



SYNCHRONISATION

POUR L'INSERTION DE DONNÉES DANS LES MAILLAGES 3D



Laboratoire
Informatique
Robotique
Microélectronique
Montpellier



- **Président du jury :**
Jean-Marc CHASSERY (GIPSA-lab, Grenoble)
- **Rapporteurs :**
Marc ANTONINI (I3S, Sophia-Antipolis)
Florent DUPONT (LIRIS, Lyon)
- **Directeurs de thèse :**
William PUECH (LIRMM, Montpellier)
Gérard SUBSOL (LIRMM, Montpellier)
- **Invité :**
Jean-Pierre PEDEBOY (STRATEGIES, Rungis)

20/11/2014

Nicolas TOURNIER (STRATÉGIES, LIRMM, UM2, CNRS)

Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbre Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPM Euclidiens
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Plan

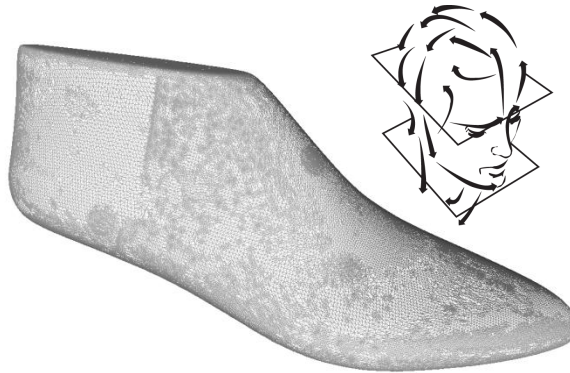
1. Motivations
 1. Contexte industriel
 2. Insertion de données cachées
 3. Synchronisation pour l'insertion de données cachées
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Contexte industriel

Conception



Numérisation



Maillage 3D
géométrie + topologie

Design



* Images extraites du site Internet de Romans CAD

Problématique

- Suivi du maillage
 - ▣ Protection du maillage 3D
 - ▣ Contrôle d'intégrité
 - ▣ Enrichissement des données
 - ▣ Maillages triangulaires (.stl)

- Moyen :
 - ▣ Insertion de données cachées dans le maillage 3D

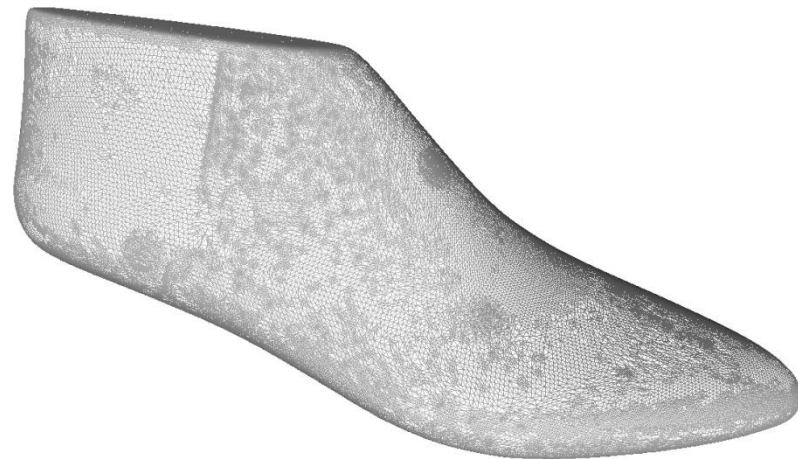


STRATÉGIES & LIRMM

- Philippe AMAT (2005-2008)
 - ▣ Méthode d'insertion de données sans déplacer les points du maillage

- Nicolas TOURNIER (2008-2011)
 - ▣ Analyse de la sensibilité
 - ▣ Conception de nouvelles méthodes de synchronisation

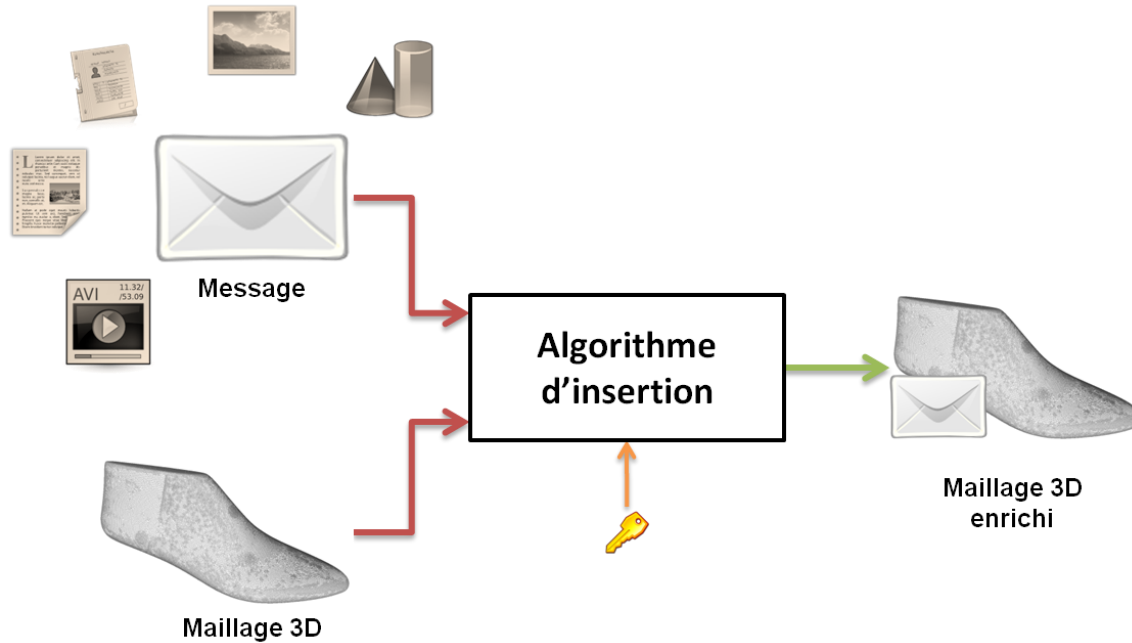
- Vincent ITIER (2012-2015)
 - ▣ Conception de nouvelles méthodes d'insertion



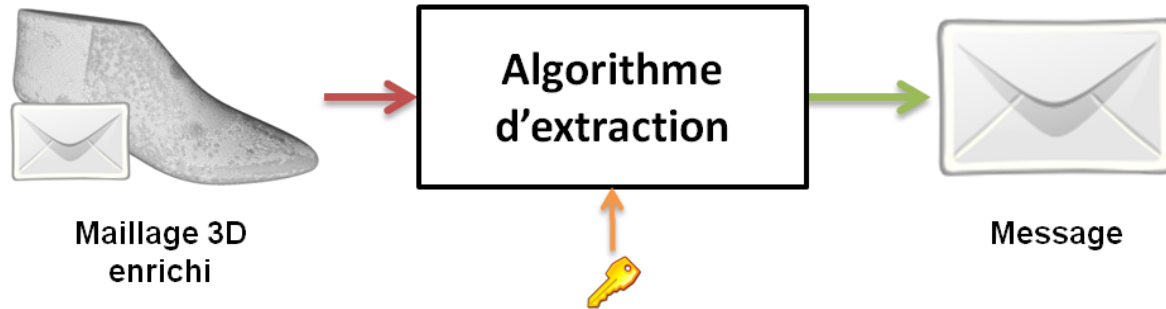
Plan

1. **Motivations**
 1. Contexte industriel
 2. **Insertion de données cachées**
 3. Synchronisation pour l'insertion de données cachées
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

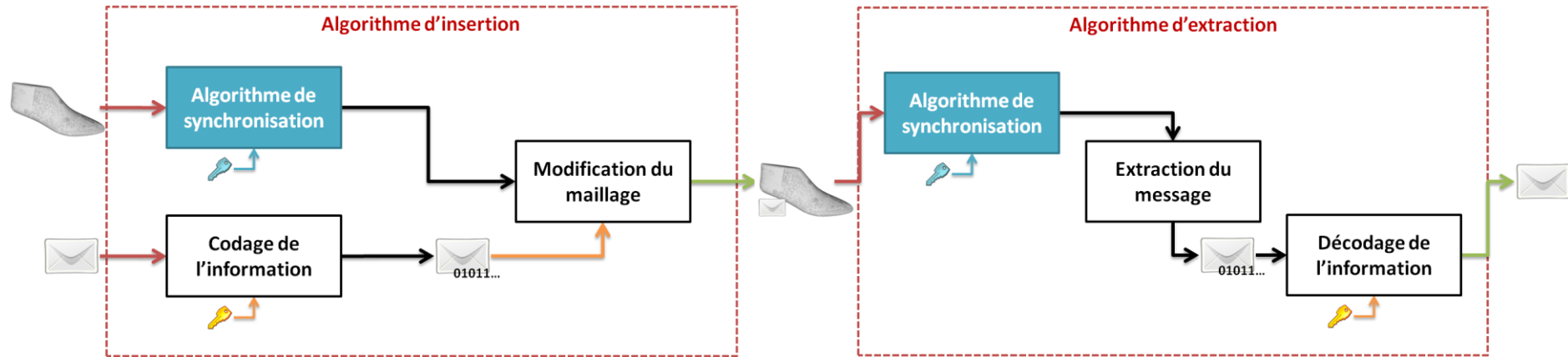
Insertion de données cachées



Extraction des données cachées



Décomposition des algorithmes



Plan

1. **Motivations**
 1. Contexte industriel
 2. Insertion de données cachées
 3. Synchronisation pour l'insertion de données cachées
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

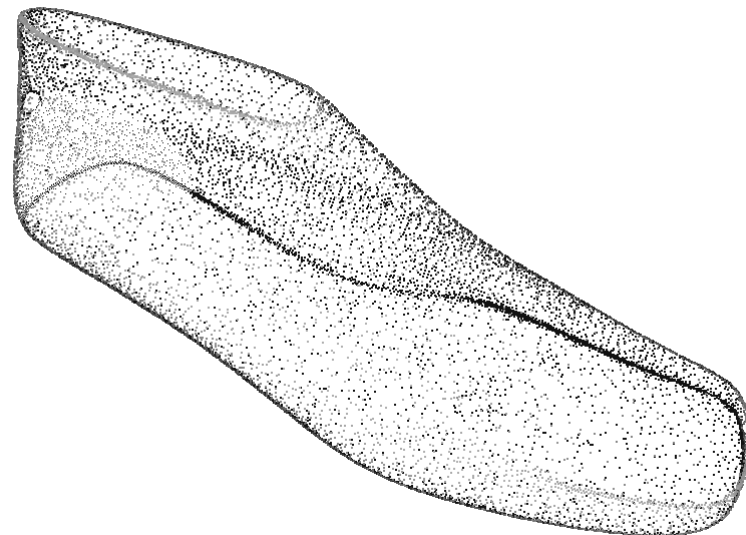
Algorithme de synchronisation

- Synchroniser, c'est :
 - ▣ Sélectionner un sous-ensemble du maillage 3D (favorable à l'insertion de données)
 - ▣ Ordonner ce sous-ensemble de manière unique

- Objectif :
 - ▣ Parcourir ce sous-ensemble

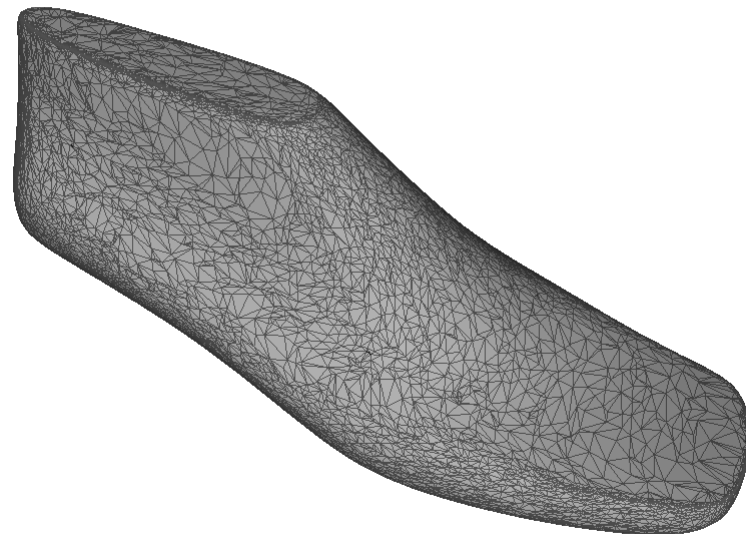
Synchronisation

- ❑ à partir de l'organisation des données dans les fichiers
- ❑ dans le domaine spatial
 - ❑ géométrique
 - ❑ topologique
 - ❑ zones caractéristiques
 - ❑ configurations spécifiques
- ❑ dans des domaines transformés
 - ❑ fréquentiel [Lavoué et al. 2007]
 - ❑ ondelettes [Wang et al. 2008]



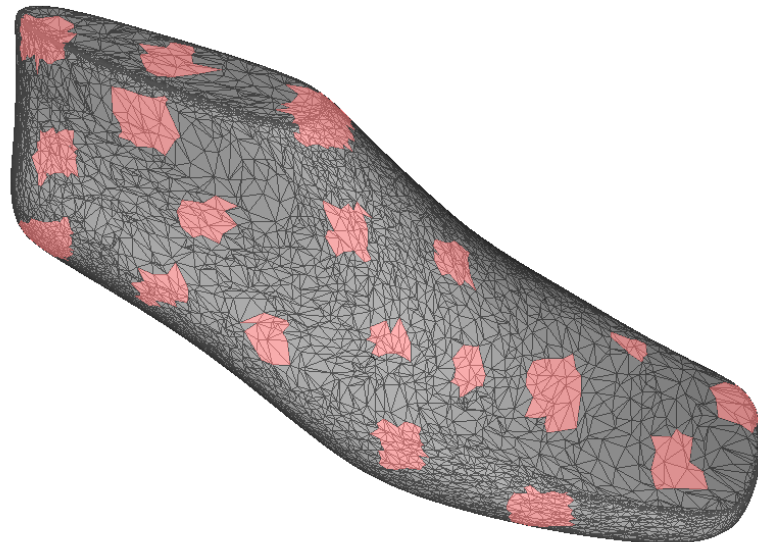
Synchronisation

- ❑ à partir de l'organisation des données dans les fichiers
- ❑ dans le domaine spatial
 - ❑ géométrique
 - ❑ topologique
 - ❑ zones caractéristiques
 - ❑ configurations spécifiques
- ❑ dans des domaines transformés
 - ❑ fréquentiel [Lavoué et al. 2007]
 - ❑ ondelettes [Wang et al. 2008]



Synchronisation

- ❑ à partir de l'organisation des données dans les fichiers
- ❑ dans le domaine spatial
 - ❑ géométrique
 - ❑ topologique
 - ❑ zones caractéristiques
 - ❑ configurations spécifiques
- ❑ dans des domaines transformés
 - ❑ fréquentiel [Lavoué et al. 2007]
 - ❑ ondelettes [Wang et al. 2008]



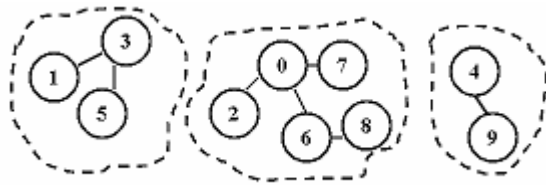
Synchronisation

- ❑ à partir de l'organisation des données dans les fichiers
- ❑ dans le domaine spatial
 - ❑ géométrique
 - ❑ topologique
 - ❑ zones caractéristiques
 - ❑ configurations spécifiques
- ❑ dans des domaines transformés
 - ❑ fréquentiel [Lavoué et al. 2007]
 - ❑ ondelettes [Wang et al. 2008]

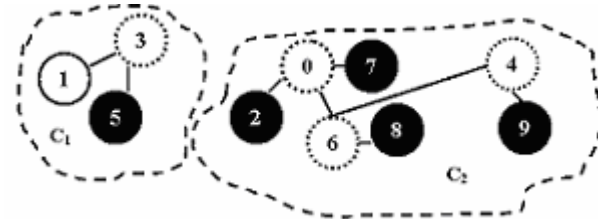


Synchronisation géométrique

□ Clustering [Agarwar et Prabhakaran, 2007]



$$\{v_i, v_j\} \Leftrightarrow \text{dist}(v_i, v_j) < \text{seuil}$$



$$\text{deg}(v_i) = 1$$

□ Résultats

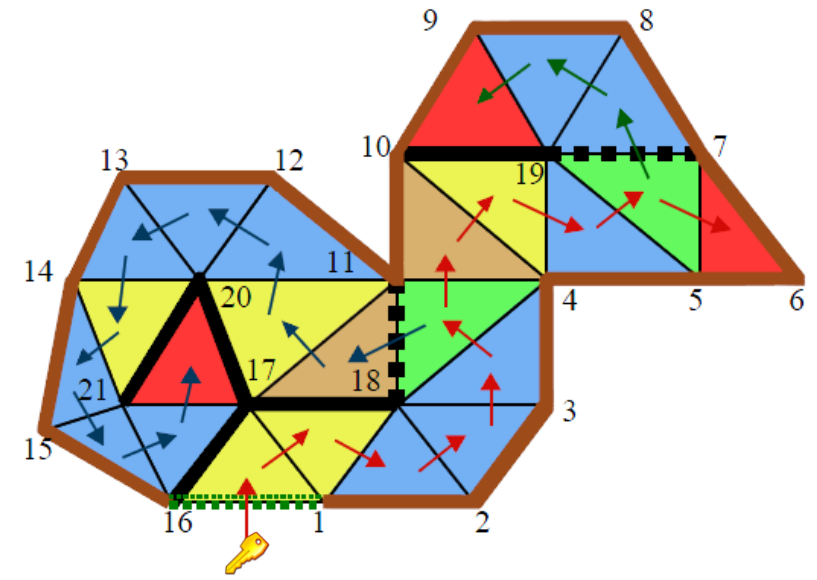
- Liste ordonnée de couples de sommets du maillage

□ Robustesse

- Remaillage

Synchronisation topologique

- Parcours de triangles
 - ▣ [Mao et al., 2001]
 - ▣ [Cayre et Macq, 2003]
 - ▣ Edgebreaker
 - [Rossignac, 1999]
- Liste de sommets
- Résultats
 - ▣ Liste ordonnée de triangles
- Robustesse
 - ▣ Bruitage, lissage...

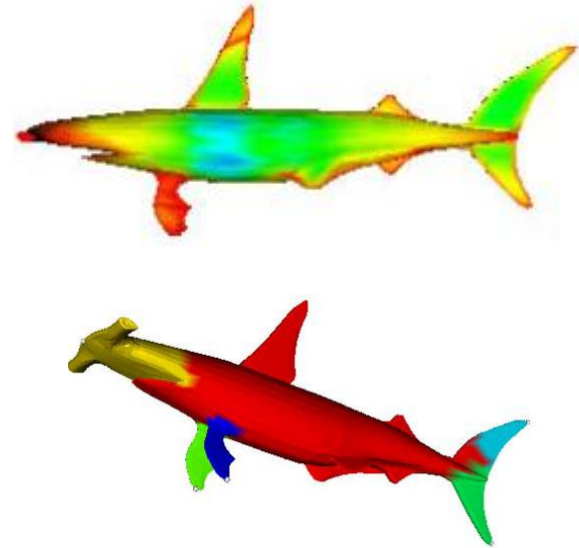


Synchronisation sur des zones caractéristiques

- Critères de sélection
 - ▣ Densité locale
[Harte et Bors, 2002]
 - ▣ Courbure
[Rondao Alface et al., 2007]

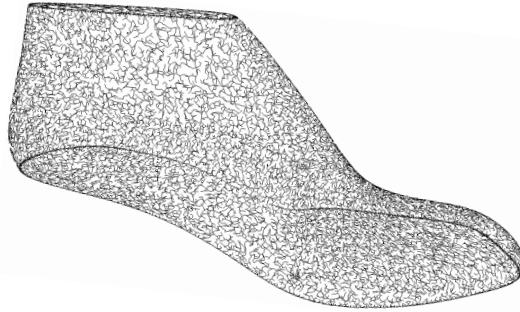
- Résultats
 - ▣ Liste ordonnée de patches

- Robustesse
 - ▣ Découpe

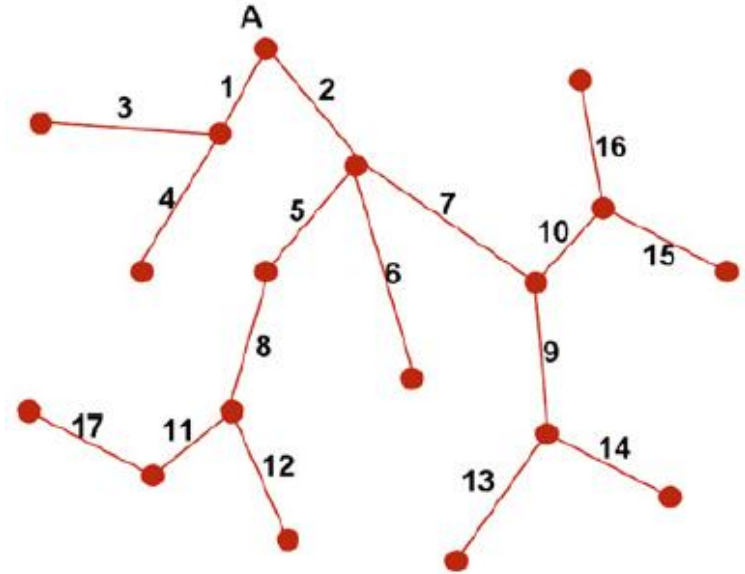


Synchronisation sur des configurations spécifiques

- Arbre Couvrant de Poids Minimum [Amat et al., 2011]



- Résultats
 - ▣ Liste ordonnée de configurations particulières
- Robustesse
 - ▣ Remaillage



Synchronisation sur des configurations spécifiques

Avantages

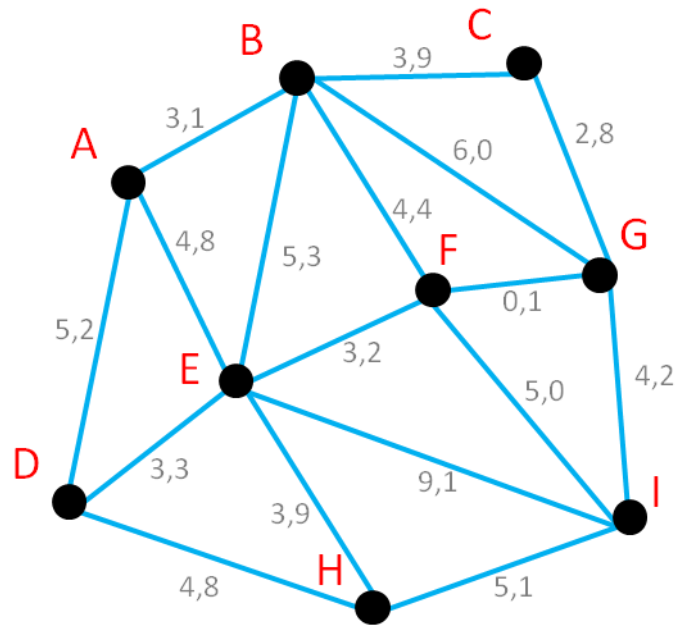
- Ordre sur tous les points du maillage

Inconvénients

- Méthode fragile au déplacement des points

Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
 1. Définitions et algorithme de Prim
 2. Comment définir la sensibilité des ACPM ?
 3. Cas des ACPME
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives



□ Sommets

$$V = \{A, B, \dots, I\}$$

$$|V| = n$$

□ Arêtes

$$E = \{AB, AD, AE, \dots, HI\} \subset V^2$$

$$|E| = m$$

□ Poids

$$\omega : E \rightarrow \mathbb{R}_+^*$$

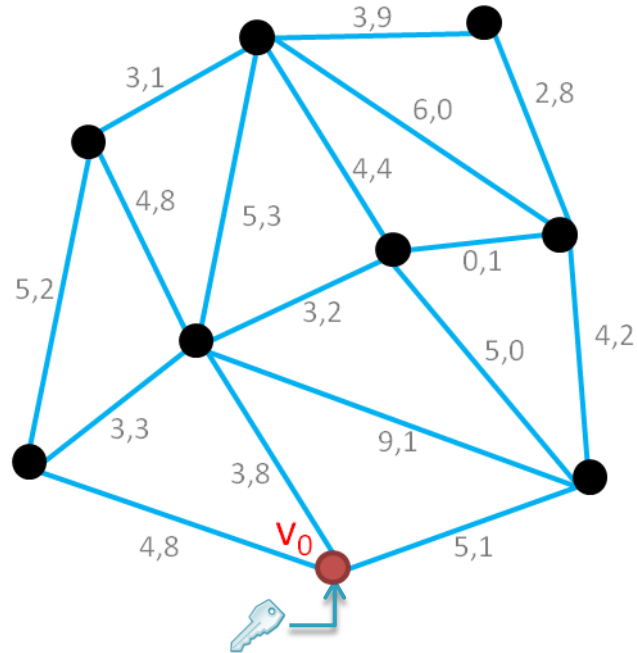
Arbre Couvrant de Poids Minimum

- Graphe connexe
- Sans cycle
- Connecte tous les sommets du graphe
- Poids de l'arbre est minimum

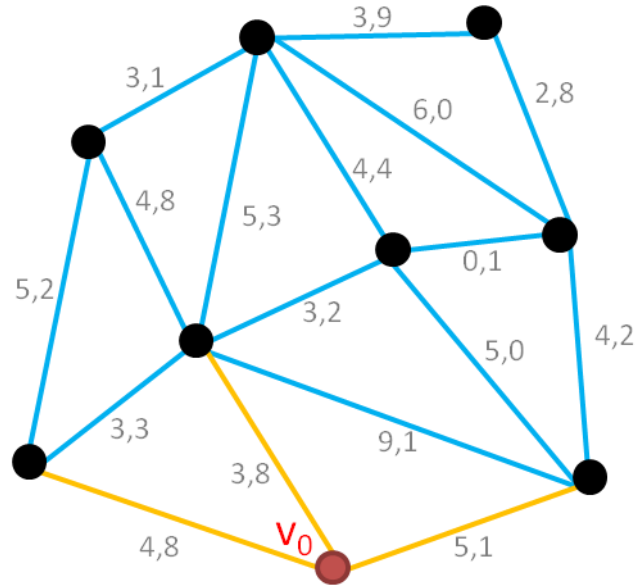
Arbre Couvrant de Poids Minimum

- Construire un ACPM :
 - ▣ Problème polynomial : n^2
 - ▣ 2 algorithmes classiques
 - [Kruskal, 1956]
 - [Prim, 1957]
 - A chaque étape de la construction, nous avons un arbre
 - Ordre sur les points et les arêtes

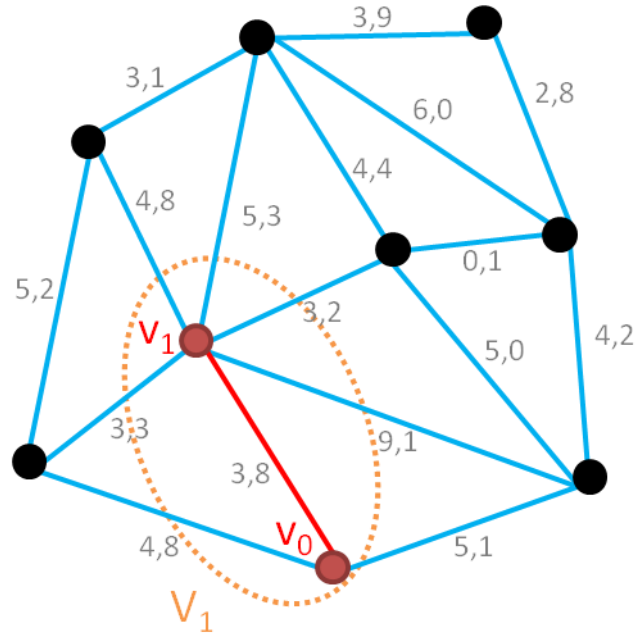
Algorithme de Prim



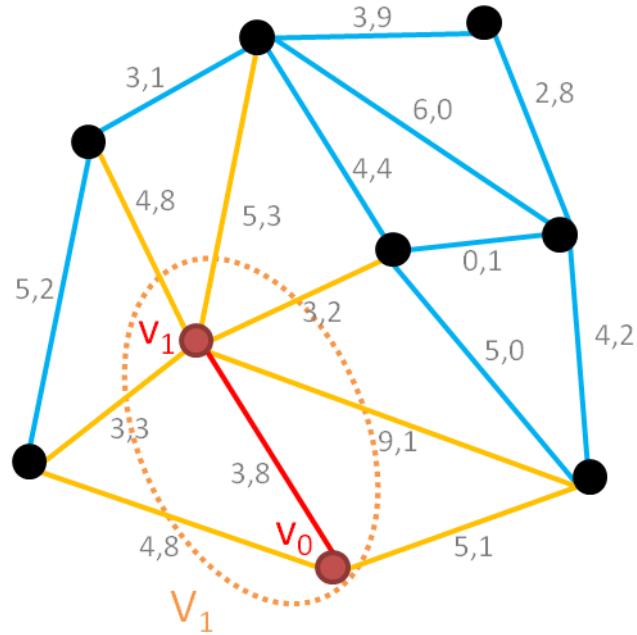
Algorithme de Prim



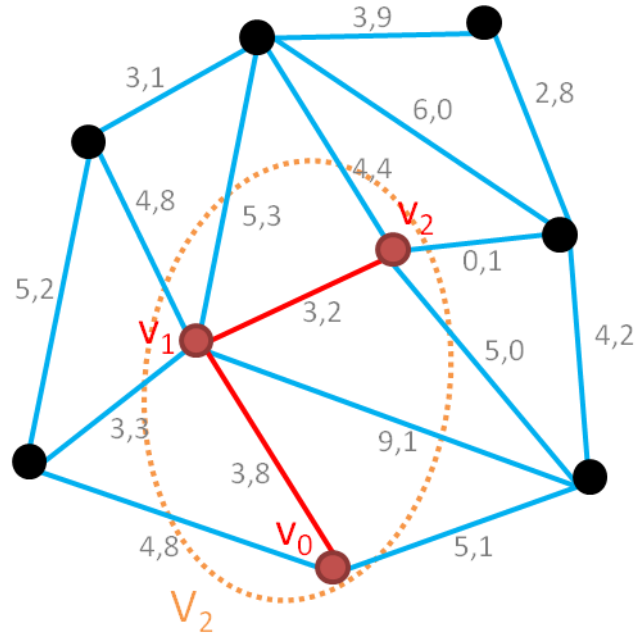
Algorithme de Prim



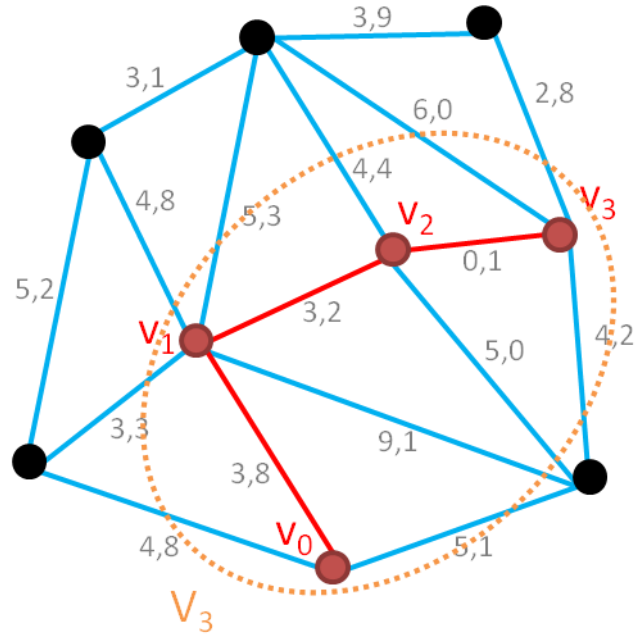
Algorithme de Prim



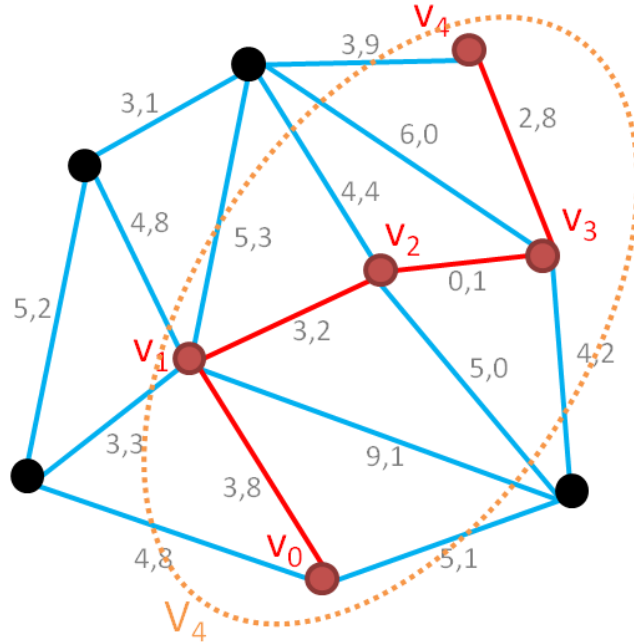
Algorithme de Prim



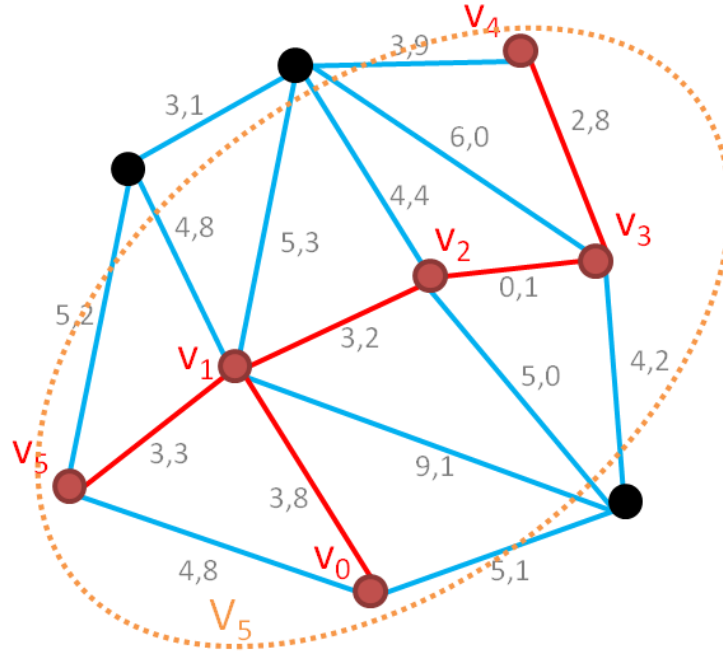
Algorithme de Prim



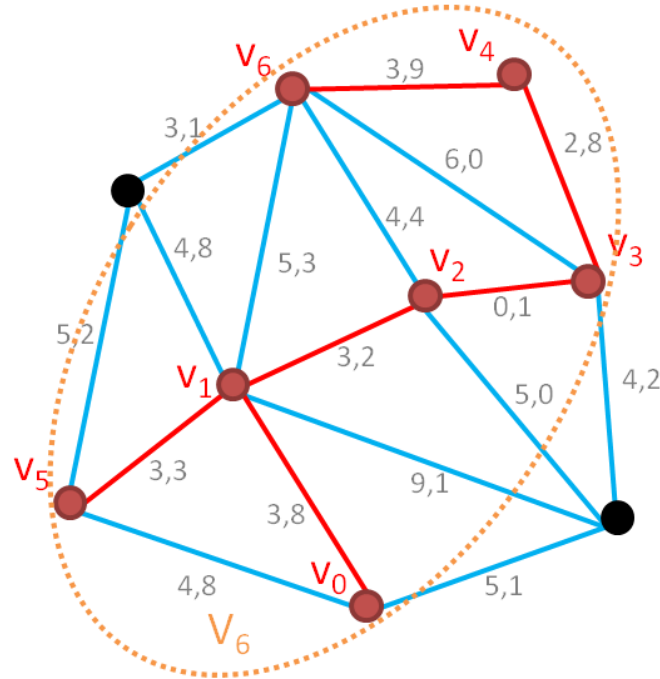
Algorithme de Prim



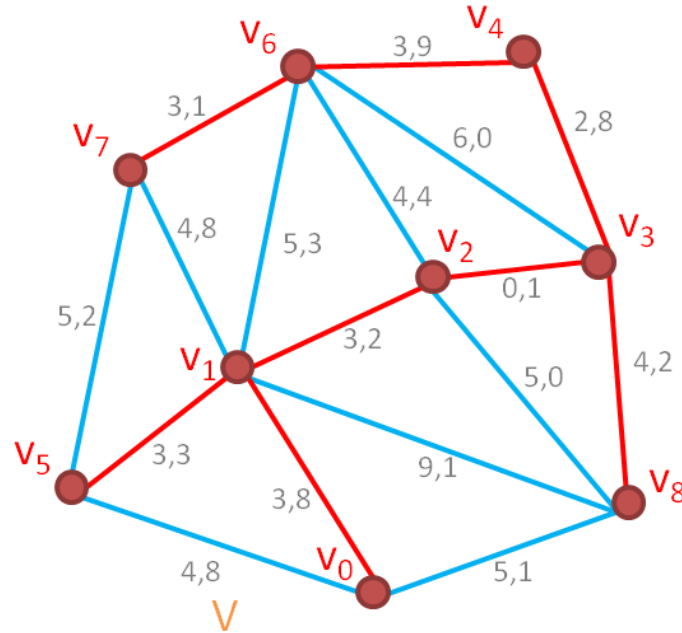
Algorithme de Prim



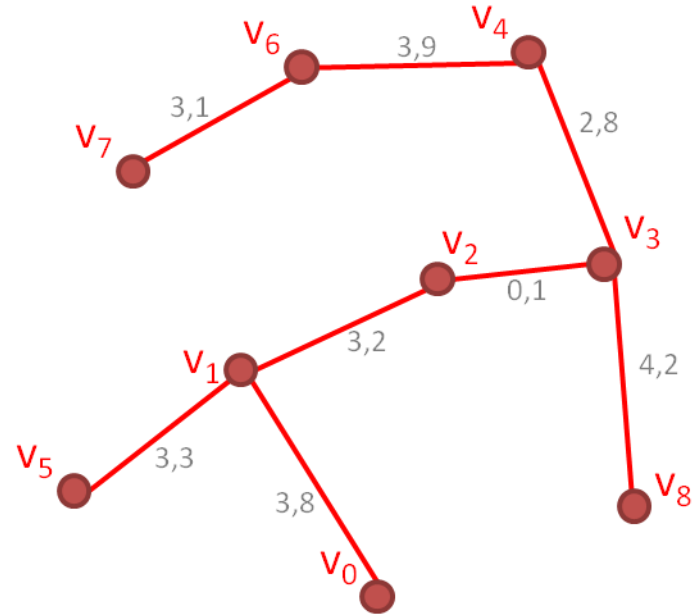
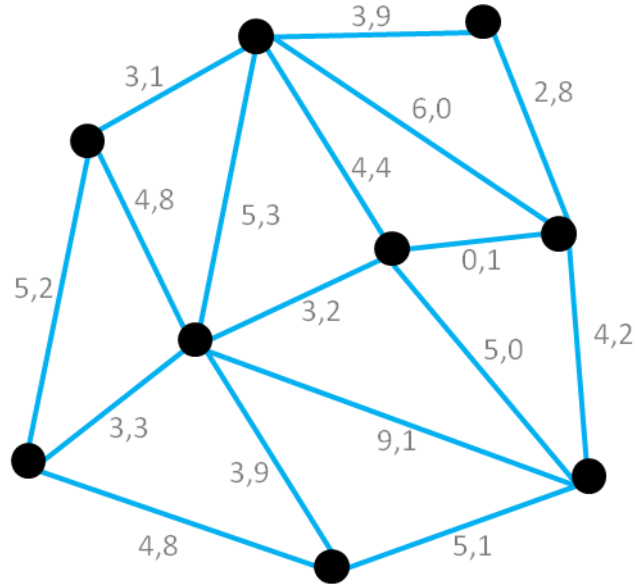
Algorithme de Prim



Algorithme de Prim

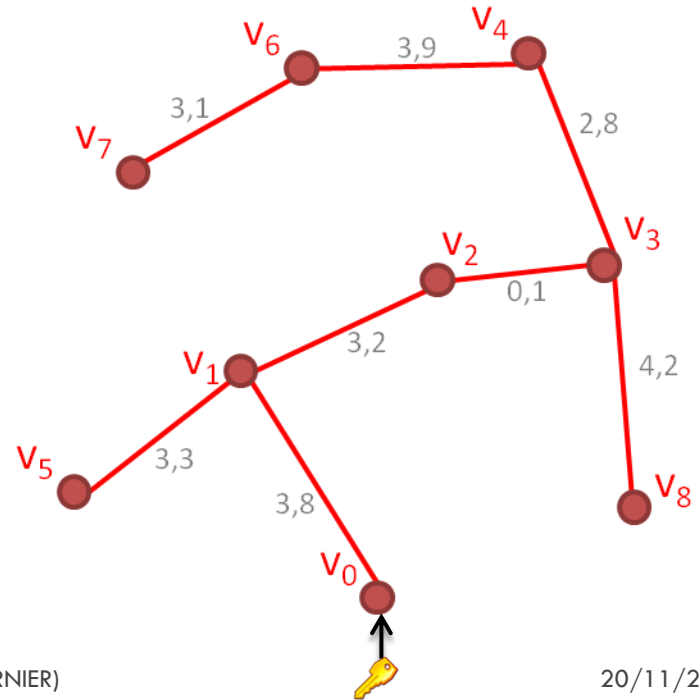


Algorithme de Prim



Quelques remarques

- Arbre Couvrant de Poids Minimum est unique
 - ⇔ si les poids sur les arêtes sont différents
- Ordre
 - ▣ sur les points
 - ▣ sur les arêtes
 - ▣ dépend du point de départ

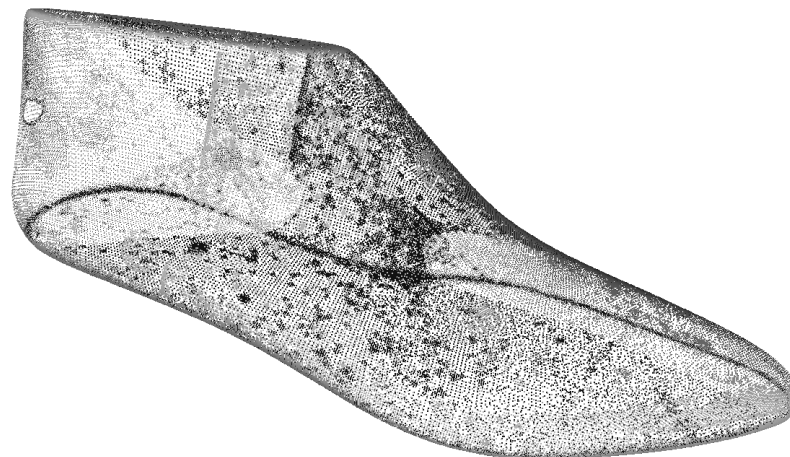


Du maillage 3D au graphe

Topologie : Triangles / Arêtes



Géométrie : Nuage de points



Du maillage 3D au graphe

Codage de la topologie

- Triangles
 - ▣ Sommet \leftrightarrow Point
 - ▣ Arête \leftrightarrow Connexion dans le maillage
 - ▣ Poids \leftrightarrow Distance
- \Rightarrow Graphe géométrique

Codage de la géométrie

- Distances
 - ▣ Sommet \leftrightarrow Point
 - ▣ Arête \leftrightarrow Relation avec tous les autres points
 - ▣ Poids \leftrightarrow Distance
- \Rightarrow Graphe géométrique complet (Euclidien)

Plan

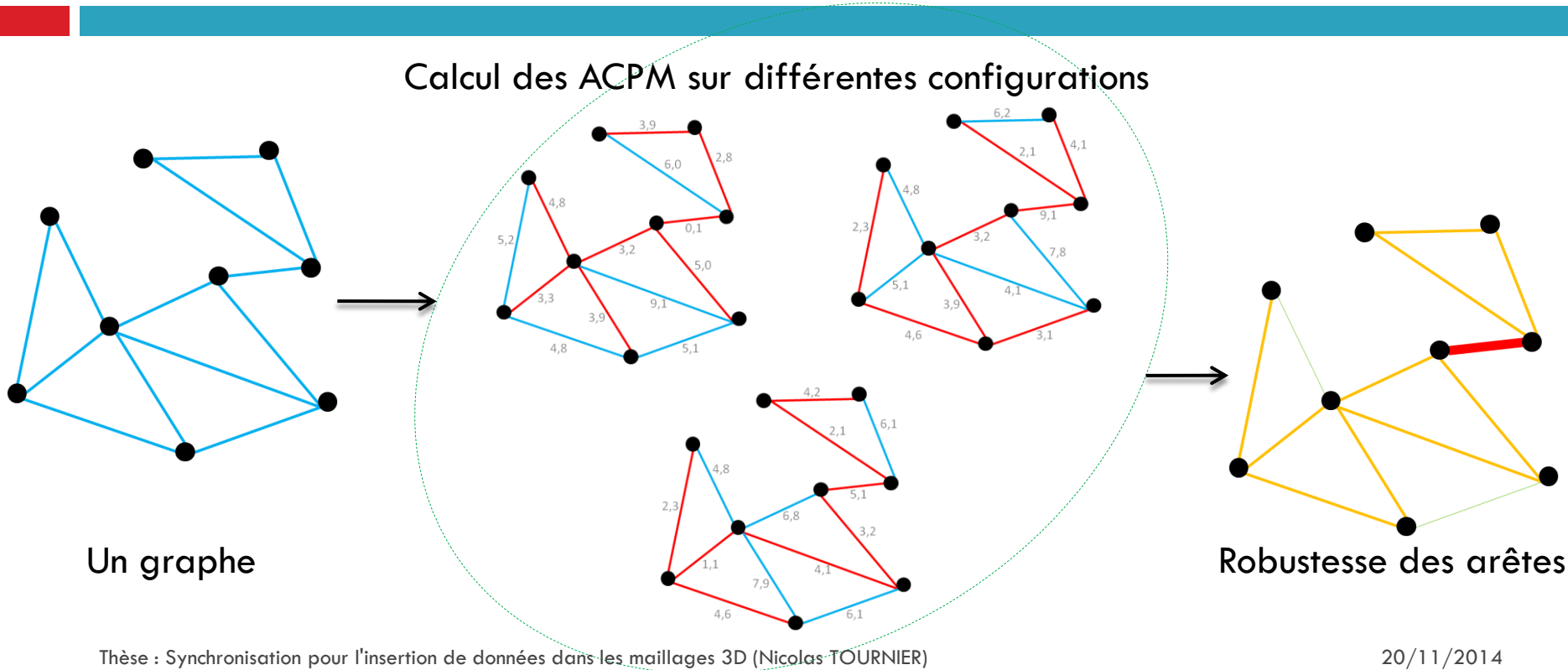
1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
 1. Définitions et algorithme de Prim
 2. Comment définir la sensibilité des ACPM ?
 3. Cas des ACPME
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Comment définir la sensibilité des ACPM ?

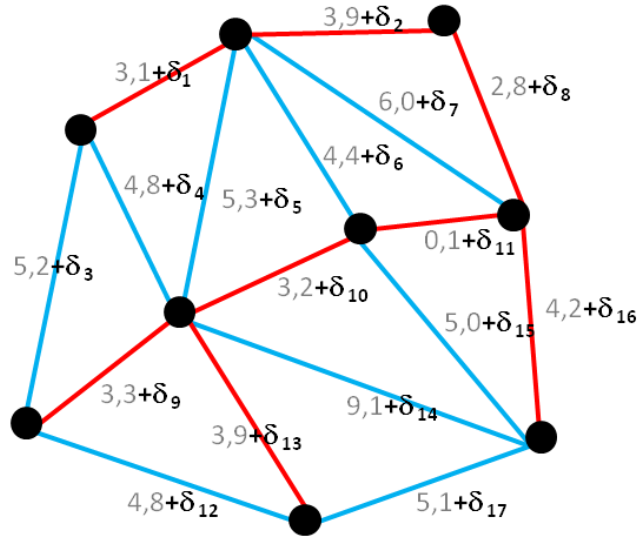
- Différentes approches
 - ▣ Arêtes « robustes » [Salazar-Neumann, 2007]
 - ▣ Sensibilité globale [Gordeev, 2001]
 - ▣ Sensibilité locale [Dixon et al., 1992]

 - ▣ Graphe dynamique [Katoh et al., 1995]

Arêtes « robustes »



Sensibilité globale

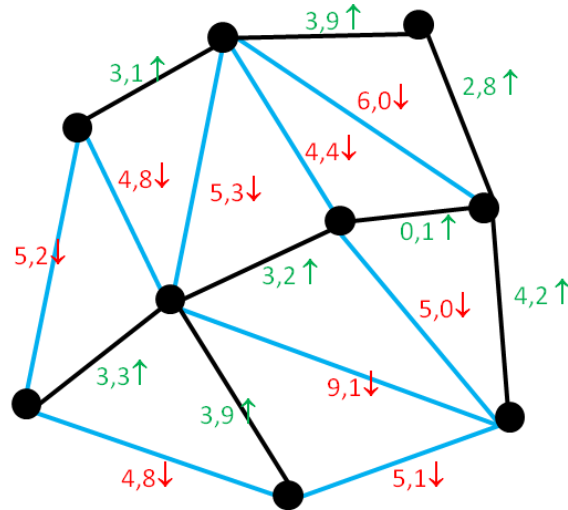


$$\Delta = \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_m \end{pmatrix} \in R^m$$

$$\|\Delta\| \in R$$

Objectif : Connaître la puissance maximum du bruit tout en conservant le même arbre

Sensibilité locale



Objectif : Connaître les conditions limites localement tout en conservant le même arbre

Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
 1. Définitions et algorithme de Prim
 2. Comment définir la sensibilité des ACPM ?
 3. Cas des ACPME
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Cas des ACPME

Graphe & ACPM

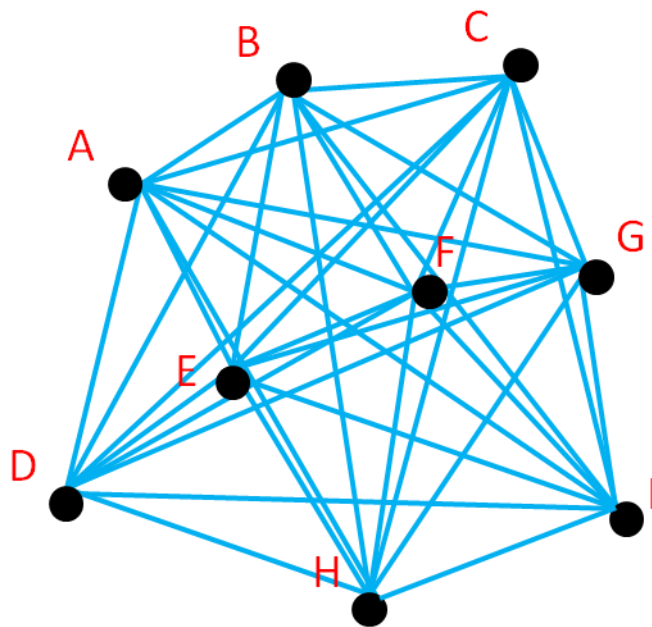
- Valeurs des arêtes sont indépendantes les unes des autres

Graphe Euclidien & ACPME

- Modification de la valeur d'une arête
- ⇔ Déplacement d'un point
- ⇒ Modifications des autres arêtes adjacentes au sommet du graphe correspondant

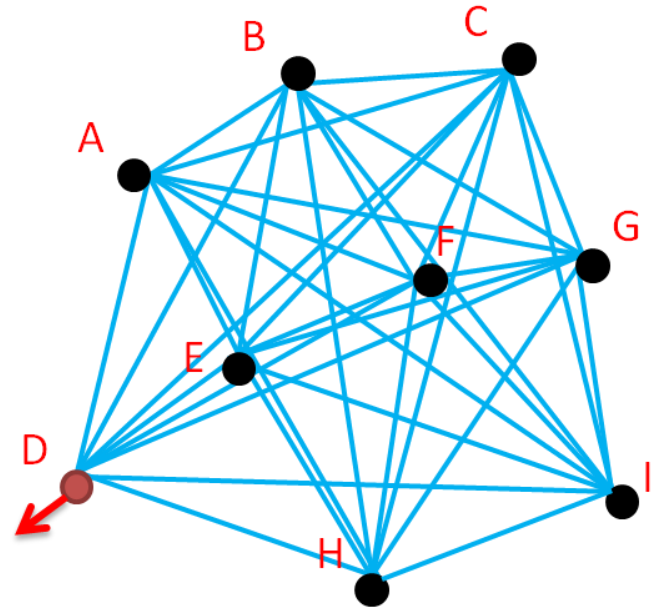
Graphe Euclidien

- Déplacement d'un point \equiv
 - ▣ $(n - 1)$ distances modifiées
 - ▣ $(n - 1)$ arêtes modifiées dans le graphe



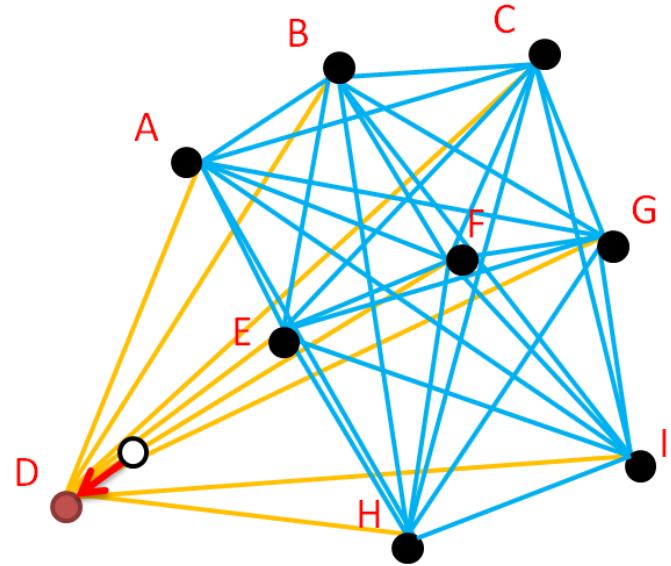
Graphe Euclidien

- Déplacement d'un point \equiv
 - ▣ $(n - 1)$ distances modifiées
 - ▣ $(n - 1)$ arêtes modifiées dans le graphe

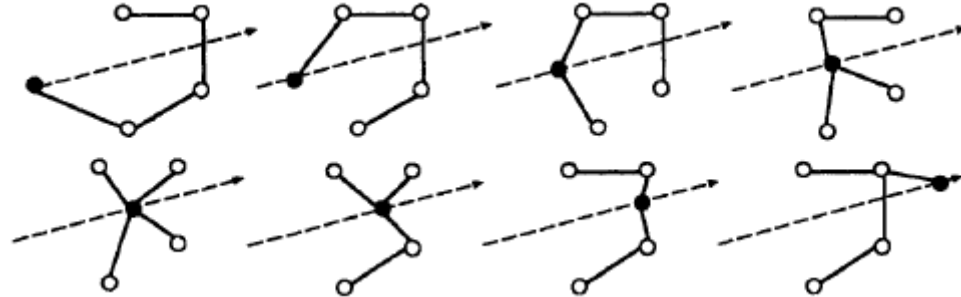


Graphe Euclidien

- Déplacement d'un point \equiv
 - ▣ $(n - 1)$ distances modifiées
 - ▣ $(n - 1)$ arêtes modifiées dans le graphe



Graphes dynamiques



Objectif : Compter les différentes configurations lors du déplacement d'un point

Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
 1. Réécriture du problème
 2. Estimation de la mobilité des points
 3. Analyses expérimentales
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Sensibilité des ACPME

- Entrées :
 - Un maillage, G son graphe euclidien et T son Arbre Couvrant de Poids Minimum Euclidien.

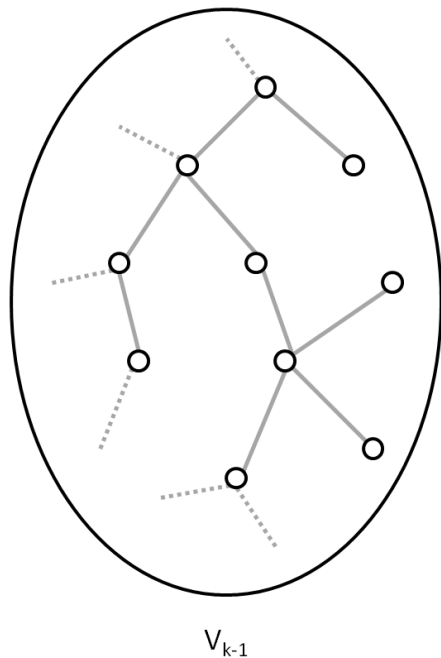
- Résultats :
 - (\forall le point du maillage) Calculer la partie de l'espace de déplacement possible telle que T reste invariant.

Sensibilité des ACPME

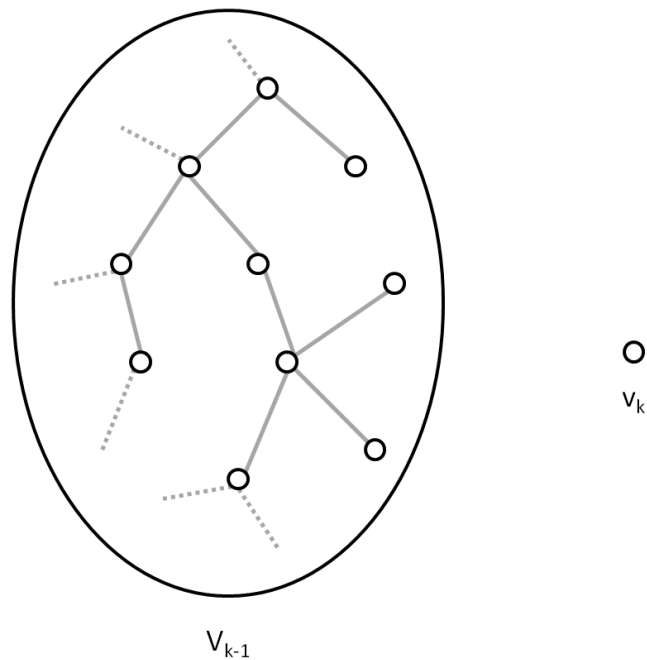
- Entrées :
 - Un maillage, G son graphe euclidien et T son Arbre Couvrant de Poids Minimum Euclidien.

- Résultats :
 - (\forall le point du maillage) Calculer la partie de l'espace de déplacement possible telle que **l'ordre des sommets dans l'algorithme de Prim reste le même.**

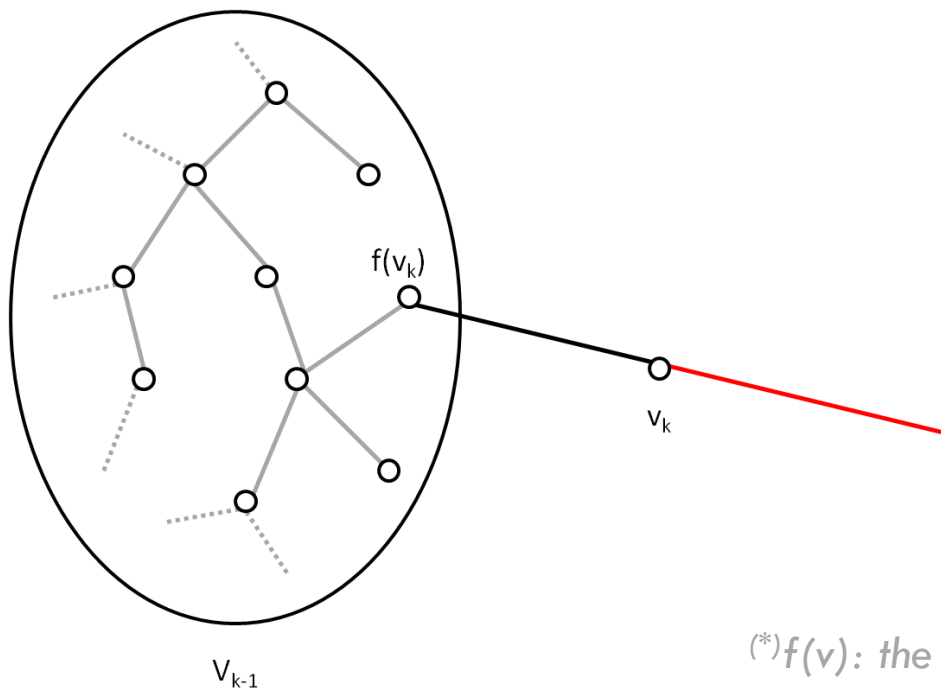
Sensibilité des ACPME



Sensibilité des ACPME

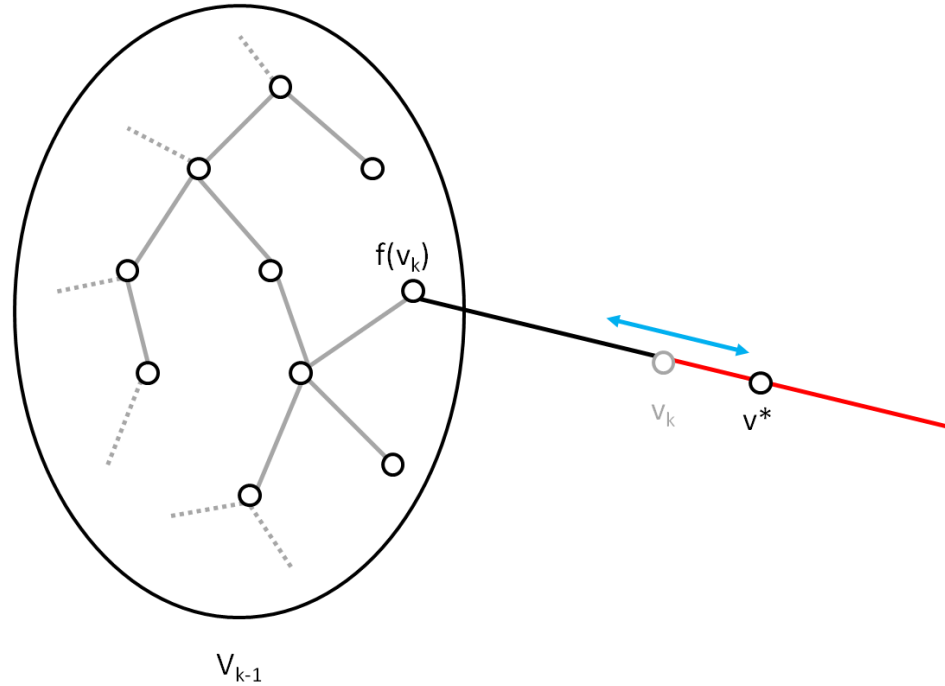


Sensibilité des ACPME



() $f(v)$: the father of the vertex v*

Sensibilité des ACPME



Sensibilité des ACPME

- A chaque étape de l'algorithme de Prim, pour chaque sommet ajouté :
 - ▣ Calculer un **intervalle** de déplacement possible du sommet
 - **Limite** le déplacement à **1D**, sur la demi-droite père-fils

tel que **v*** est ajouté à **l'étape k** :

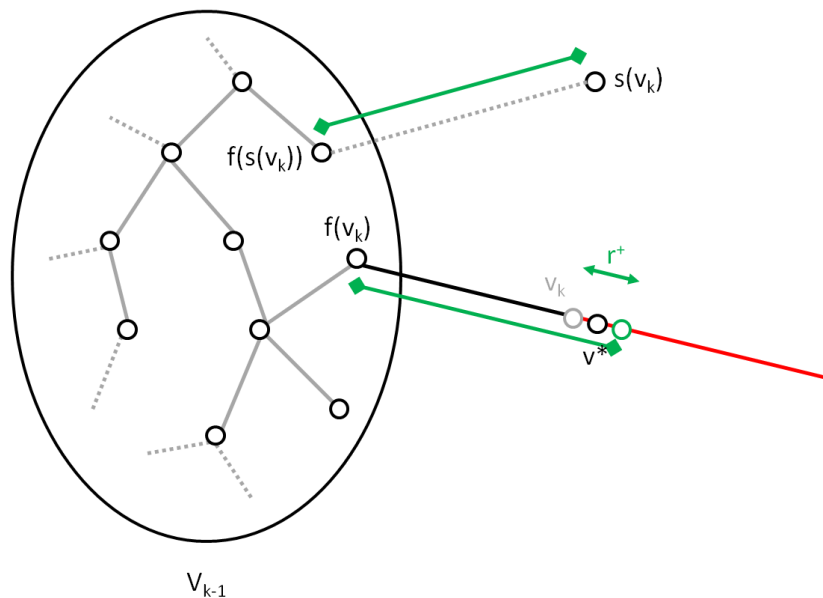
- **ni avant** \Rightarrow Condition sur une distance de rapprochement père-fils
- **ni après** \Rightarrow Condition sur une distance d'éloignement père-fils

et l'arbre reste le même **jusqu'à l'étape k**.

Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
 1. Réécriture du problème
 2. Estimation de la mobilité des points
 3. Analyses expérimentales
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Sensibilité des ACPME – r^+



□ Condition 1

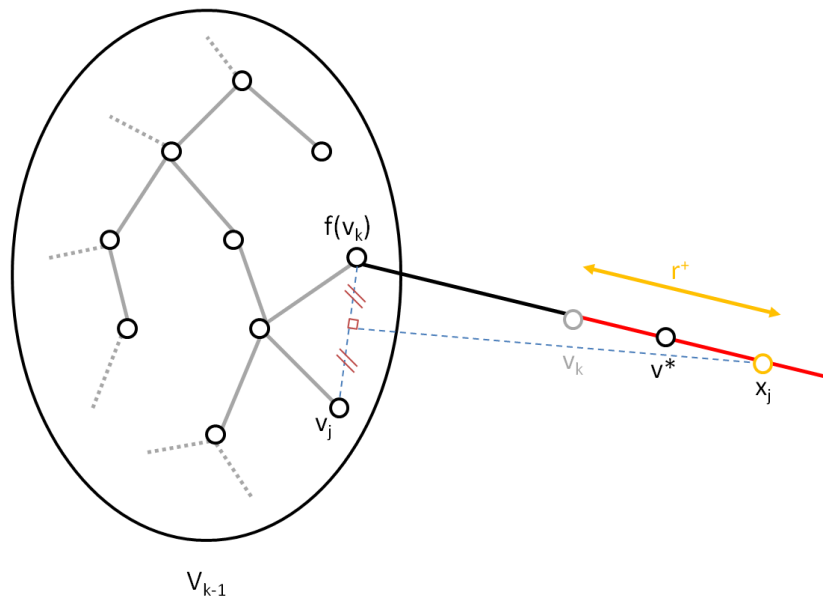
- ▣ Ne pas être sélectionné après l'étape k

⇒ Recherche du 2nd sommet le plus proche

$$d(f(v_k), v^*) < d(s(v_k), (f \circ s)(v_k))$$

(*) $s(v)$: the second closest vertex

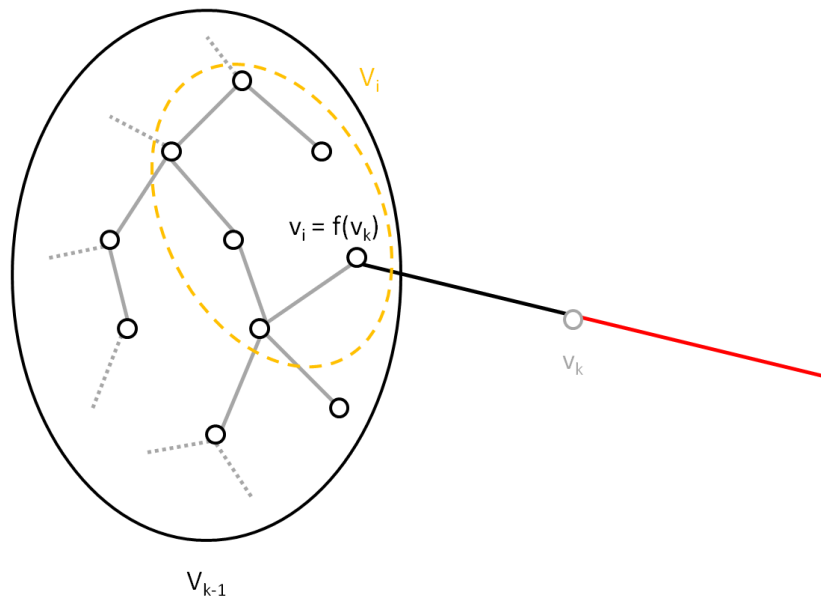
Sensibilité des ACPME – r^+



- Condition 2
 - ▣ Ne pas être sélectionné après l'étape k
 - ▣ ... et rester connecté à $f(v_k)$

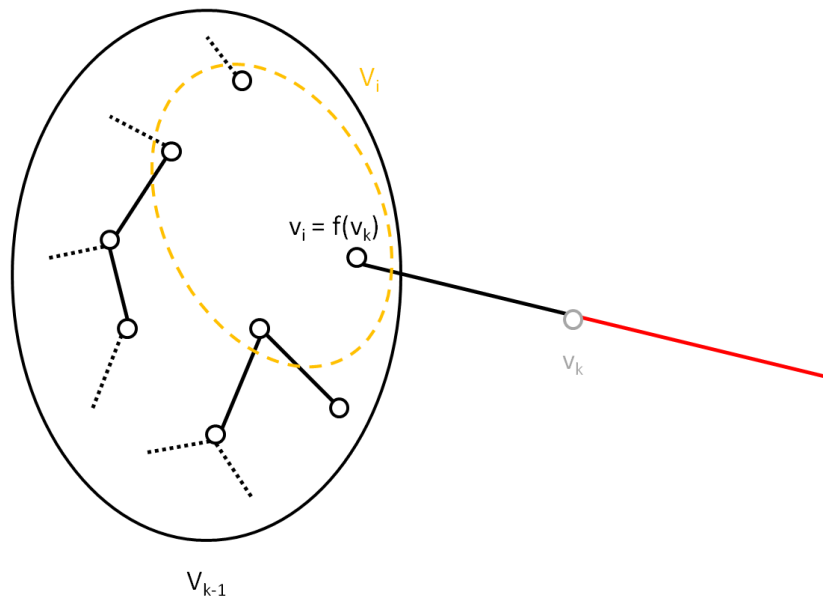
$$d(f(v_k), v^*) < \min_{j < k} d(f(v_k), x_j)$$

Sensibilité des ACPME – r^-



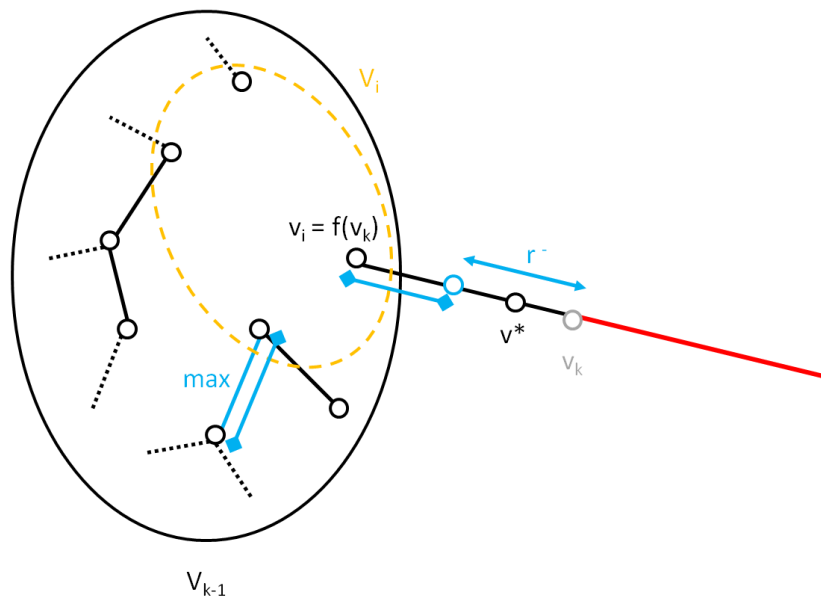
- Condition 1
 - ▣ Ne pas être sélectionné avant l'étape k

Sensibilité des ACPME – r^-



- Condition 1
 - ▣ Ne pas être sélectionné avant l'étape k

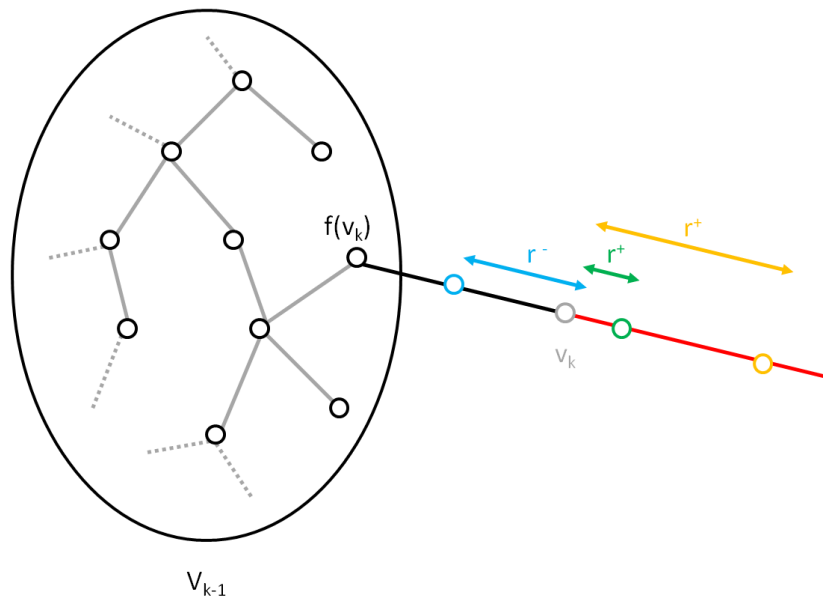
Sensibilité des ACPME – r^-



- Condition 1
 - ▣ Ne pas être sélectionné avant l'étape k

$$d(f(v_k), v^*) > \max_{i < j < k} d(f(v_j), v_j)$$

Sensibilité des ACPME



- Distance d'éloignement

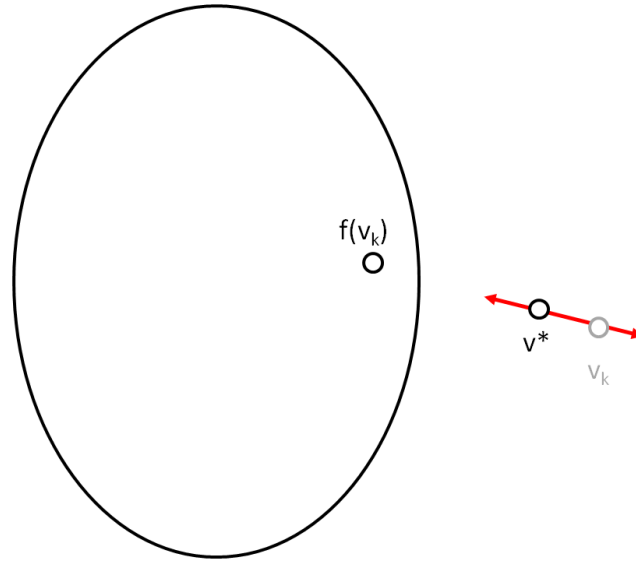
$$d(f(v_k), v^*) < d(s(v_k), (f \circ s)(v_k))$$

$$d(f(v_k), v^*) < \min_{j < k} d(f(v_k), x_j)$$

- Distance de rapprochement

$$d(f(v_k), v^*) > \max_{i < j < k} d(f(v_j), v_j)$$

Sensibilité des ACPME



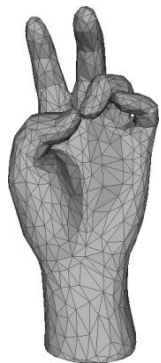
Plan

1. Motivations
2. Analyse de la sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. **Estimation de la mobilité des points dans les ACPME**
 1. Réécriture du problème
 2. Estimation de la mobilité des points
 3. **Analyses expérimentales**
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Sensibilité des ACPME - Expériences

- 10 maillages
 - ▣ 1000 points
 - ▣ Normalisation
 - Volume englobant
 - Distance moyenne entre 2 points
- Calcul
 - ▣ Distance d'éloignement ($r+$)
 - ▣ Distance de rapprochement ($r-$)

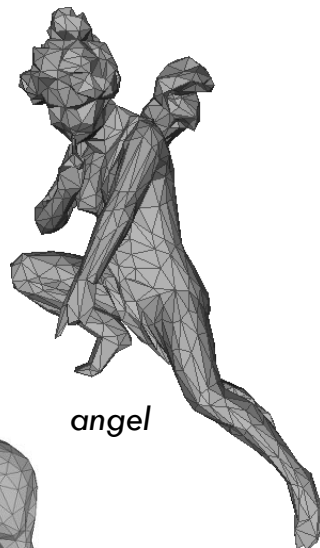
Echantillon des données utilisées



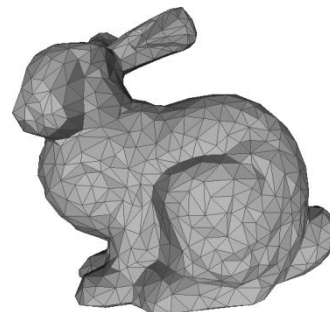
hand



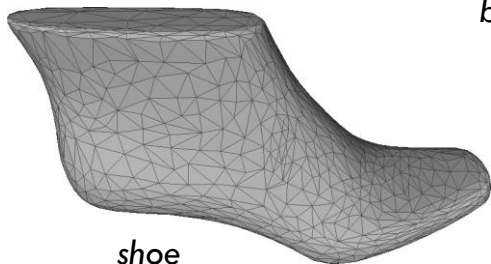
blade



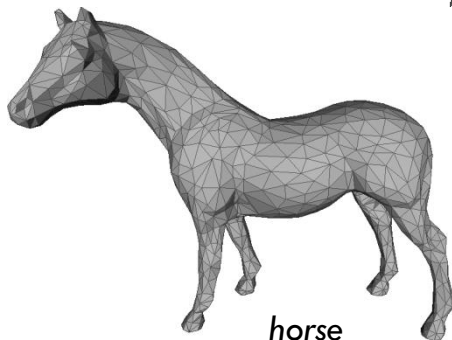
angel



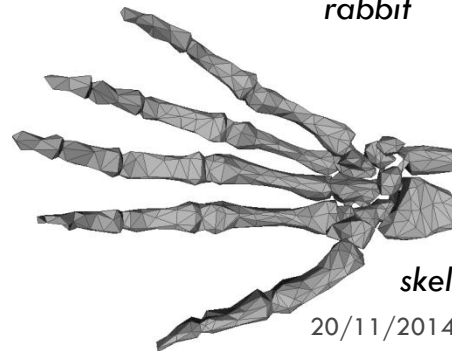
rabbit



shoe

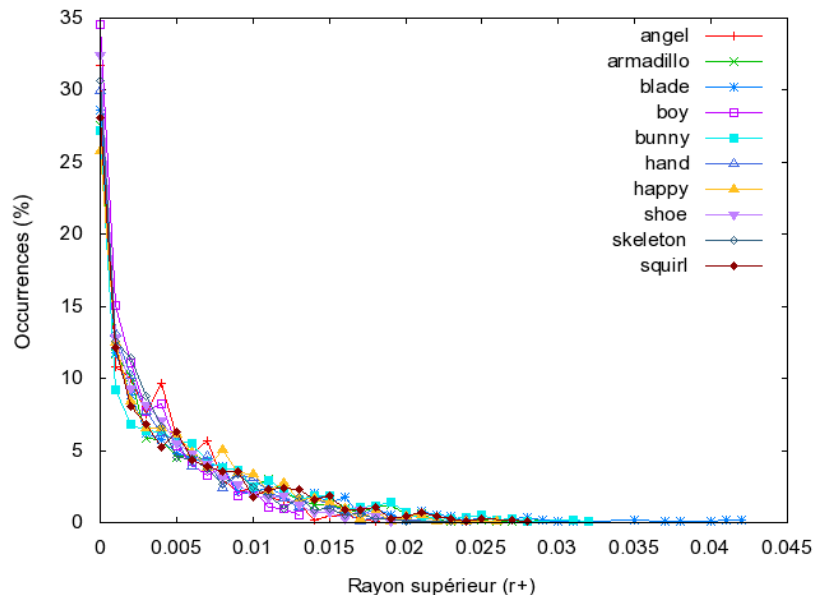


horse



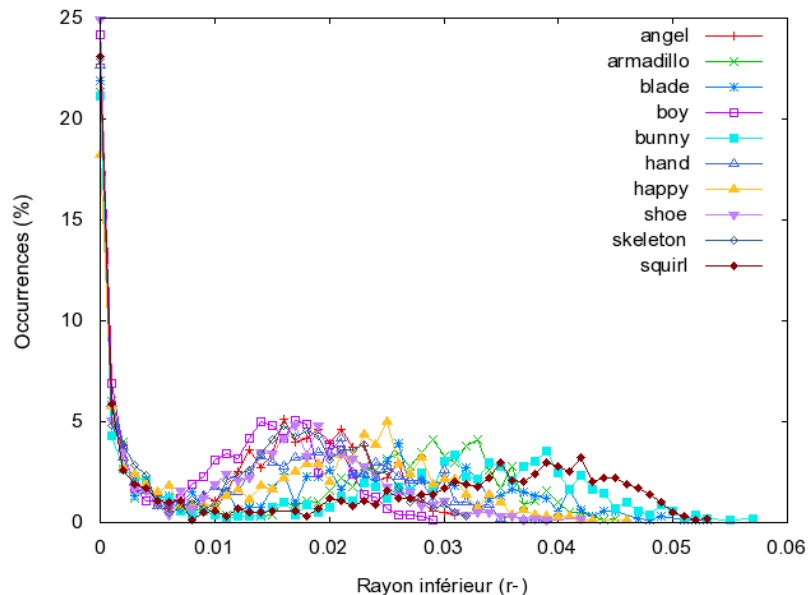
skeleton

Sensibilité des ACPME - Expériences



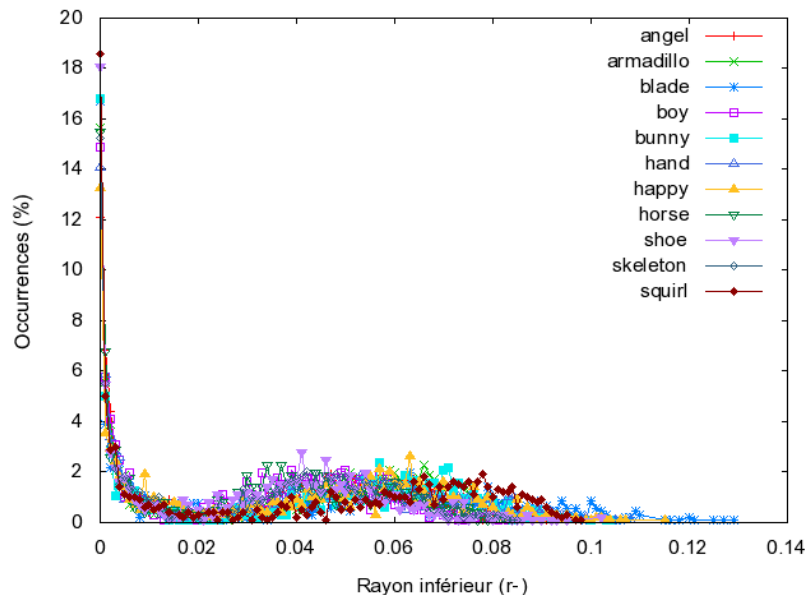
- Normalisation
 - ▣ Boite englobante
- Courbes similaires
- **Déplacement infime**
 - ▣ 25-35% des sommets
 - ▣ $\varepsilon < 10^{-3}$

Sensibilité des ACPME - Expériences



- Normalisation
 - ▣ Boite englobante
- Déplacement infime
 - ▣ 18-25% des sommets
 - ▣ $\varepsilon < 10^{-3}$
- Courbes différentes
 - ▣ Pics à des valeurs \neq

Sensibilité des ACPME - Expériences



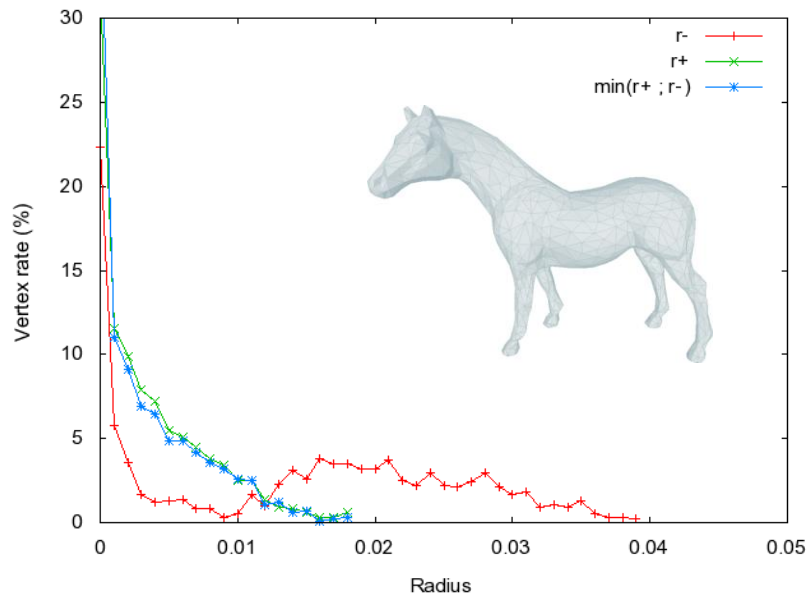
□ Normalisation

□ Distance moyenne

□ Courbes similaires

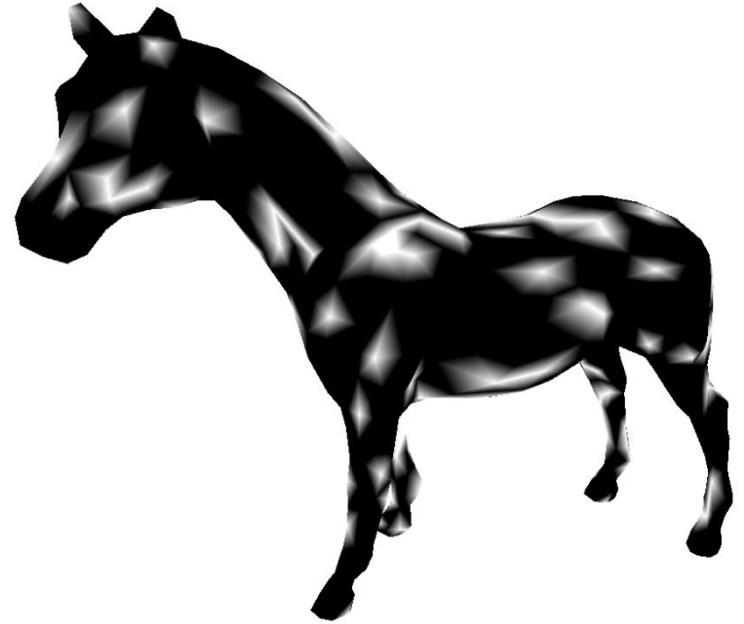
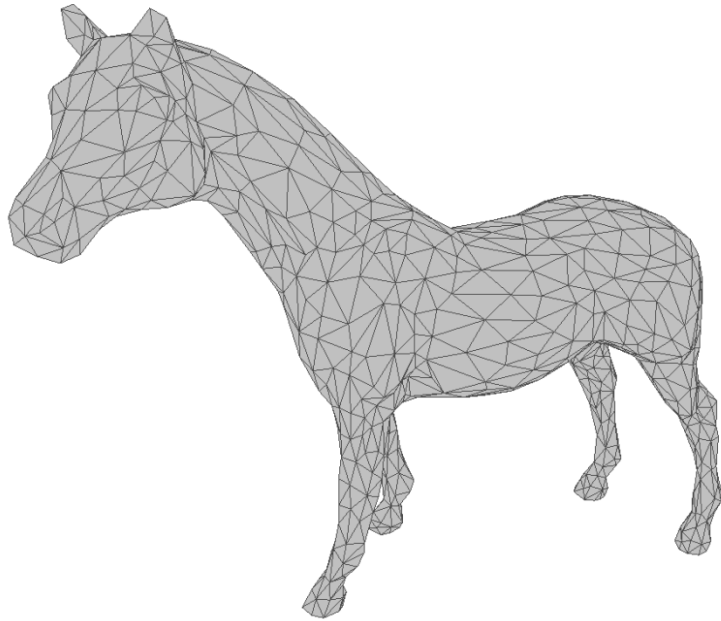
⇒ **Corrélation avec la distance moyenne ?**

Sensibilité des ACPME - Expériences



- Comparatif sur Horse
 - ▣ Normalisation
 - boite englobante
 - ▣ Calculs pour chaque point
 - r_i^+
 - r_i^-
 - Condition la plus forte : $\min(r_i^+, r_i^-)$
- **Mobilité très faible**
- **Critères déterminants :**
 - ▣ Distance d'éloignement (r^+)
 - ▣ $\min(r_i^+, r_i^-)$

Sensibilité des ACPME - Visualisation

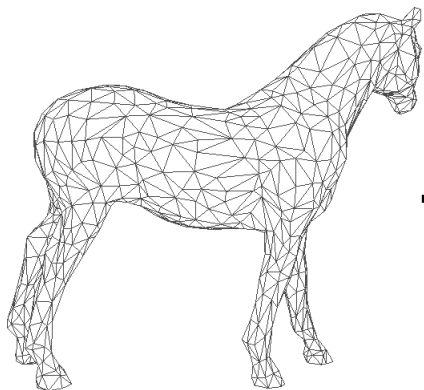


Plan

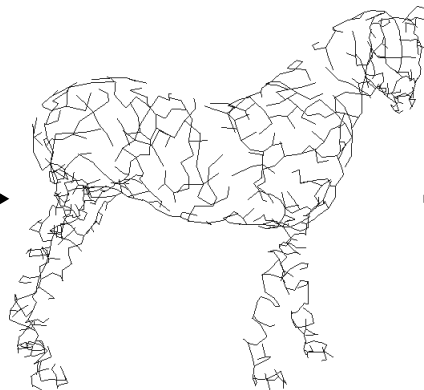
1. Motivations
2. Sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. **Amélioration de la synchronisation avec les ACPME**
5. Conclusion & perspectives

Synchronisation avec les ACPME

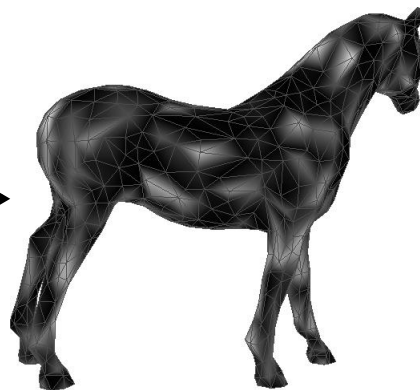
Maillage
(M)



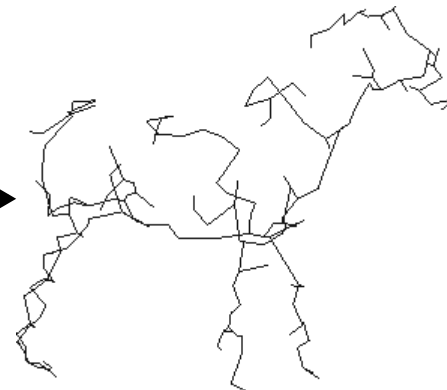
ACPME
(T)



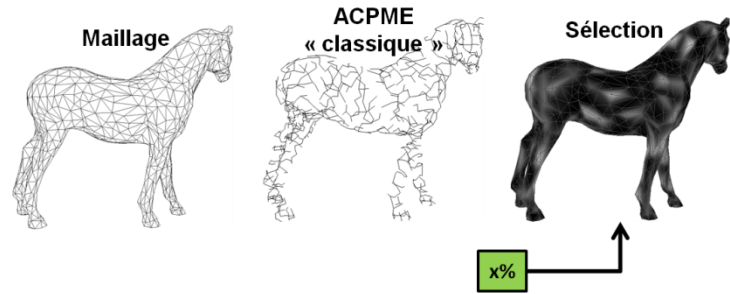
Sommets
« robustes »
($V_{x\%}$)



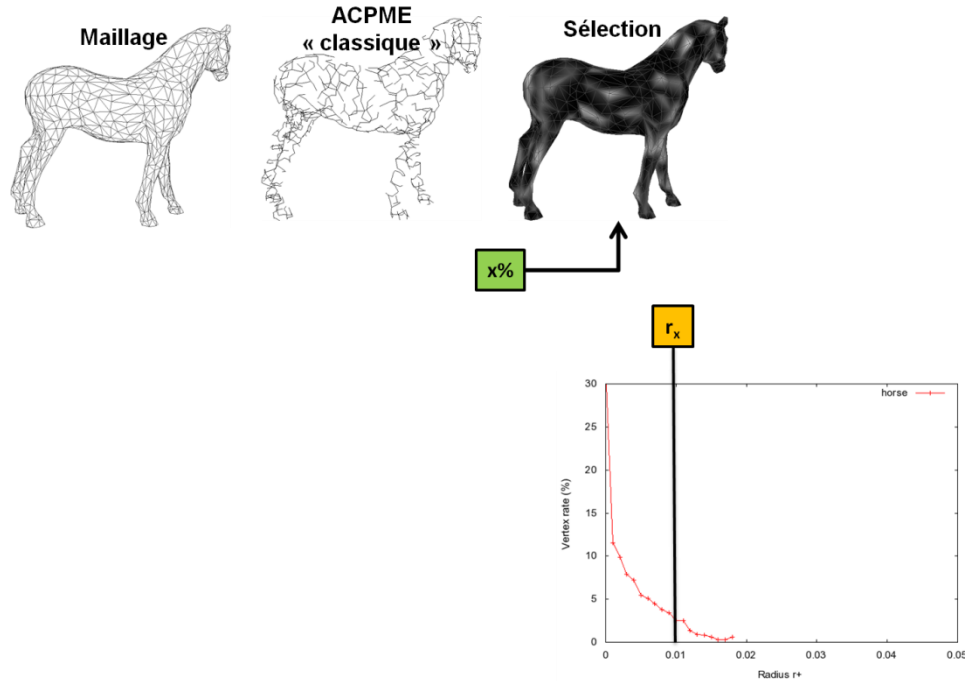
ACPME
« robuste »
($T_{x\%}$)



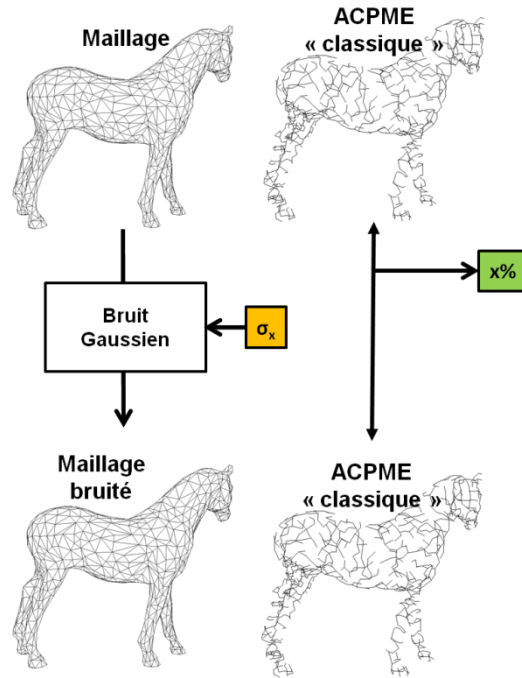
Mobilité & robustesse au bruit



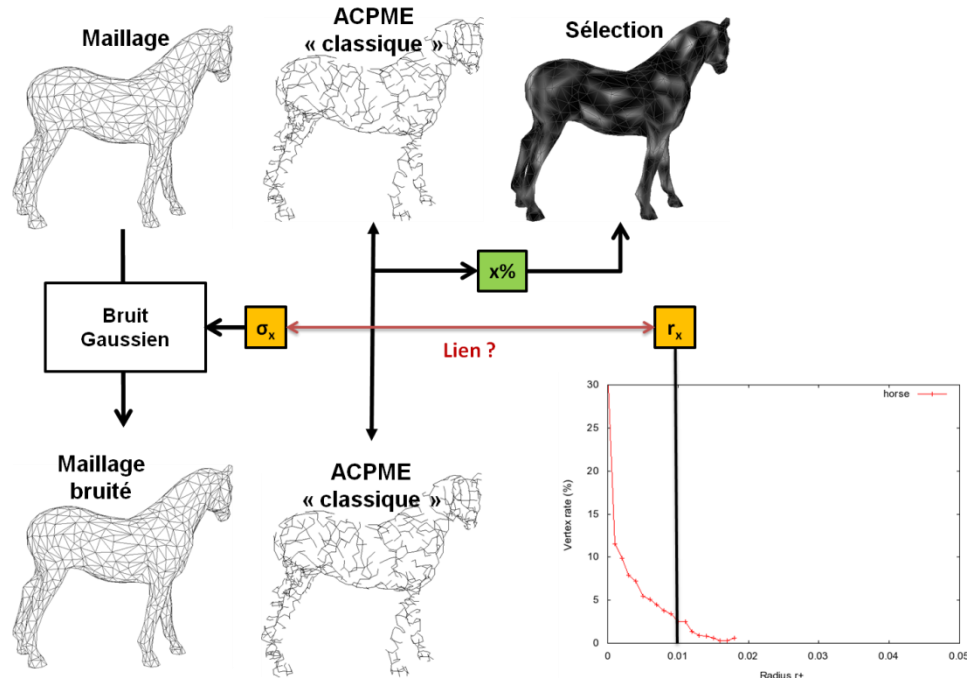
Mobilité & robustesse au bruit



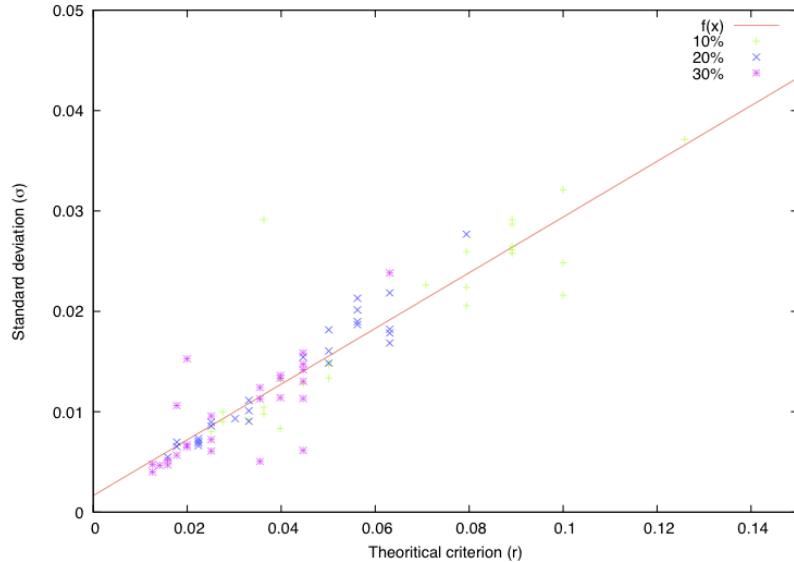
Mobilité & robustesse au bruit



Mobilité & robustesse au bruit



Mobilité & robustesse au bruit

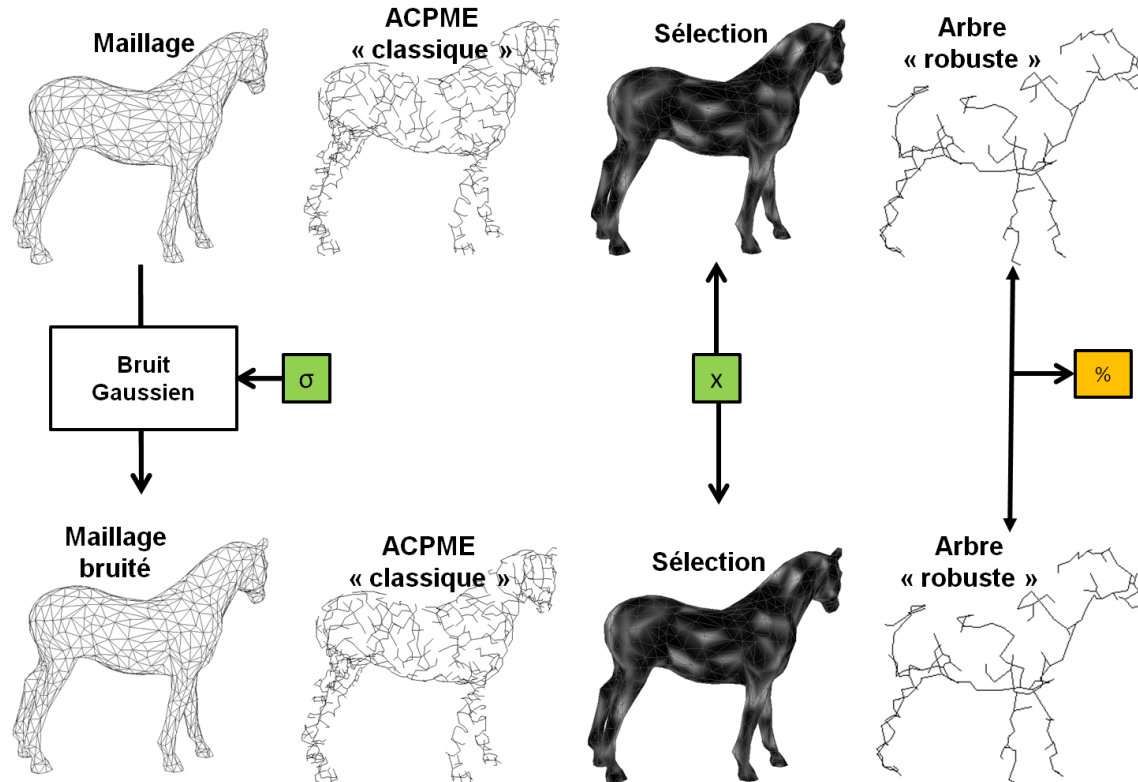


- **Corrélation** entre sommets « mobiles » et sommets « robustes » au bruit
- **∇ normalisation**
- **∇ $x < 30\%$**

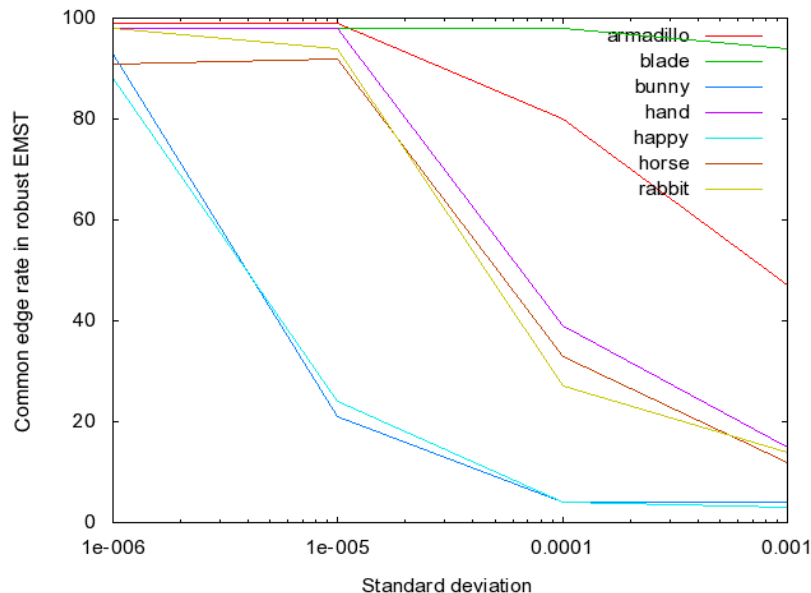
Synchronisation avec les ACPME

- 10 maillages
 - ▣ 1000 points
 - ▣ Normalisation
 - Distance moyenne entre 2 points
 - ▣ Bruitage gaussien additif de loi normale $N(\sigma,0)$
- Calcul
 - ▣ Comparaison des ACPME « robustes »

Synchronisation avec les ACPME



Synchronisation avec les ACPME



- 20% des sommets « robustes » sélectionnés

■ Résistant jusqu'à $\sigma = 10^{-5}$

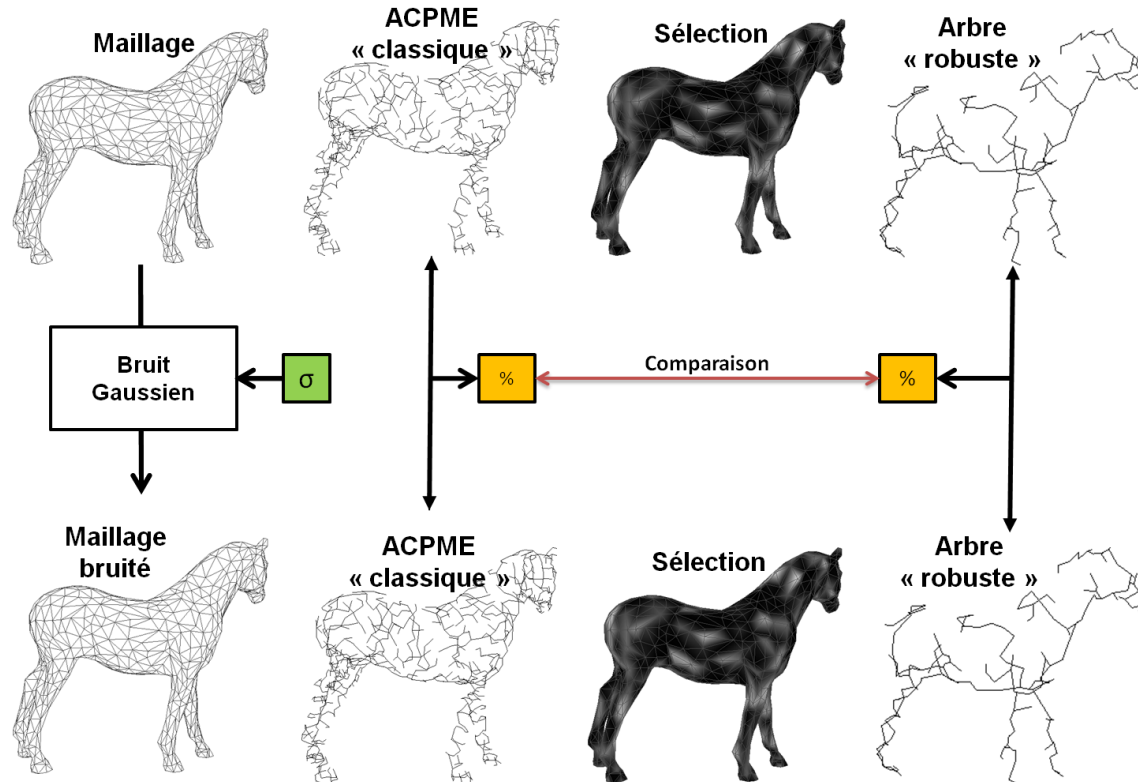
■ Effondrement à $\sigma = 10^{-4}$

- Normalisation

■ Distance moyenne entre 2 points

- Comportement identique

Synchronisation avec les ACPME



Synchronisation avec les ACPME

ACPME « classique »

- ACPME « classique »
 - Résistant jusqu'à $\sigma = 10^{-7}$
 - Effondrement à $\sigma = 10^{-6}$

Lossless 3D steganography based on MST and connectivity modification [Amat et al., 2011]

ACPME « robuste »

- 20% des sommets « robustes » sélectionnés
 - Résistant jusqu'à $\sigma = 10^{-5}$
 - Effondrement à $\sigma = 10^{-4}$

⇒ Amélioration de la robustesse

Plan

1. Motivations
2. Sensibilité des Arbres Couvrants de Poids Minimum
3. Estimation de la mobilité des points dans les ACPME
4. Amélioration de la synchronisation avec les ACPME
5. Conclusion & perspectives

Conclusion

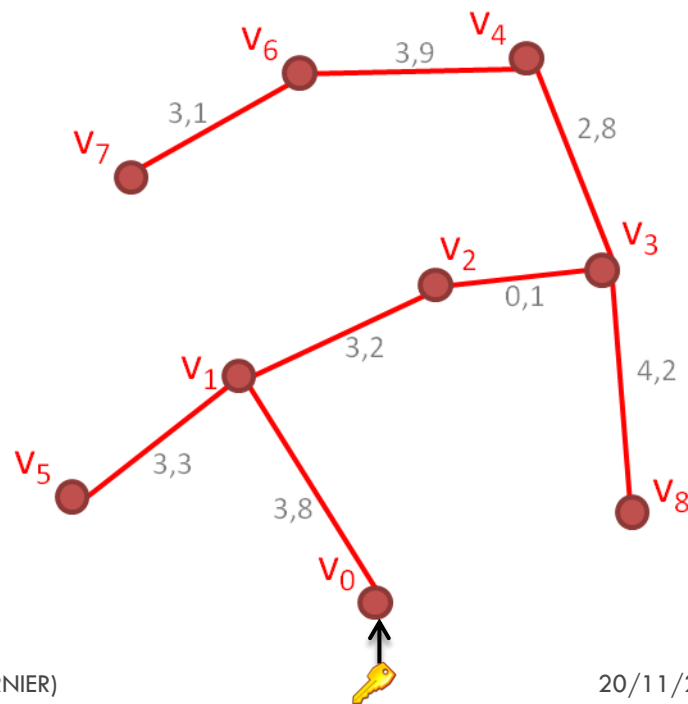
- Présentation des algorithmes d'insertion de données cachées sous l'angle de l'algorithme de synchronisation
- Analyse du problème de sensibilité des ACPME
- Estimation de la mobilité des sommets sans modifier l'ACPME
- Amélioration du schéma de synchronisation par les ACPME

- Complexité algorithmique du calcul des ACPME
 - ▣ Rechercher le sommet le plus proche
 - Amélioration par des algorithmes de partition de l'espace
 - KD-Tree *J. L. Bentley, "Multidimensional binary search trees used for associative searching" -1975*
 - ▣ Approximation du problème
 - Calculs d'ACPME locaux

- Sensibilité des ACPME
 - Généralisation à un déplacement 3D
 - Calculer un ellipsoïde du déplacement possible
 - Visualiser le déplacement possible
 - Les sommets « robustes » sont les plus mobiles
 - Affiner cette corrélation avec le déplacement 3D

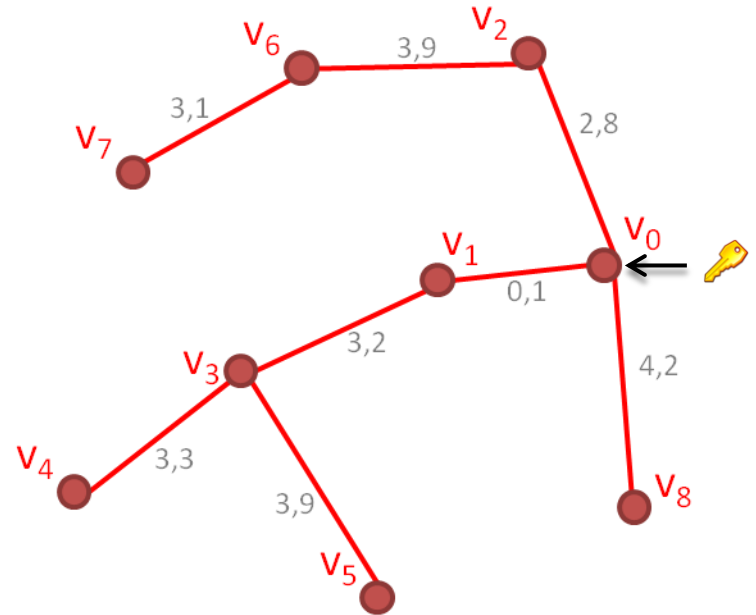
Perspectives

- Sensibilité des ACPME
 - ▣ v_k dépend de v_0 (l'ordre des sommets dépend du point de départ)
 - ▣ Calcul de la mobilité du point sans la dépendance du point de départ



Perspectives

- Sensibilité des ACPME
 - ▣ v_k dépend de v_0 (l'ordre des sommets dépend du point de départ)
 - ▣ Calcul de la mobilité du point sans la dépendance du point de départ



- ACPME fragile
 - ⇒ Tatouage pour contrôle d'intégrité
 - ⇒ Outil pour l'ordre de parcours des données

- Poursuivre sur d'autres structures

- RNG *P.K. Agarwal et J. Matussek, "Relative neighborhood graphs in three dimensions" - 1992*

- LMST *J. Eisner, "State-of-the-art algorithms for minimum spanning trees-a tutorial discussion" - 1997*

- ...

□ Poursuivre sur d'autres structures

- RNG *P.K. Agarwal et J. Matussek, "Relative neighborhood graphs in three dimensions" - 1992*
- LMST *J. Eisner, "State-of-the-art algorithms for minimum spanning trees-a tutorial discussion" - 1997*
- Chemin hamiltonien *V. Itier et al., "Joint synchronization and high capacity data hiding for 3D meshes" - 2015*

MERCI DE VOTRE ATTENTION



Laboratoire
Informatique
Robotique
Microélectronique
Montpellier



20/11/2014

Synchronisation pour l'insertion de données dans les maillages 3D