (urbain)
- Enrichir le SIG à partir d'informations extraites des images
- Faire de l'affichage d'information en Réalité Augmentée sur site
- Détection d'incohérences entre réalité et données SIG



## Cas d'usage RA sur site



Mise à disposition d'information aux piétons sur site, par le biais de la Réalité Augmentée (RA)

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

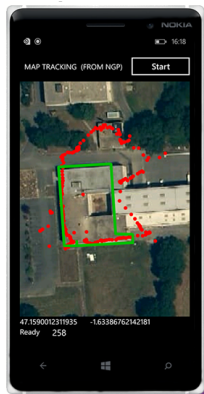
- Idée reçue : le GPS suffit pour de la localisation sur site
  - ▶ Phénomènes de diffraction, réflexion, atténuation
  - ▶ Vers une amélioration grâce aux approches multi-constellations
  - ▶ Des puces GPS qui ne fournissent pas les signaux bruts
- Ne donne que la position
- Capteurs bas coût imprécis intégrés aux smartphones  
ex : dérive des capteurs inertiels :  $60-80^\circ/h$  pour les gyromètres



[crédit Valérie Renaudin, IFSTTAR]

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Idée reçue : le GPS suffit pour de la localisation sur site
  - ▶ Phénomènes de diffraction, réflexion, atténuation
  - ▶ Vers une amélioration grâce aux approches multi-constellations
  - ▶ Des puces GPS qui ne fournissent pas les signaux bruts
- Ne donne que la position
- Capteurs bas coût imprécis intégrés aux smartphones  
ex : dérive des capteurs inertiels :  $60-80^\circ/h$  pour les gyromètres



[crédit Valérie Renaudin, IFSTTAR]

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Idée reçue : le GPS suffit pour de la localisation sur site
  - ▶ Phénomènes de diffraction, réflexion, atténuation
  - ▶ Vers une amélioration grâce aux approches multi-constellations
  - ▶ Des puces GPS qui ne fournissent pas les signaux bruts
- Ne donne que la position
- Capteurs bas coût imprécis intégrés aux smartphones  
ex : dérive des capteurs inertiels :  $60-80^\circ/h$  pour les gyromètres



[crédit Valérie Renaudin, IFSTTAR]

## Motivations pour une géolocalisation à partir d'images et SIG

- Idée reçue : le GPS suffit pour de la localisation sur site
  - ▶ Phénomènes de diffraction, réflexion, atténuation
  - ▶ Vers une amélioration grâce aux approches multi-constellations
  - ▶ Des puces GPS qui ne fournissent pas les signaux bruts
- Ne donne que la position
- Capteurs bas coût imprécis intégrés aux smartphones  
ex : dérive des capteurs inertiels :  $60-80^\circ/h$  pour les gyromètres



[crédit Valérie Renaudin, IFSTTAR]

## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)

→ problème de vision par ordinateur

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]

## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)
  - ▶ problème de vision par ordinateur
    - calcul de pose (position et orientation) 6DOF
    - Algorithmes de calcul : plusieurs très efficaces dans la littérature [Har03]
    - Mais nécessitent pour avoir la pose de connaître des points de manière absolue dans un référentiel
    - Importance des correspondances
  - ▶ Cas d'étude principal : positionnement dans un milieu urbain

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]

## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)
  - ▶ problème de vision par ordinateur
    - calcul de pose (position et orientation) 6DOF  
Algorithmes de calcul : plusieurs très efficaces dans la littérature [Har03]  
Mais nécessitent pour avoir la pose de connaître des points de manière absolue dans un référentiel.
    - extraction de caractéristiques
  - ▶ Cas d'étude principal : positionnement dans un milieu urbain

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]



## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)
  - ▶ problème de vision par ordinateur
    - calcul de pose (position et orientation) 6DOF  
Algorithmes de calcul : plusieurs très efficaces dans la littérature [Har03]  
Mais nécessitent pour avoir la pose de connaître des points de manière absolue dans un référentiel.
    - extraction de caractéristiques
  - ▶ Cas d'étude principal : positionnement dans un milieu urbain

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]

## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)
  - ▶ problème de vision par ordinateur
    - calcul de pose (position et orientation) 6DOF  
Algorithmes de calcul : plusieurs très efficaces dans la littérature [Har03]  
Mais nécessitent pour avoir la pose de connaître des points de manière absolue dans un référentiel.
    - extraction de caractéristiques
  - ▶ Cas d'étude principal : positionnement dans un milieu urbain

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]

## Motivation pour une localisation sur site

Pourquoi ne pas essayer de trouver dans des images des éléments caractéristiques qui seront présents dans des données SIG ?

- Localisation à partir d'image(s) (ou de vidéos)
  - ▶ problème de vision par ordinateur
    - calcul de pose (position et orientation) 6DOF  
Algorithmes de calcul : plusieurs très efficaces dans la littérature [Har03]  
Mais nécessitent pour avoir la pose de connaître des points de manière absolue dans un référentiel.
    - extraction de caractéristiques
  - ▶ Cas d'étude principal : positionnement dans un milieu urbain

[[Har03] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*. 2003]

# Plan

## 6 Motivations

## 7 Contexte

## 8 Différents types d'approches images-SIG

- Pas de données SIG
- Recalage image SIG 2D
- Recalage avec un SIG 2.5D
- Recalage avec un SIG "3D"
- Cartes Augmentées

## Sources de données

- Images
  - ▶ Photos aériennes
  - ▶ Photos satellites
  - ▶ Photos au sol

## Sources de données

- Images
  - ▶ Photos aériennes
  - ▶ Photos satellites
  - ▶ Photos au sol



Orthophotographie aérienne 2005 – data.nantes.fr

## Sources de données

- Images

- ▶ Photos aériennes
- ▶ Photos satellites
- ▶ Photos au sol



La réunion – image spot7 - <http://www.geo-airbusds.com>

# Sources de données

- Images

- ▶ Photos aériennes
- ▶ Photos satellites
- ▶ Photos au sol



ECN – Google Street View – maps.google.com

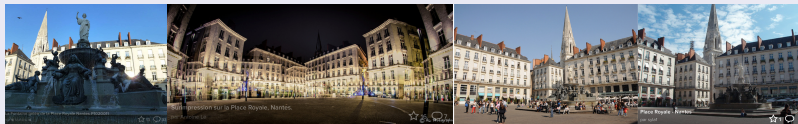


## Sources de données : images terrestres

- Acquisition : possibilité de crowd sourcing
- Déjà archivées : bases de données d'images type flickr

### Exemple : requête "place royale Nantes" sur flickr (extraits)

Plusieurs milliers d'images, pertinentes ou non



[extrait de [Mor14] : G. Moreau, "Recalage vidéos - SIG urbains", Tutorial colloque GDR ISIS, AC3D'14 : "de l'Acquisition à la Compression des objets 3D", 2014]

## Sources de données

- Images
  - ▶ Photos aériennes
  - ▶ Photos satellites
  - ▶ Photos au sol
- Données vecteur et raster [IGN]
  - ▶ BD Topo, BD Carto, BD Route,
  - ▶ BD Ortho, Scan 25, Bati 3D
- Relevés terrain

## Sources de données

- Images
  - ▶ Photos aériennes
  - ▶ Photos satellites
  - ▶ Photos au sol
- Données vecteur et raster [IGN]
  - ▶ BD Topo, BD Carto, BD Route,
  - ▶ BD Ortho, Scan 25, Bati 3D
- Relevés terrain

## Types de données SIG

- 1D
- 2D
- 2.5D
- 3D



Panneaux à messages variables – Nantes – data.nantes.fr

## Types de données SIG

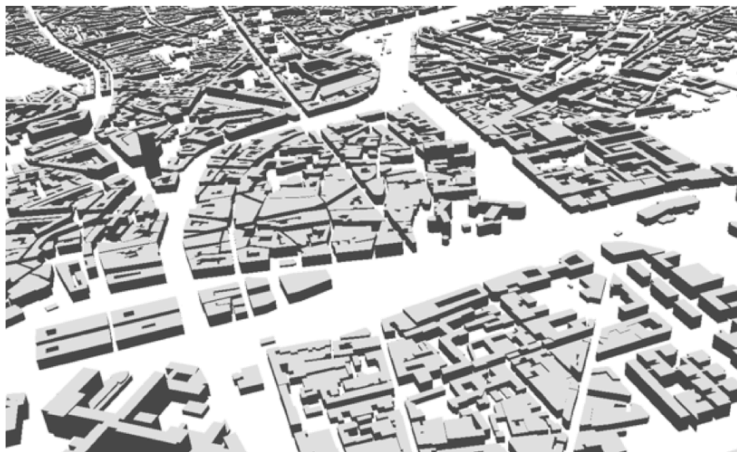
- 1D
- 2D
- 2.5D
- 3D



ECN – OSM

## Types de données SIG

- 1D
- 2D
- 2.5D
- 3D



Centre Ville de Nantes LOD1

## Types de données SIG

- 1D
- 2D
- 2.5D
- 3D



Place Royale - socle 3D CityGML Nantes - Secteur centre-ville - extrait de [SL15]

[[[SL15] : V. Signorelli and T. Leduc, Rapport Technique "Utilisation du socle 3D CityGML Nantes - Secteur centre-ville," Nantes, 2015]

## Types de données SIG

- 1D
- 2D
- 2.5D
- 3D

« vue du ciel » de la  
maquette 3D LoD 3 pour  
le secteur de la rue  
Maréchal Joffre à Nantes  
- extrait de [SL15]





## Données SIG

Ouverture de données SIG au grand public

- OpenData (Grand Lyon, Rennes, Milan, etc.)
- Open Street Map : <http://openstreetmap.org>

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - Les coordonnées par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation entre les coordonnées géographiques et celles du bâtiment
  - Déterminer la pose de la caméra par rapport au bâtiment en déterminant les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans son modèle 3D simplifié.
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - Déterminer la pose de la caméra
  - Déterminer la pose du bâtiment
  - Déterminer la transformation entre les coordonnées géographiques et celles du bâtiment

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(R, t)$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - ▶ Géométrie épipolaire
  - ▶ Géométrie de la caméra
  - ▶ Géométrie de la scène
  - ▶ Géométrie de la prise de vue

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(R, t)$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - Géométrie épipolaire
  - Géométrie de la caméra
  - Géométrie de la scène
  - Géométrie de la prise de vue

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :

• Mise à jour de la base de données

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - ▶ Mise à jour de la base de données
  - ▶ Robustesse
    - des algorithmes
    - à l'environnement non contrôlé : lumière, météo, objets mobiles, obstacles...

[adapté de [Mor14]]



## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - ▶ Mise à jour de la base de données
  - ▶ Robustesse
    - des algorithmes
    - à l'environnement non contrôlé : lumière, météo, objets mobiles, obstacles...

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

- **Géolocalisation** : trouver les coordonnées géographiques du point de prise de vue
- Pour notre problème : se positionner par rapport à un bâtiment à la position géographique connue
  - ▶ Système de coordonnées 3D cartésien : hypothèse de la terre localement plane
  - ▶ Se positionner par rapport à un bâtiment : déterminer une transformation rigide  $(\mathbf{R}, \mathbf{t})$
  - ▶ Reformulation : à partir d'un point de l'image du bâtiment  $p$ , déterminer les coordonnées  $P$  de la prise de vue dans un repère *du monde*
- Autrement dit, il faut déterminer la pose de la caméra !
- Problèmes de :
  - ▶ Mise à jour de la base de données
  - ▶ Robustesse
    - des algorithmes
    - à l'environnement non contrôlé : lumière, météo, objets mobiles, obstacles...

[adapté de [Mor14]]

## Pourquoi est-ce difficile ?

### Inexactitude des données SIG

- Pas à jour
- Incomplètes
- Fausses

## Pourquoi est-ce difficile ?

### Inexactitude des données SIG

- Pas à jour
- Incomplètes
- Fausses

Comparaison d'une photo de la place Graslin et du rendu de la maquette CityGML LoD 3 texturée (secteur PSMV) obtenue dans l'outil logiciel Unity. Les points de vue et conditions de prises de vue sont approximativement identiques entre le modèle numérique et la photo - extrait de [SL15]



## Pourquoi est-ce difficile ?

### Inexactitude des données SIG

- Pas à jour
- Incomplètes
- Fausses

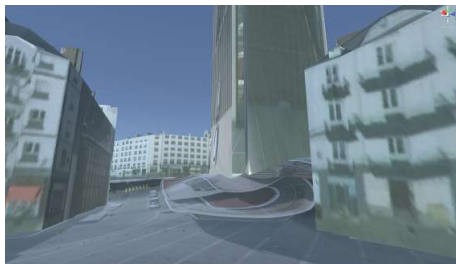
Comparaison d'une photo de l'île Gloriette et du rendu de la maquette CityGML LoD 3 texturée (secteur PSMV) obtenue dans l'outil logiciel Unity. Les points de vue et conditions de prises de vue sont approximativement identiques entre le modèle numérique et la photo - extrait de [SL15]



## Pourquoi est-ce difficile ?

### Inexactitude des données SIG

- Pas à jour
- Incomplètes
- Fausses



Textures et rendu problématiques au pied de la Tour Bretagne - extrait de [SL15]

## Pourquoi est-ce difficile ?

### Inexactitude des données SIG

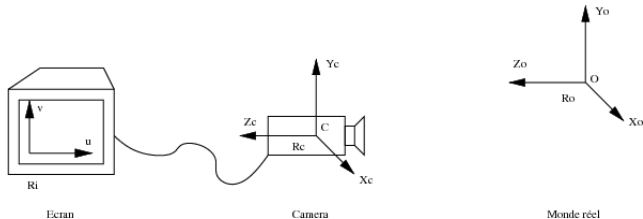
- Pas à jour
- Incomplètes
- Fausses



**Absence de géométries (murs d'enceinte du château des Ducs de Bretagne) -  
extrait de [SL15]**

## Modèle de caméra sténopé

- Repères



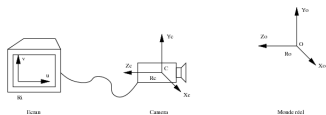
[source [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AReperes\\_camera.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AReperes_camera.png)]

- ▶  $(R_o, \vec{X}_o, \vec{Y}_o, \vec{Z}_o)$  : repère monde.  $O$  est l'origine de ce repère
- ▶  $(R_c, \vec{X}_c, \vec{Y}_c, \vec{Z}_c)$  : repère caméra.  $C$  est le centre optique de la caméra
- ▶  $(R_i, \vec{u}, \vec{v})$  : repère image



## Modèle de caméra sténopé

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{K}[\mathbf{R}|\mathbf{t}] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$



- Paramètres intrinsèques (fixe, déterminés par calibration préalable)

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_u & s_{uv} & c_u \\ 0 & k_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- $f$  : la distance focale
- $k_u$  et  $k_v$  : les facteurs d'agrandissement de l'image
- $c_u$  et  $c_v$  : les coordonnées de la projection du centre optique de la caméra sur le plan image
- $s_{uv}$  : traduit la non-orthogonalité potentielle des lignes et des colonnes

- Paramètres extrinsèques (variables)

$$[\mathbf{R}|\mathbf{t}] = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \begin{matrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- $\mathbf{R}_{3 \times 3}$  : la matrice de rotation permettant de passer du monde au repère caméra
- $[t_x, t_y, t_z]^t$  : vecteur translation permettant de passer du repère monde au repère caméra

# Plan

## 6 Motivations

## 7 Contexte

## 8 Différents types d'approches images-SIG

- Pas de données SIG
- Recalage image SIG 2D
- Recalage avec un SIG 2.5D
- Recalage avec un SIG "3D"
- Cartes Augmentées

## Différents types d'approches

- Classées par données utilisées
  - ▶ pas de SIG : comparaison d'images
  - ▶ **SIG 2D** : aucune donnée 3D utilisée, uniquement emprises au sol
  - ▶ **SIG 2.5D** : seule la hauteur des bâtiments est utilisée
  - ▶ **SIG 3D** : un modèle 3D plus complet est fourni

## Approche à base de comparaison d'images [LLYC07]

### Idée

Utiliser des bases de données d'images de points remarquables

### Principe

- Pour chaque bâtiment remarquable, avoir une vue du bâtiment sous tous ses angles
- Créer un descripteur unique pour chaque vue
- Pour une image *requête*, calculer le descripteur et chercher dans la BDD

### Problèmes

- Robustesse du descripteur (météo, lumière, angle de vue, zoom)
- Recherche, i.e. trouver une fonction de hachage (recherche en  $\mathcal{O}(1)$ )
- Complexité spatiale...
- Unicité des bâtiments

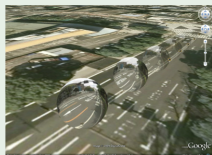
[[LLYC07] : J.-H. Lim, Y. Li, Y. You, and J.-P. Chevallet, "Scene Recognition with Camera Phones for Tourist Information Access," in *Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on*, 2007, pp. 100–103] [extrait de [Mor14]]

## Approche à base de panoramiques [YUS<sup>+</sup>09]

### Idée

Google (entre autres) a construit de nombreuses images panoramiques pour Street View

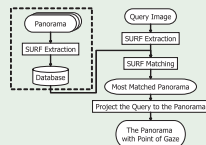
### Exemples et principe



(c) Sources for (d)



(d) Panorama by (c)



Construire des descripteurs (SURF) pour les panoramiques, appairer avec ceux des images et calculer une homographie

### Problèmes

Peu précis, absolument pas robuste aux changements de conditions météo et d'éclaircement

[extrait de [Mor14]]

## Autres exemples de travaux à base d'images

- G. Fritz, C. Seifert, and L. Paletta, "A mobile vision system for urban detection with informative local descriptors," in Fourth IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS'06), Jan 2006, pp. 30–30.
- R. Anati, D. Scaramuzza, K. G. Derpanis, and K. Daniilidis, "Robot localization using soft object detection," in Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on, May 2012, pp. 4992– 4999.
- T. Chen, K. Wu, K. H. Yap, Z. Li, and F. S. Tsai, "A survey on mobile landmark recognition for information retrieval," in 2009 Tenth International Conference on Mobile Data Management : Systems, Services and Middleware, May 2009, pp. 625–630.
- W. Zhang and J. Kosecka, "Image based localization in urban environments," in 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, Third International Symposium on, June 2006, pp. 33–40.
- T. Sattler, B. Leibe, and L. Kobbelt. Improving Image-Based Localization by Active Correspondence Search. In European Conference on Computer Vision (ECCV), 2012.
- G. Schindler, M. Brown, and R. Szeliski. City-Scale Location Recognition. In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2007.
- J. Zhang, A. Hallquist, E. Liang, and A. Zakhor, "Location-based image retrieval for urban environments," Proc. - Int. Conf. Image Process. ICIP, vol. 50, no. 150, pp. 3677–3680, 2011.
- ...

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



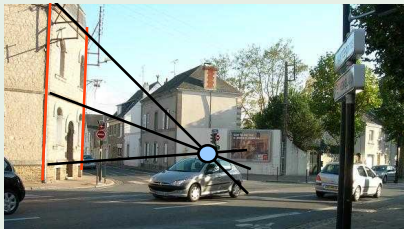
- Extraction de :

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



- Extraction de :  
- l'angle entre les façades

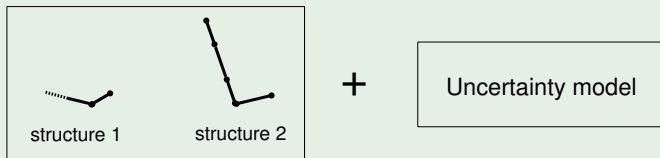


## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



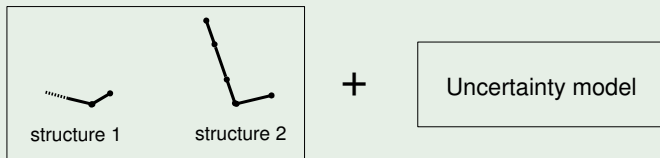
- Extraction de :
  - ▶ angle entre les façades
  - ▶ ratio de largeurs de façades

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



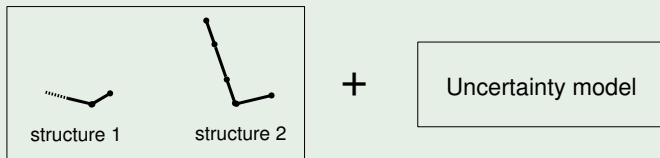
- Extraction de :
  - ▶ angle entre les façades
  - ▶ ratio de largeurs de façades

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



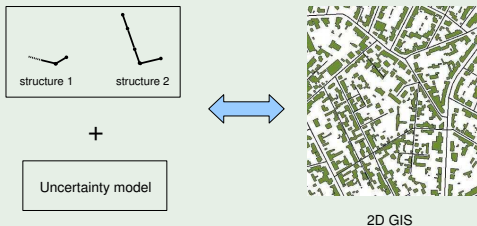
- Extraction de :
  - ▶ angle entre les façades
  - ▶ ratio de largeurs de façades

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



- Extraction de :

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



- Extraction de :

## Utilisation de caractéristiques des bâtiments [BMS09]

### Idée

Certaines caractéristiques des bâtiments peuvent être extraites des images et sont disponibles dans le SIG

### Principe



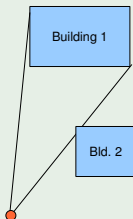
In the GIS frame

● Extraction de :

## Raffinement

### Diminuer le nombre de résultats

- Contraintes de visibilité inter-bâtiments
- Utilisation d'autres couches du SIG, ici les routes
- Mais aussi : images multiples, informations métriques...



[extrait de [Mor14]]

## Raffinement

### Diminuer le nombre de résultats

- Contraintes de visibilité inter-bâtiments
- Utilisation d'autres couches du SIG, ici les routes
- Mais aussi : images multiples, informations métriques...



[extrait de [Mor14]]



## Raffinement

### Diminuer le nombre de résultats

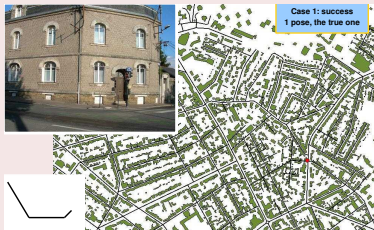
- Contraintes de visibilité inter-bâtiments
- Utilisation d'autres couches du SIG, ici les routes
- Mais aussi : images multiples, informations métriques...

[extrait de [Mor14]]

## Résultats et discussion

### 3 grands types de résultats

- 1 Cas idéal : une seule pose ... et c'est la bonne !
  - 2 Plusieurs solutions (dont la bonne)
  - 3 La bonne pose ne fait pas partie de la solution
- La reconnaissance automatique des façades n'a rien d'évident !



[extrait de [Mor14]]

## Résultats et discussion

### 3 grands types de résultats

- 1 Cas idéal : une seule pose ... et c'est la bonne !
  - 2 Plusieurs solutions (dont la bonne)
  - 3 La bonne pose ne fait pas partie de la solution
- La reconnaissance automatique des façades n'a rien d'évident !



[extrait de [Mor14]]

## Résultats et discussion

### 3 grands types de résultats

- 1 Cas idéal : une seule pose ... et c'est la bonne !
  - 2 Plusieurs solutions (dont la bonne)
  - 3 La bonne pose ne fait pas partie de la solution
- La reconnaissance automatique des façades n'a rien d'évident !

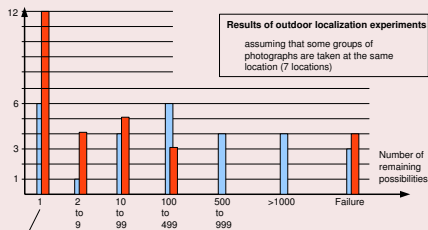


[extrait de [Mor14]]

## Résultats et discussion

### 3 grands types de résultats

- ❶ Cas idéal : une seule pose ... et c'est la bonne !
  - ❷ Plusieurs solutions (dont la bonne)
  - ❸ La bonne pose ne fait pas partie de la solution
- La reconnaissance automatique des façades n'a rien d'évident !



[extrait de [Mor14]]

## Résultats et discussion

### 3 grands types de résultats

- ❶ Cas idéal : une seule pose ... et c'est la bonne !
  - ❷ Plusieurs solutions (dont la bonne)
  - ❸ La bonne pose ne fait pas partie de la solution
- La reconnaissance automatique des façades n'a rien d'évident !



[extrait de [Mor14]]

## Autres exemples de travaux utilisant les SIG 2D

- T. J. Cham, A. Ciptadi, W. C. Tan, M. T. Pham, and L. T. Chia. Estimating camera pose from a single urban ground-view omnidirectional image and a 2D building outline map. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pages 366–373, 2010
- H. Chu, A. Gallagher, and T. Chen. GPS Refinement and Camera Orientation Estimation from a Single Image and a 2D Map. In *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pages 171–178, 2014
- P. David and S. Ho. Orientation descriptors for localization in urban environments. *International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 494–501, 2011
- ...

## Utilisation de la ligne d'horizon [ZMP<sup>+</sup>13]

### Hypothèse

La ligne d'horizon perçue dans un environnement urbain est très liée à l'endroit où l'on se trouve et la direction dans laquelle on regarde

### Exemple

[extrait de [Mor14]]



## Utilisation de la ligne d'horizon [ZMP<sup>+</sup>13]

### Hypothèse

La ligne d'horizon perçue dans un environnement urbain est très liée à l'endroit où l'on se trouve et la direction dans laquelle on regarde

### Exemple



[extrait de [Mor14]]

## Utilisation de la ligne d'horizon [ZMP<sup>+</sup>13]

### Hypothèse

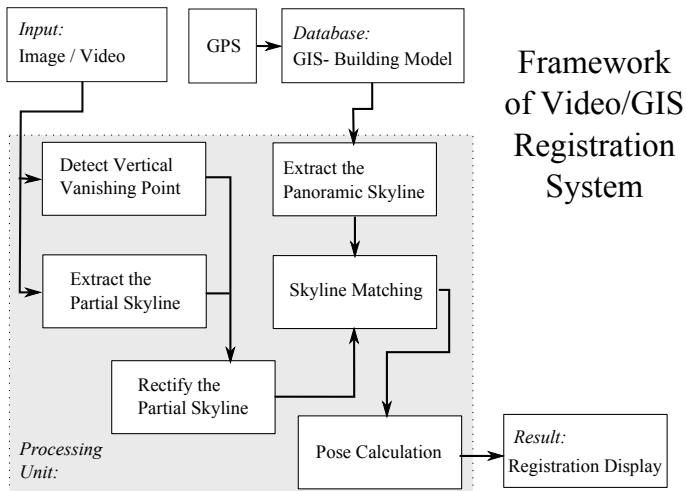
La ligne d'horizon perçue dans un environnement urbain est très liée à l'endroit où l'on se trouve et la direction dans laquelle on regarde

### Exemple



[extrait de [Mor14]]

## Principe du recalage basé sur la ligne d'horizon



## Extraction des points de fuite

- Détection des segments via LSD [GJMR10]
- Détection des points de fuite [KJG09]
  - ▶  $H$  : point qui minimise la distance entre  $s$  et l'origine
  - ▶  $k$ -cercle : lieu géométrique des points  $H$
- Calcul de la verticale puis des angles  $\beta$  et  $\gamma$

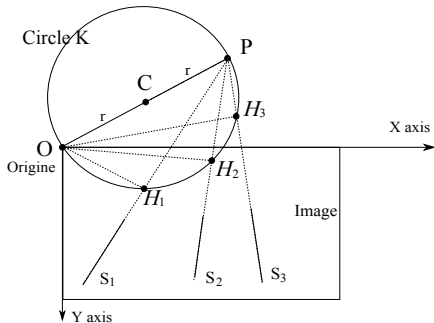
[extrait de [Mor14]]



## Extraction des points de fuite

- Détection des segments via LSD [GJMR10]
- Détection des points de fuite [KJG09]
  - ▶  $H$  : point qui minimise la distance entre  $s$  et l'origine
  - ▶  $k$ -cercle : lieu géométrique des points  $H$
- Calcul de la verticale puis des angles  $\beta$  et  $\gamma$

[extrait de [Mor14]]



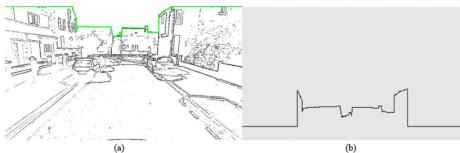
## Extraction des points de fuite

- Détection des segments via LSD [GJMR10]
- Détection des points de fuite [KJG09]
  - ▶  $H$  : point qui minimise la distance entre  $s$  et l'origine
  - ▶  $k$ -cercle : lieu géométrique des points  $H$
- Calcul de la verticale puis des angles  $\beta$  et  $\gamma$

[extrait de [Mor14]]



## Extraction de la ligne d'horizon



- Seuillage adaptatif + fermeture
- Rectification en fonction des  $\beta$  et  $\gamma$  trouvés à l'étape précédente

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ 1 \end{bmatrix} = [\mathbf{K}][\mathbf{R}'][\mathbf{K}]^{-1} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

où

$$[\mathbf{R}'] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

## Génération de la ligne d'horizon synthétique

- Génération d'images de synthèse depuis le SIG
- Construction d'un panoramique avec 4 images
- Ligne d'horizon synthétique

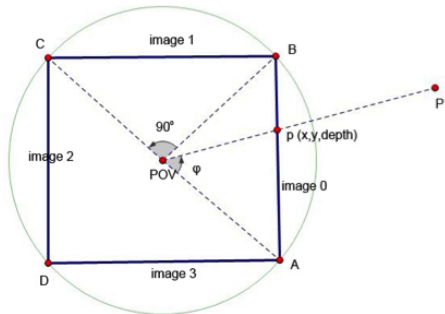
[extrait de [Mor14]]





## Génération de la ligne d'horizon synthétique

- Génération d'images de synthèse depuis le SIG
- Construction d'un panoramique avec 4 images
- Ligne d'horizon synthétique

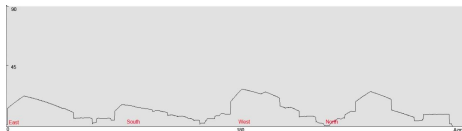


[extrait de [Mor14]]

## Génération de la ligne d'horizon synthétique

- Génération d'images de synthèse depuis le SIG
- Construction d'un panoramique avec 4 images
- Ligne d'horizon synthétique

[extrait de [Mor14]]



## Appariement

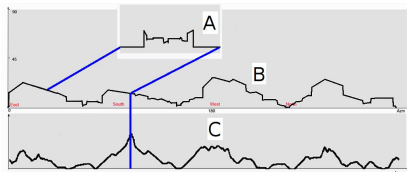
- Utilisation de la similarité croisée sur les deux lignes d'horizon (exprimée en azimuth)

$$CS(fg)[i] = \sum_{j=0}^N \begin{cases} 1 - SimifSim < 0.25 \\ 0 \text{ else} \end{cases}$$

où

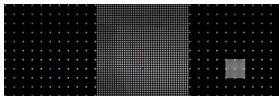
$$Sim = \left| \frac{f(j) - g(i - N + j)}{f(j)} \right|$$

[extrait de [Mor14]]



## Raffinement

- Résolution des ambiguïtés via la cohérence temporelle (sur  $\gamma$ )
- Raffinement via le calcul de nombreuses lignes de ciel synthétiques autour de la position initiale



- Quelques résultats qualitatifs

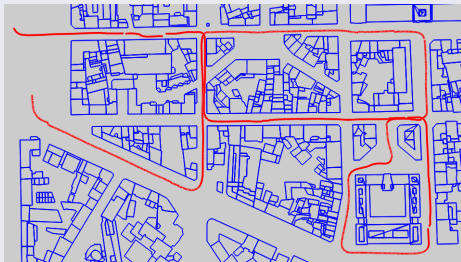


[extrait de [Mor14]]

## Résultats

### Images de synthèse

1420 images. Groupe 2 avec cohérence temporelle



Précision	Gr. 1 (%)	Gr. 2 (%)
0.5°	21.21	23.04
1.0°	67.51	71.32
2.0°	87.81	91.68

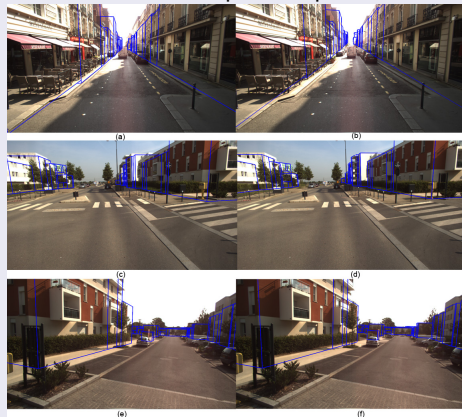
[extrait de [Mor14]]

(ECOLE GÉOMATIQUE DU GDR MAGIS)

### Images réelles

Comparaison avec ICP

$\bar{t} = 671ms$  dont 472 pour les points de fuite



## Autres exemples de travaux utilisant les SIG 2,5D

### SIG2,5 D urbains

- S. Ramalingam, S. Bouaziz, and P. Sturm. Pose Estimation Using Both Points and Lines for Geo-Localization. In International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pages 4716–4723, 2011
- A. Taneja, L. Ballan, and M. Pollefeys. Reg. of Spherical Panoramic Im. with Cadastral 3D Models. International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT), pages 479–486, Oct. 2012
- G. Baatz, O. Saurer, K. Köser, and M. Pollefeys. Large Scale Visual Geo-Localization of Images in Mountainous Terrain. In European Conference on Computer Vision (ECCV), volume 2, pages 517–530, 2012.
- M. Bansal and K. Daniilidis. Geometric Urban Geo-Localization. In Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages 3978–3985, 2014.
- C. Arth, C. Pirchheim, J. Ventura, D. Schmalstieg, and V. Lepetit, “Instant Outdoor Localization and SLAM Initialization from 2.5D Maps,” IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., vol. 21, no. 11, pp. 1309–1318, 2015
- ...

## Calcul de la pose pour la 1ère image [CSM]

### Recalage semi-automatique

- Pose grossière raffinée manuellement (interface OpenGL)
- Corresp. image/modèle fournies par l'utilisateur ( $\leq 4$  points)
- Points du modèle = coins des bâtiments, détectés et identifiés automatiquement à partir de la pose grossière
- Estimation de la pose par AVV (Asservissement visuel virtuel) [MC02]

### Recalage automatique

- mesure GPS = position  $t$  approximative
- SFM entre images 1 et  $i$  + alignement translation SFM et translation GPS → orientation  $R$  approximative
- raffinement pose  $(R; t)$  : correspondances de lignes + Ransac

[extrait de [Mor14]]

## Calcul de la pose pour la 1ère image [CSM]

Pose estimée par AVV à partir des correspondances 2D-3D fournies



[extrait de [Mor14]]



## Conclusion

- Beaucoup de travaux utilisant des "SIG 3D" qui sont en fait des SIG 2,5D (sauf concept par [LSH10])
- Des méthodes proches du temps réel - le calcul de pose étant l'étape la plus difficile
- Autre travaux pas uniquement basés sur la géométrie mais utilisant en plus les textures [SFJ12]
- Utilisation de méthodes hybrides avec d'autres capteurs (GPS, accéléromètre, gyroscopes, Lidar, etc.)

## Cartes augmentées

- **Idée** : ajouter de l'information sur des cartes papier traditionnelle à l'aide informations contenues dans un SIG
- **Problème** : grande variété des cartes - descripteur locaux basés textures non utilisables



## Cartes augmentées [YNM14][YNM15]

### Hypothèse

Utiliser les intersections des routes comme descripteur

- indépendant de la carte
- facile à extraire du SIG
- répartition plus ou moins aléatoire
- possible à extraire d'une vue d'une carte papier



## Cartes augmentées [YNM14][YNM15]

### Hypothèse

Utiliser les intersections des routes comme descripteur

- indépendant de la carte
- facile à extraire du SIG
- répartition plus ou moins aléatoire
- possible à extraire d'une vue d'une carte papier



## Cartes augmentées

<https://www.youtube.com/watch?v=joiqeI2Gc38>

## Gestion patrimoniale

# Plan

- 9 **Présentation du projet**
- 10 Dispositif muséal
- 11 Travail sur le nuage de points
- 12 Travail en cours : une base de données de documents historiques

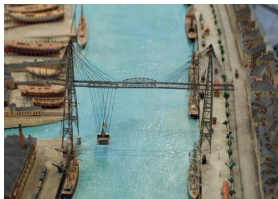
## Contexte

Nantes 1900 :

- Projet scientifique et pédagogique en partenariat avec un musée d'histoire.
- <http://www.chateaunantes.fr/fr/nantes-1900>

La maquette du port de Nantes :

- Réalisée par Pierre-Auguste Duchesne
- Date : 1899-1902
- Dimensions : 9.20 × 1.85
- Échelle : 1/500





## Objectifs - Méthodologie

### Principe

- Compréhension de l'objet
- Accès au contenu
- Promotion de la recherche historique

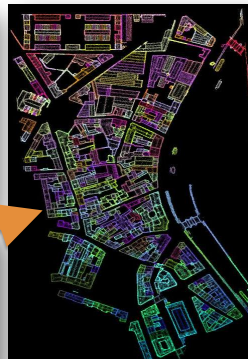
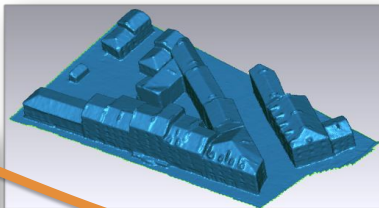
### Méthodologie

- Étude de la maquette
- Numérisation
- Constitution d'un corpus de connaissances
- Dispositif de valorisation



## Méthodologie

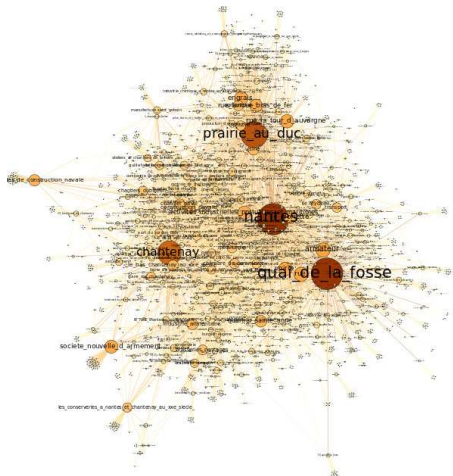
### Numérisation 3D



### Applications

## Modélisation et exploration des connaissances

- 300 points d'intérêts
- 1500 notices
- > 3000 relations / renvois d'œuvres :
  - ▶ Sémantiques
  - ▶ Géographiques
  - ▶ Temporels
- Vers un système expert ?
  - ▶ Suggestion automatique de liens
  - ▶ Projection d'un discours historique et thématique propre à chaque historien



## Proposition d'une démarche générique

En collaboration avec le projet Virtual Leodium

- Maquette : « La cité de Liège vers 1730 »
- Auteur : Gustave Ruhl-Hauzeur
- Datation : 1900-1911
- Echelle : 1/1200

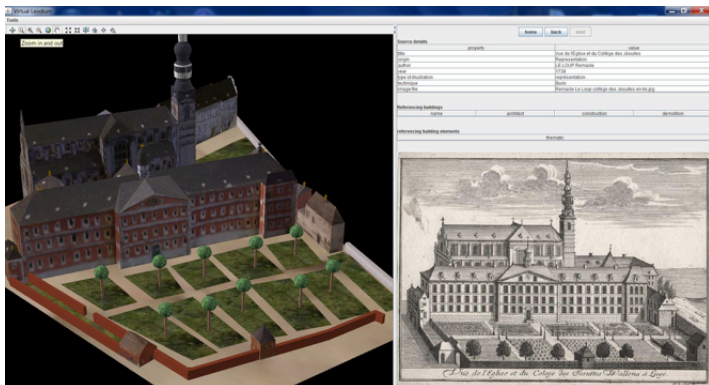


[©VirtualLeodium]

## Proposition d'une démarche générique

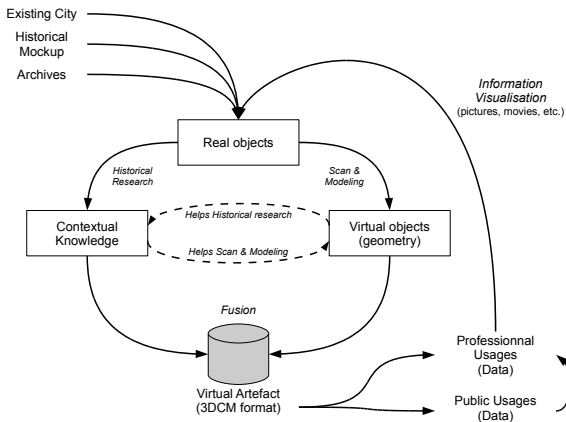
En collaboration avec le projet Virtual Leodium

- Vue 3D
- Affichage de données sémantiques



[©VirtualLeodium]

## Proposition d'une démarche générique [HBL<sup>+</sup>12]



[[HBL<sup>+</sup>12] B. Hervy, R. Billen, F. Laroche, C. Carré, M. Servières, M. Van Ruymbeke, V. Tourre, V. Delfosse, and J.-L.

Kerouanton, "A generalized approach for historical mock-up acquisition and data modelling : Towards historically enriched 3D city models," in *Usage, Usability, and Utility of 3D City Models – European COST Action TU0801*, 2012, vol. 02009, p. 02009.]

# Plan

9 Présentation du projet

**10 Dispositif muséal**

11 Travail sur le nuage de points

12 Travail en cours : une base de données de documents historiques

## Dispositif Muséal

Créer de l'interaction entre l'objet réel et l'artefact virtuel





## Dispositif Muséal

<http://www.chateaunantes.fr/fr/nantes-1900>

[[Her14] Benjamin Hervy. Contribution à la mise en place d'un PLM muséologique dédié à la conservation et la valorisation du patrimoine : Modélisation et intégration de données hétérogènes sur un cycle de vie produit complexe. Sciences de l'ingénieur [physics]. École Centrale de Nantes, 2014. Français. <tel-01102311>]

# Plan

9 Présentation du projet

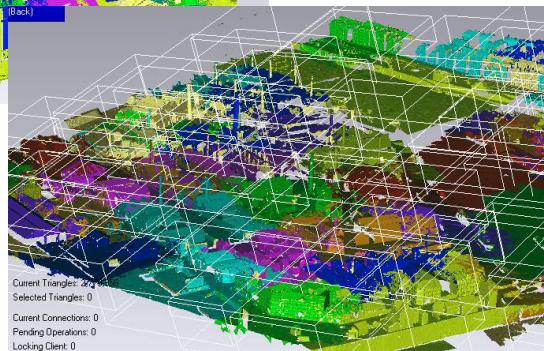
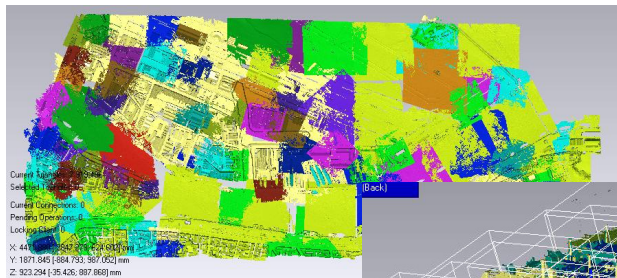
10 Dispositif muséal

**11 Travail sur le nuage de points**

12 Travail en cours : une base de données de documents historiques

## Saint Similien

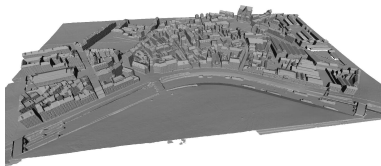
Nantes 1900 : Nuage de point trop important



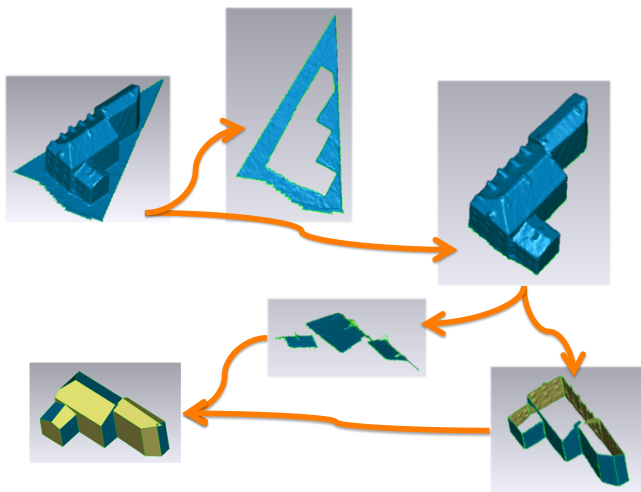
## Saint Similien

Travail sur une zone plus petite : St Similien

- $1m^2$
- 27 millions de vertex
- 9 millions de faces



## Saint Similien



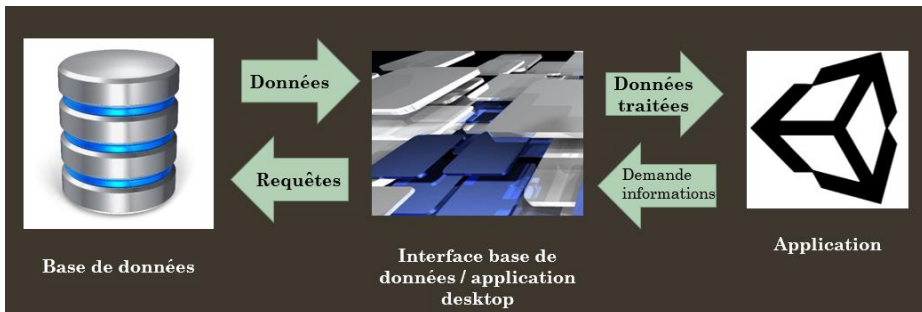
# Plan

- 9 Présentation du projet
- 10 Dispositif muséal
- 11 Travail sur le nuage de points
- 12 Travail en cours : une base de données de documents historiques**

## Type de données

- documents
- images
- vidéo
- texte

## Travail sur une base basée sur le Dublin Core



## Conclusion



## Conclusion

- De nombreux usages autres que la visualisation ou la représentation autour des modèles 3D
  - ▶ Analyse de la ville
    - Détection de changements dans une ville
    - Détermination de la surface habitable
    - Classification des types de bâtiments
- Un modèle 3D souvent support graphique pour une meilleure compréhension
  - ▶ Articulation des usages pré-cités avec la visualisation (infovis et datavis) ou la représentation
- Besoin de données
  - ▶ Une information fine 3D souvent manquante qui pourra déboucher sur d'autres applications
  - ▶ Propriétés radiatives difficiles à obtenir pour alimenter les simulations
- Croisement des données et interopérabilité restent des enjeux importants






## Conférence à venir

- UDMV 2016

- ▶ L'objectif de ce groupe de travail est de partager les techniques, méthodes, usages et points de vue sur la modélisation et la visualisation de données urbaines spatio-temporelles.
  - Modélisation de données (spatio-temporelles, multi-échelle, niveaux de détails)
  - Modélisation géométrique (acquisition, génération)
  - Visualisation (infoviz, sciviz)
- ▶ Dates
  - soumission : 22 juillet
  - notification : 3 septembre
  - workshop : 8 décembre

- [www.geo.ulg.ac.be/UDMV16](http://www.geo.ulg.ac.be/UDMV16) (en construction)

## References I

-  N. BIRET, G. MOREAU, and M. SERVIERES, *Géolocalisation en milieu urbain par appariement entre une collection d'images et un SIG 2D*, Ingénierie des systèmes d'information **14** (2009), no. 5, 107–131.
-  Filip Biljecki, Jantien Stoter, Hugo Ledoux, Sisi Zlatanova, and Arzu Çöltekin, *Applications of 3D City Models : State of the Art Review*, ISPRS International Journal of Geo-Information **4** (2015), no. 4, 2842–2889.
-  T Collet, G. Sourimant, and L. Morin, *Une méthode d ' initialisation automatique pour le recalage de données SIG et vidéo*, Compression et REpresentation des Signaux Audiovisuels (CORESA 2007).
-  Rafael Grompone von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall, *LSD : a fast line segment detector with a false detection control.*, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence **32** (2010), no. 4, 722–32.
-  Richard Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*, 2003.

## References II



B. Hervy, R. Billen, F. Laroche, C. Carré, M. Servières, M. Van Ruymbeke, V. Tourre, V. Delfosse, and J.-L. Kerouanton, *A generalized approach for historical mock-up acquisition and data modelling : Towards historically enriched 3D city models*, Usage, Usability, and Utility of 3D City Models – European COST Action TU0801 (Les Ulis, France) (T. Leduc, G. Moreau, and R. Billen, eds.), vol. 02009, EDP Sciences, oct 2012, p. 02009.



Benjamin Hervy, *Contribution to the implementation of a PLM for museology dedicated to the conservation and promotion of cultural heritage*, Theses, École Centrale de Nantes, December 2014.



Mahzad Kalantari, Franck Jung, and Jeanpierre Guedon, *Precise, automatic and fast method for vanishing point detection*, Photogrammetric Record **24** (2009), no. 127, 246–263.



Joo-Hwee Lim, Yiqun Li, Yilun You, and Jean-Pierre Chevallet, *Scene Recognition with Camera Phones for Tourist Information Access*, Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on, IEEE, jul 2007, pp. 100–103.

## References III



Marc-Oliver Löwner, A. Sasse, and Peter Hecker, *Needs and potential of 3D city information and sensor fusion technologies for vehicle positioning in urban environments*, Applied Sciences (Tijs Neutens and Philippe Maeyer, eds.), Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, no. October, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, developmen ed., 2010, p. 219.



E Marchand and François Chaumette, *Virtual visual servoing : A framework for real-time augmented reality*, EUROGRAPHICS, 2002.



Guillaume Moreau, *Recalage vidéos - SIG urbains*, Tutorial colloque GDR ISIS, AC3D'14 : "de l'Acquisition à la Compression des objets 3D", juin 2014.



Wassim Suleiman, Eric Favier, and Thierry Joliveau, *Reconnaissance de bâtiments et localisation de photographies au moyen d'un descripteur de texture*, Revue internationale de géomatique **22** (2012), no. 3, 439–459.



Valerio Signorelli and Thomas Leduc, *Utilisation du socle 3D CityGML Nantes - Secteur centre-ville*, Tech. Report AUGUST, CRENAU-UMR AAU, Nantes, 2015.

## References IV



François Sarradin, Daniel Siret, Michel Couprie, and Jacques Teller, *Comparing sky shape skeletons for the analysis of visual dynamics along routes*, Environment and Planning B : Planning and Design **34** (2007), no. 5, 840–857.



J. Teller and S. Azar, *Townscope ii—a computer system to support solar access decision-making*, Solar Energy **70** (2001), no. 3, 187 – 200, Urban Environment.



Liming Yang, Jean-Marie Normand, and Guillaume Moreau, *Robust random dot markers : towards augmented unprepared maps with pure geographic features*, Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST 2014, Edinburgh, United Kingdom, November 11-13, 2014, 2014, pp. 45–54.



\_\_\_\_\_, *Augmenting off-the-shelf paper maps using intersection detection and geographical information systems*, 14th IAPR International Conference on Machine Vision Applications, MVA 2015, Miraikan, Tokyo, Japan, 18-22 May, 2015, 2015, pp. 190–193.

## References V



Naoyuki Yazawa, Hideaki Uchiyama, Hideo Saito, M. Servieres, and Guillaume Moreau, *Image based view localization system retrieving from a panorama database by surf*, Proc. of the IAPR Conference on Machine Vision Applications, no. Figure 1, 2009.



S Zhu, L Morin, M Pressigout, G. Moreau, and M. Servières, *VIDEO / GIS REGISTRATION SYSTEM BASED ON SKYLINE MATCHING METHOD*, IEEE International Conference on Image Processing, 2013, pp. 3632–3636.