

STABILITÉ DES EMST

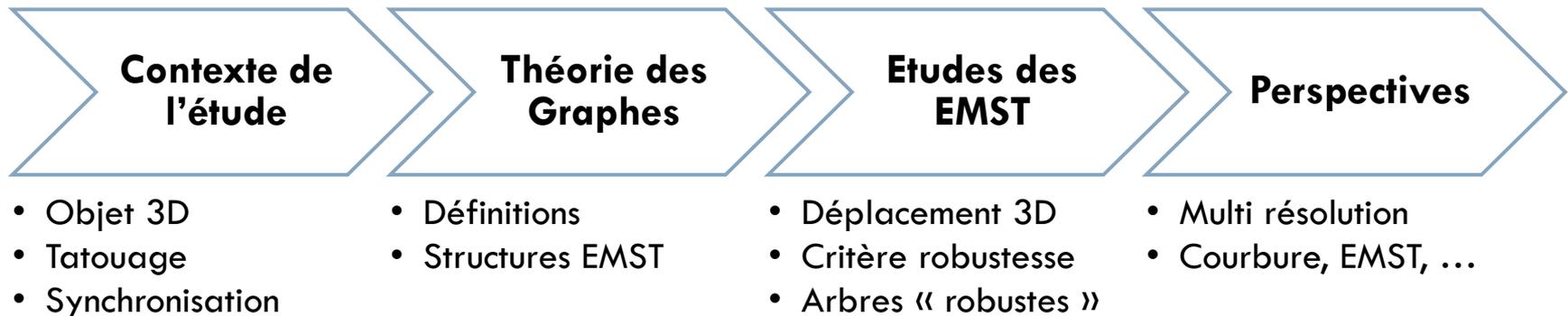
TATOUAGE & SYNCHRONISATION 3D – THÉORIE DES GRAPHES

N. Tournier, W. Puech, G. Subsol, J-P. Pedeboy

UM2, LIRMM, CNRS - STRATEGIES S.A.

Plan de la présentation

2



Contexte de l'étude

- Objet 3D
- Tatouage
- Synchronisation

Objet 3D

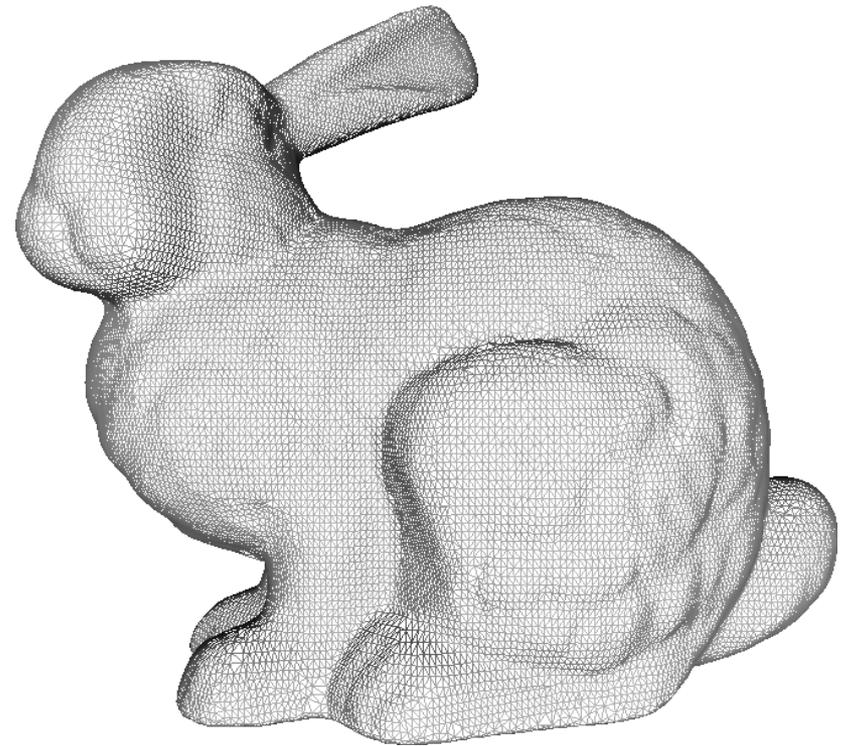
4

- Objet 3D :
 - ▣ Ensemble de points 3D.

- Différentes modélisations
 - ▣ Non-structurées :
 - Nuages de points ;
 - Soupe de polygones ...

 - ▣ Surfaceutiques :
 - Maillages surfaceutiques ;
 - NURBS ...

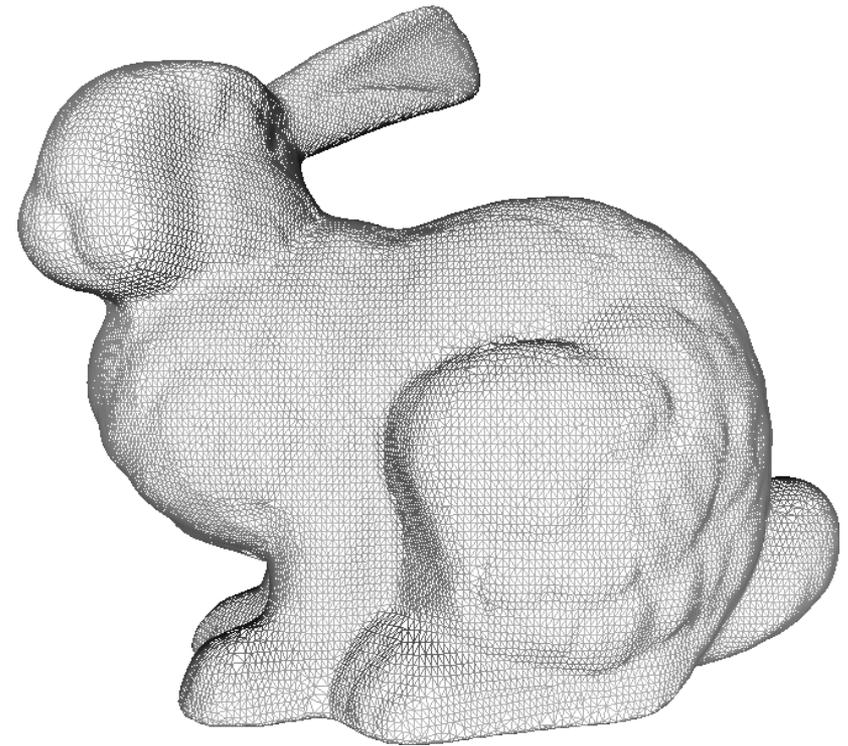
 - ▣ Volumiques :
 - Voxels ...



Objet 3D

5

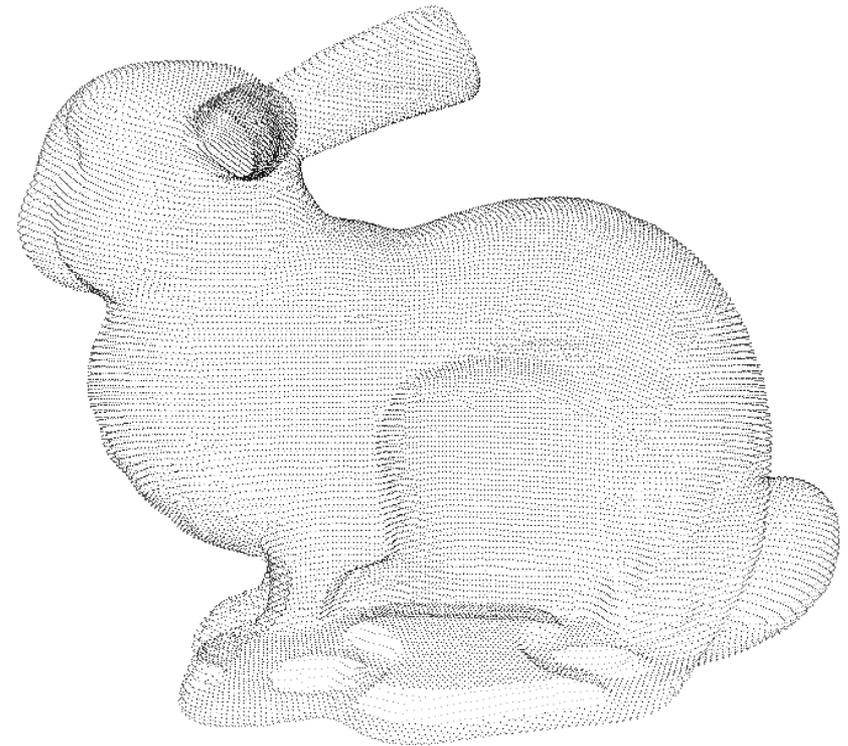
- **Modélisation surfacique**
 - ▣ **Maillages polygonaux**
 - Ensemble fini de sommets
 - Ensemble fini de facettes.



Objet 3D

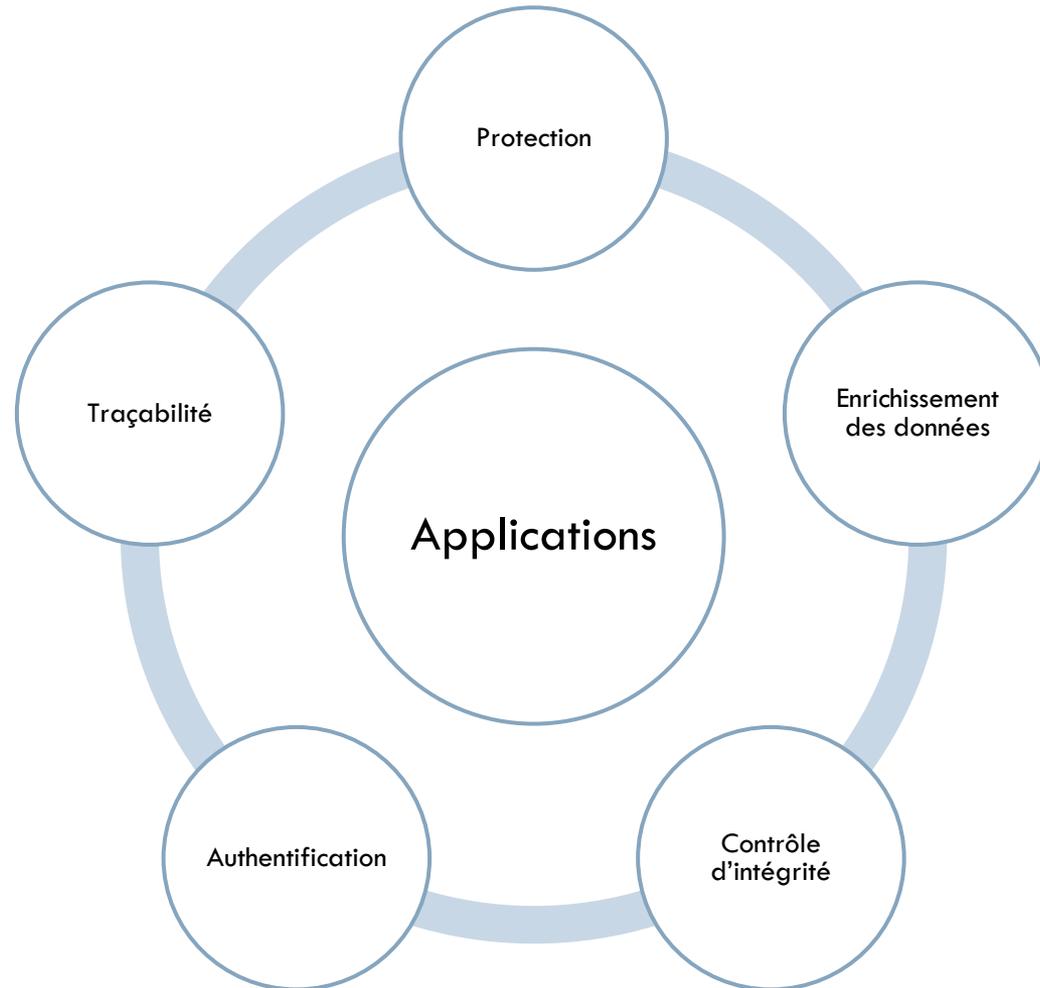
6

- **Modèle non-structuré**
 - ▣ **Nuage de points**
 - Ensemble de sommets ;
 - Aucune information de connectivité.



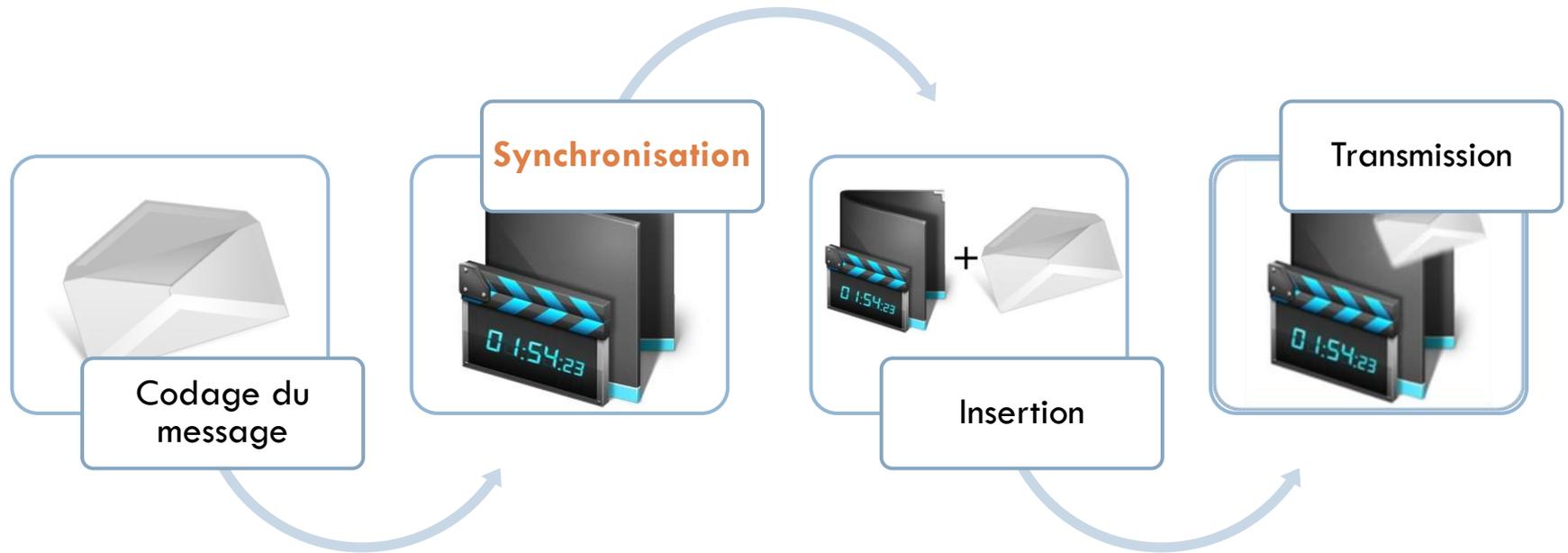
Tatouage

7



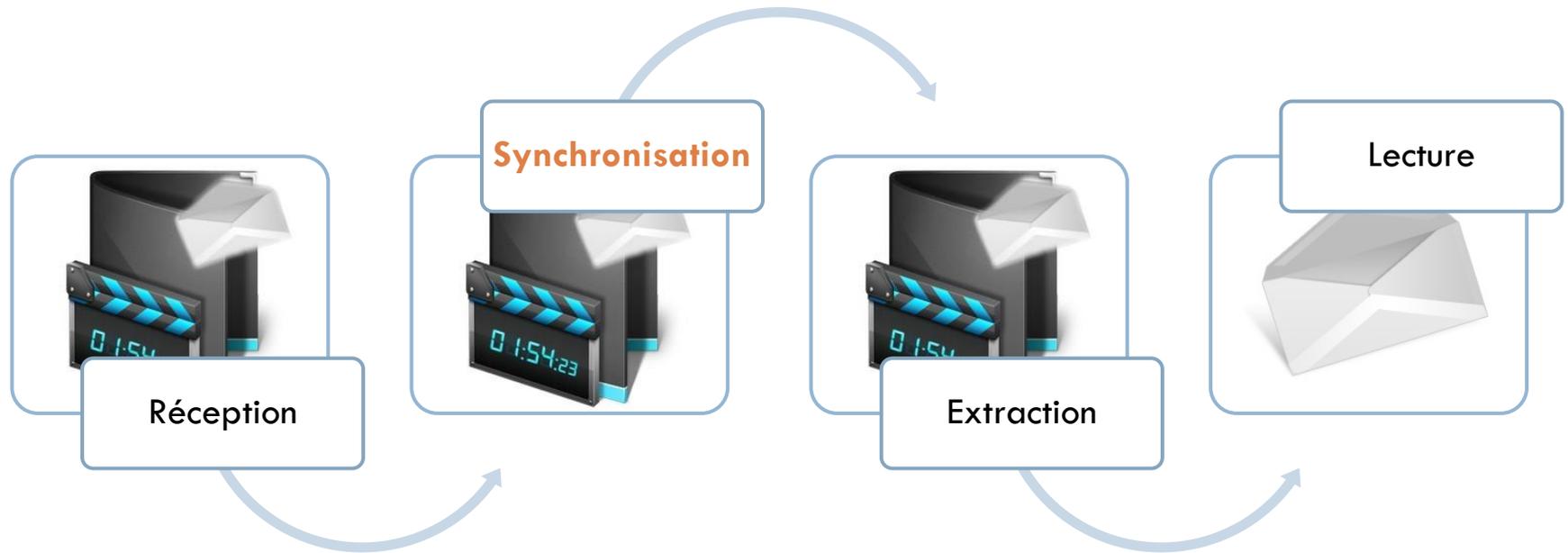
Tatouage

8



Tatouage

9



Synchronisation

10

- Où ?
 - ▣ ... je **peux** insérer des données ?
 - ▣ Information sur un **sous-espace d'insertion**.

- Comment ?
 - ▣ ... **restituer** l'information insérée ?
 - ▣ Information sur une **relation d'ordre**, un **parcours unique**.

Synchronisation (1D)

11

- Espace d'insertion
 - ▣ Temporel ;
 - ▣ Harmoniques (Fourier...) ;
 - ▣ Ondelettes (Haar...).

- Parcours
 - ▣ Horloge périodique ;
 - ▣ Horloge aléatoire ;
 - ▣ Fréquences

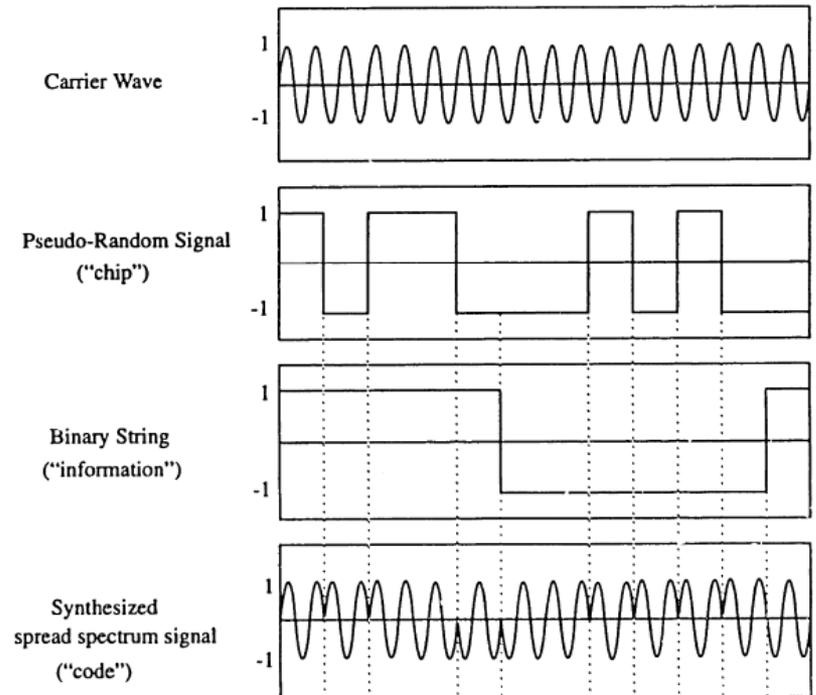


Fig. 1 : Tatouage audio, synchronisation par une horloge à cadence pseudo-aléatoire [Vanucci 92]

Synchronisation (2D)

12

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (LSB, LLSB) ;
 - ▣ Fréquentiel (DCT) ;
 - ▣ Ondelettes (DWT).

- Parcours
 - ▣ Lignes
 - ▣ Colonnes
 - ▣ Blocs
 - ▣ Zigzag

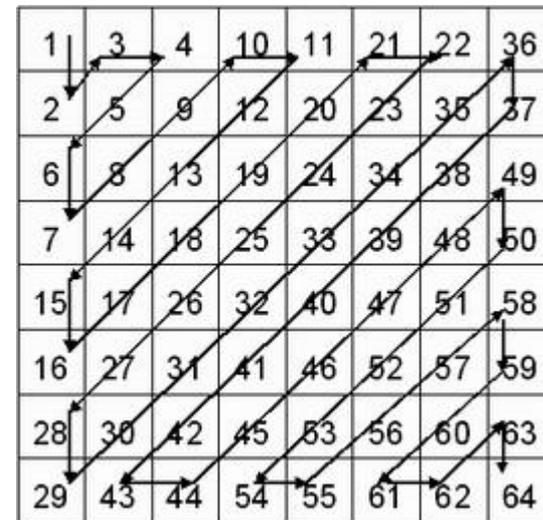


Fig. 2 : Parcours zigzag d'un bloc DCT 8x8, des basses fréquences vers les hautes fréquences.

Synchronisation (3D)

13

- Espace d'insertion
- Parcours unique ?

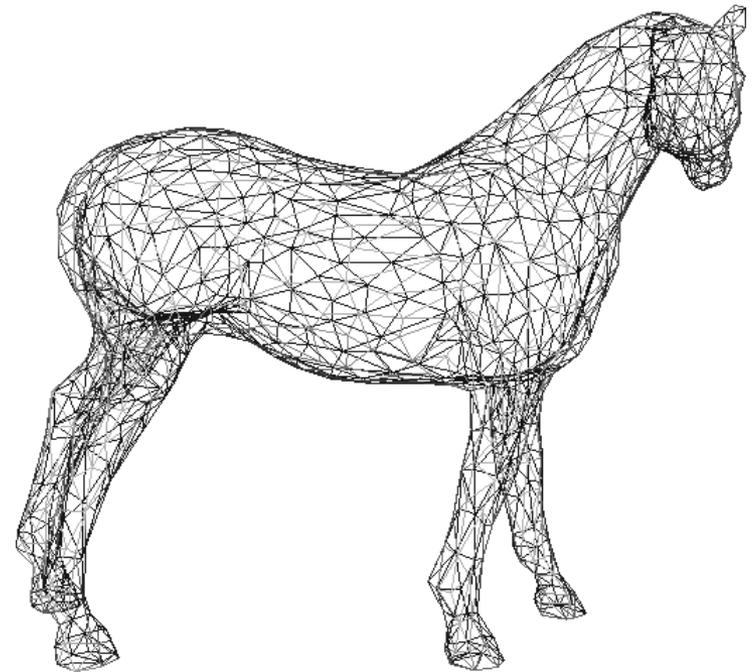


Fig. 4 : Maillage 3D.

Synchronisation (3D)

14

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande

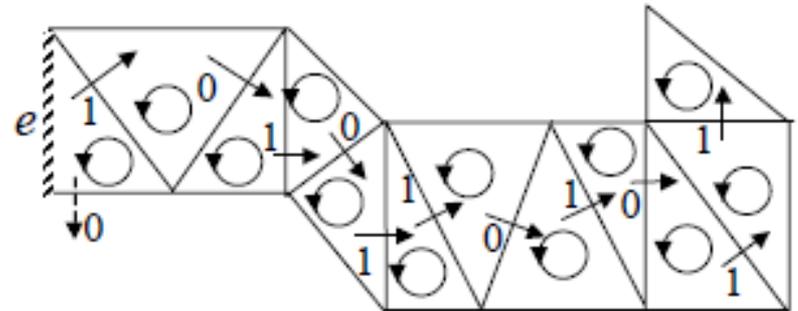


Fig. 5 : Ajout d'une bande de triangles en fonction du message à insérer et de la topologie de l'objet [Ohbuchi]

Synchronisation (3D)

15

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande

- Insertion
 - ▣ Ajout de triangle

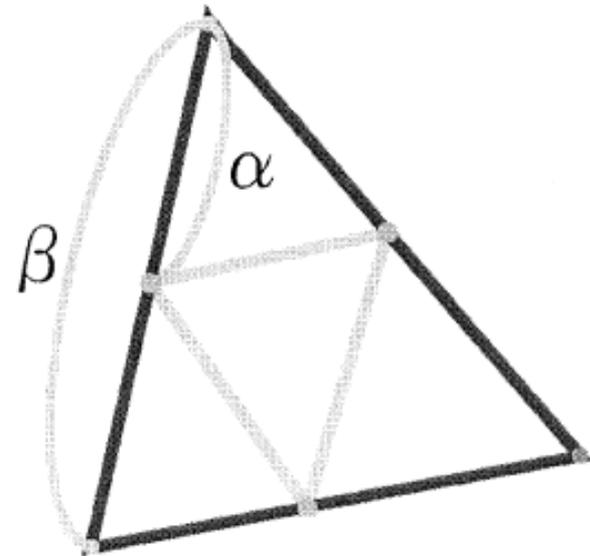


Fig. 7 : Insertion par ajout de triangle à l'intérieur de triangle originaux [Mao *et al.* 01]. Le rapport des longueurs code un (ou plusieurs) bit(s).

Synchronisation (3D)

16

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande

- Insertion
 - ▣ Déplacement de points

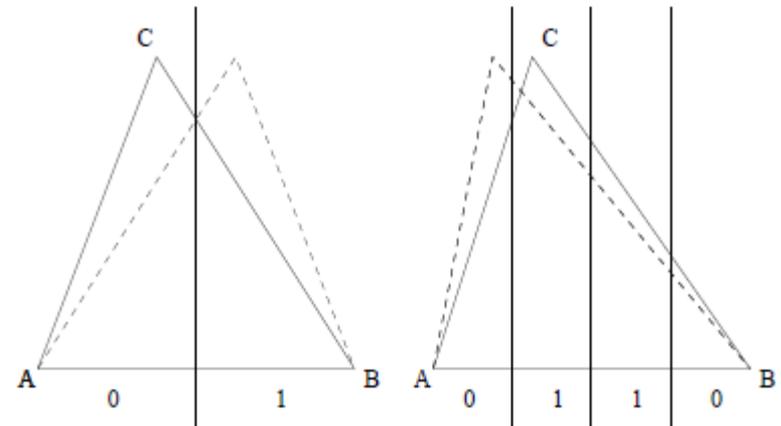


Fig. 8 : Insertion par déplacement de points [Cayre et al. 01]. La projection du 3^e sommet sur l'arête de base code l'information.

Synchronisation (3D)

17

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande
 - ▣ Structure de voisinage

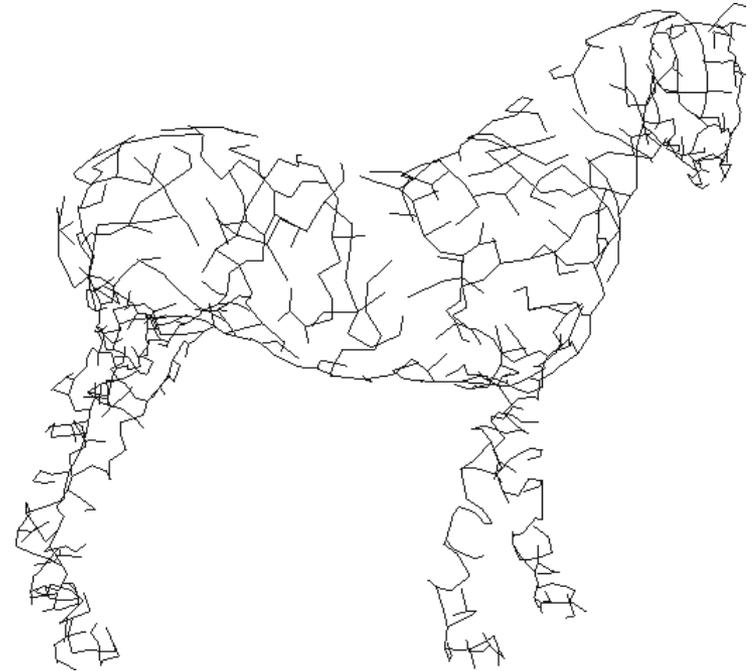


Fig. 9 : ESMT d'un maillage 3D.
Synchronisation par EMST [Amat *et al.* 08],
Etude de la stabilité des EMST [Tournier *et al.* 09]

Synchronisation (3D)

18

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande
 - ▣ Structure de voisinage

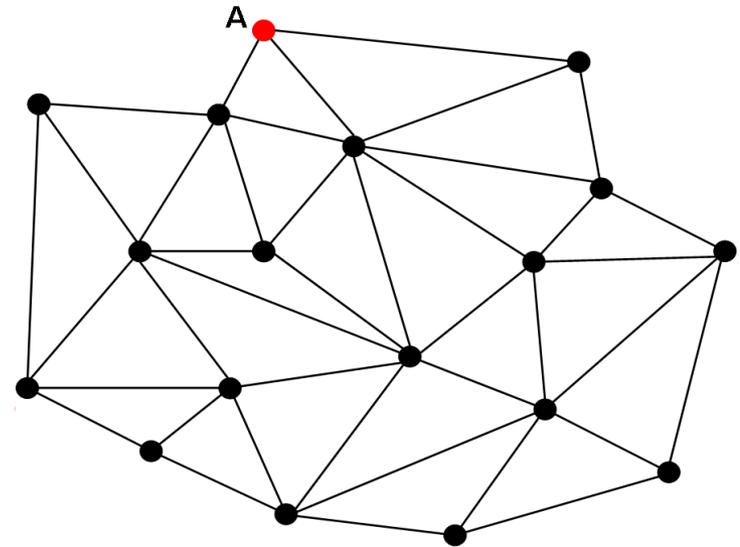


Fig. 10 : Un graphe ...

Synchronisation (3D)

19

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande
 - ▣ Structure de voisinage

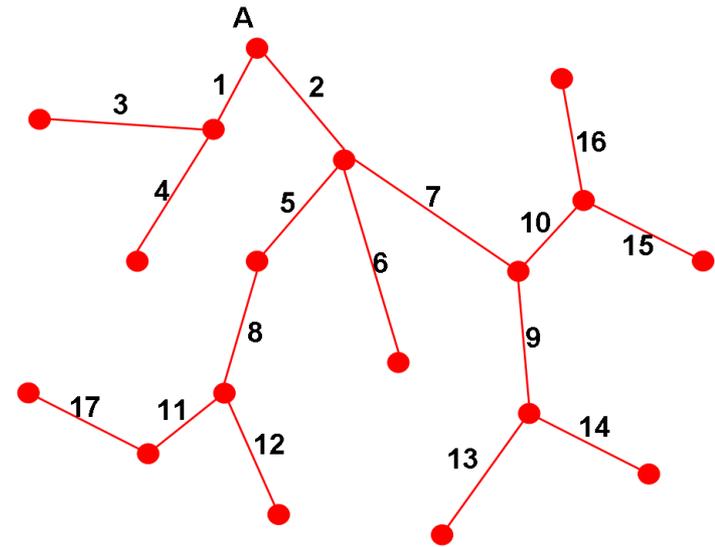


Fig. 11 : ... son EMST

Synchronisation (3D)

20

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande
 - ▣ Structure de voisinage

- Insertion

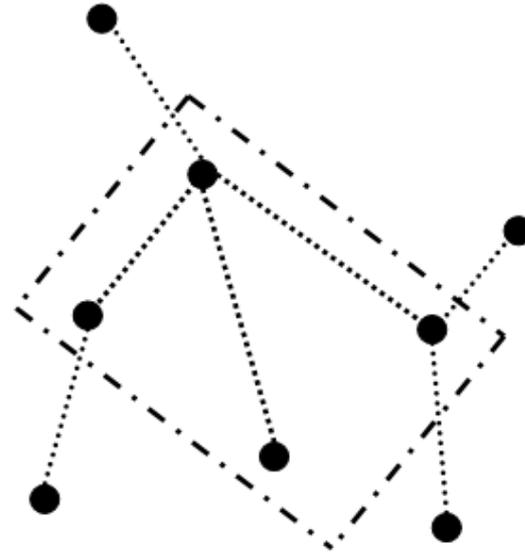


Fig. 12 : Quadruples

Synchronisation (3D)

21

- Espace d'insertion
 - ▣ Spatial (Sommet, Triangle)
 - ▣ Fréquentiel (H. Sphérique)
 - ▣ Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - ▣ Bande
 - ▣ Structure de voisinage

- Insertion

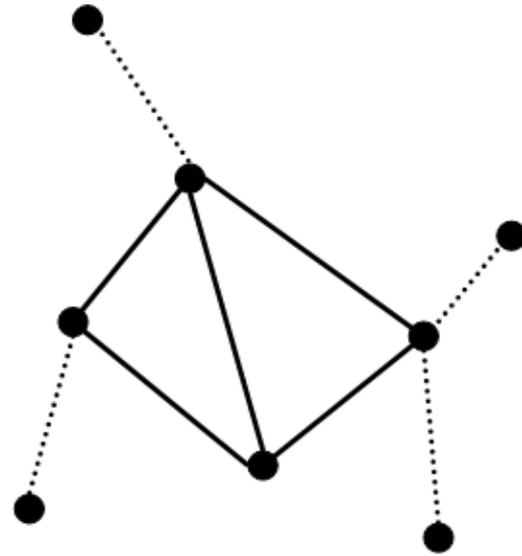


Fig. 13 : Insertion « 0 »

Synchronisation (3D)

22

- Espace d'insertion
 - Spatial (Sommet, Triangle)
 - Fréquentiel (H. Sphérique)
 - Ondelettes (1G, 2G)

- Parcours unique
 - Bande
 - Structure de voisinage

- Insertion

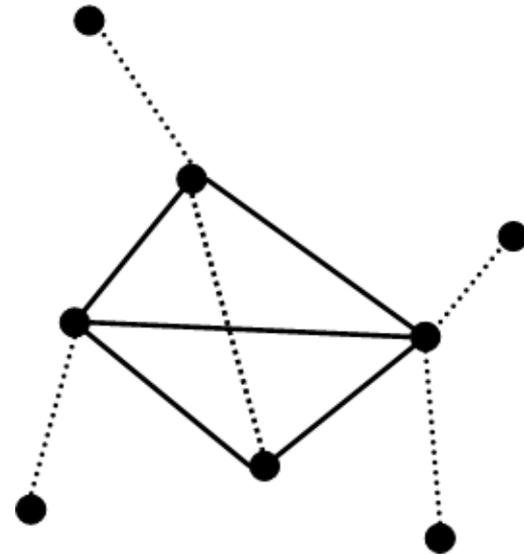


Fig. 14 : Insertion « 1 »

Théorie des graphes

- Définitions
- Structures (EMST)

Définitions

24

□ Graphe

▣ ... valué non-orienté

- Ensemble fini de sommets
- Ensemble fini d'arêtes
- Ensemble de valeurs liées aux arêtes (poids)

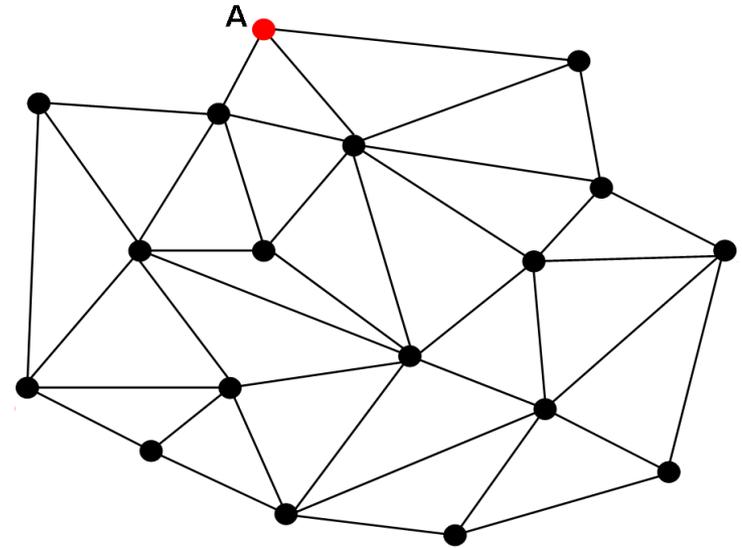


Fig. 15 : Un graphe ...

Structure EMST

25

□ Euclidean Minimum Spanning Tree (EMST)

□ MST

- Arbre
- Recouvre tous les sommets
- Minimise la fonction de poids

□ EMST

- Espace métrique associé

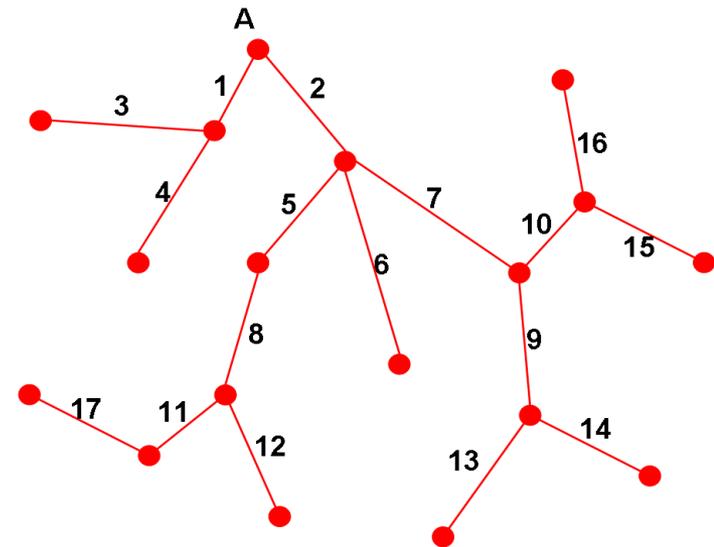


Fig. 16 : ... son EMST

Structures (EMST)

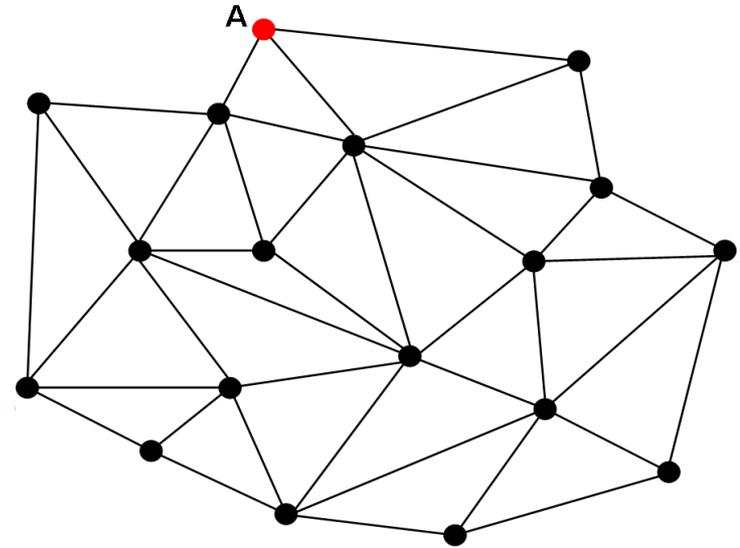
26

□ Notations

- ❖ V_i : ensemble des sommets ;
- ❖ E_i : ensemble des arêtes ;
- ❖ v_i : sommet sélectionné ;
- ❖ p_i : père de v_i ;

□ Initialisation

- ❖ $V_1 = \{A\}$;
- ❖ $E_1 = \emptyset$;

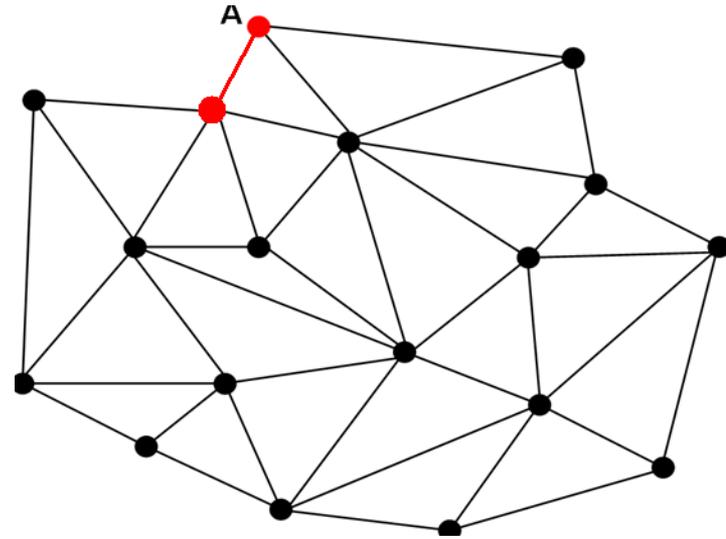


Structures (EMST)

27

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche

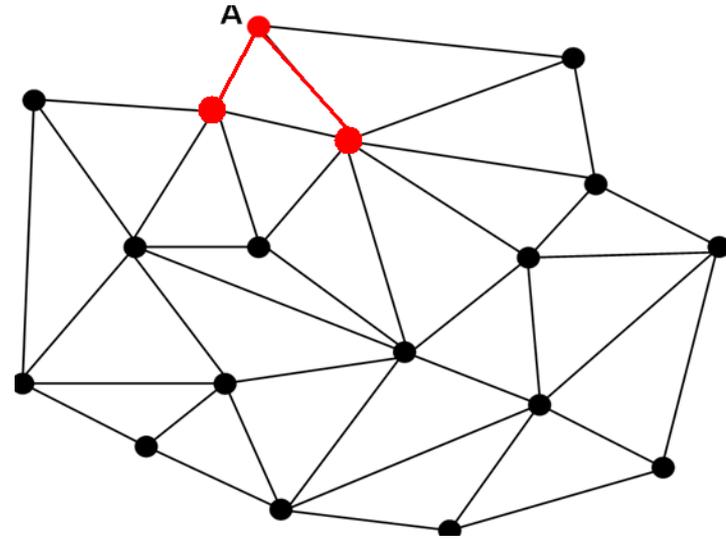


Structures (EMST)

28

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche

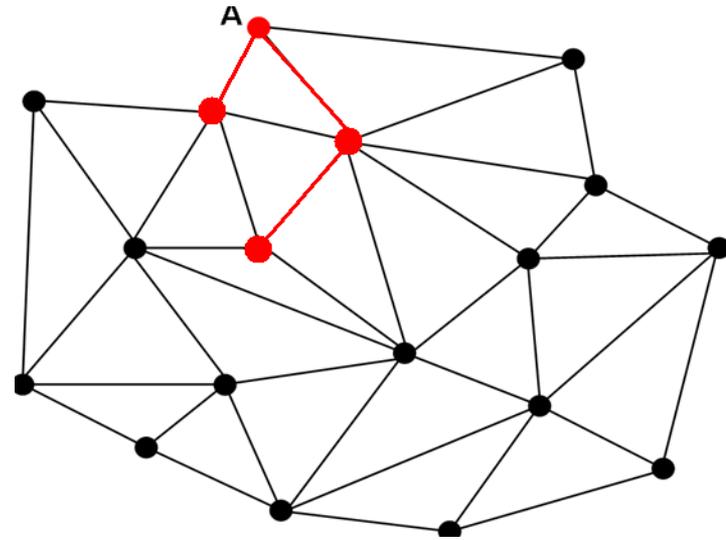


Structures (EMST)

29

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche

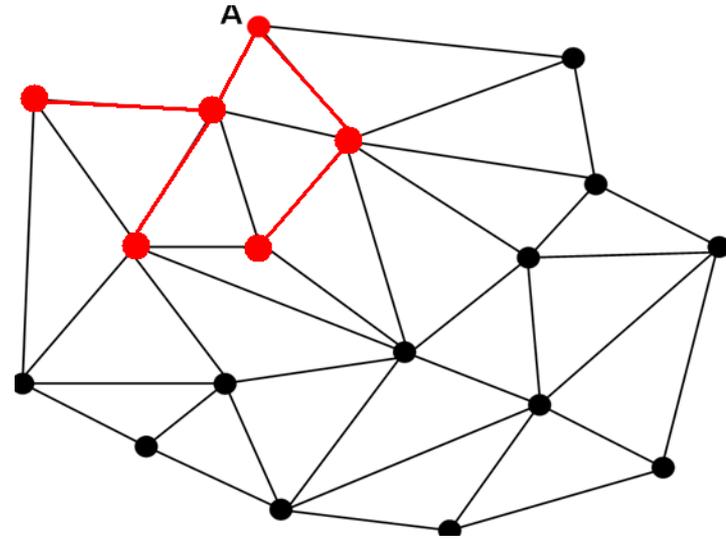


Structures (EMST)

30

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche

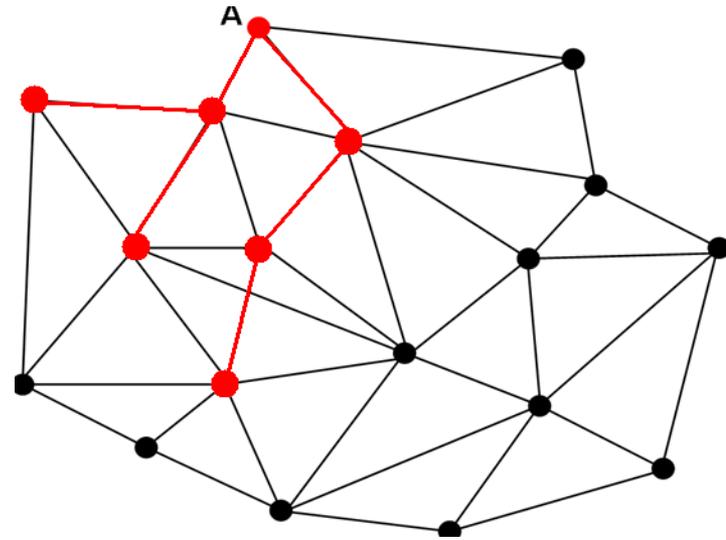


Structures (EMST)

31

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche

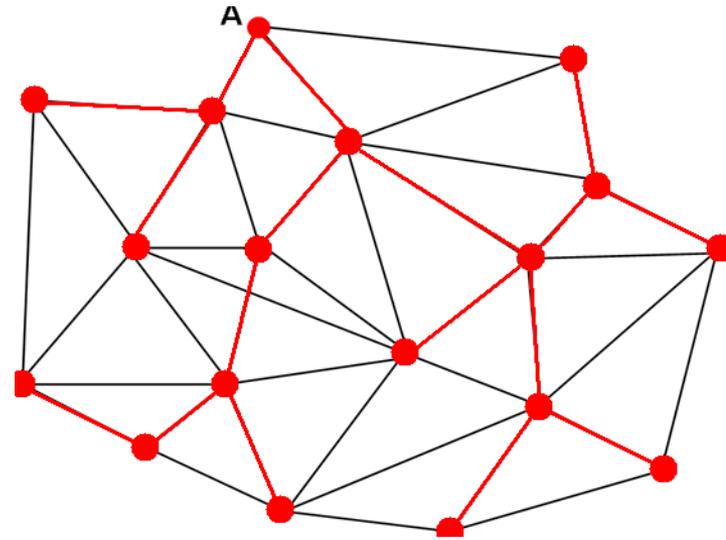


Structures (EMST)

32

□ Algorithme de Prim

1. Choix d'une racine
2. Recherche du sommet le plus proche



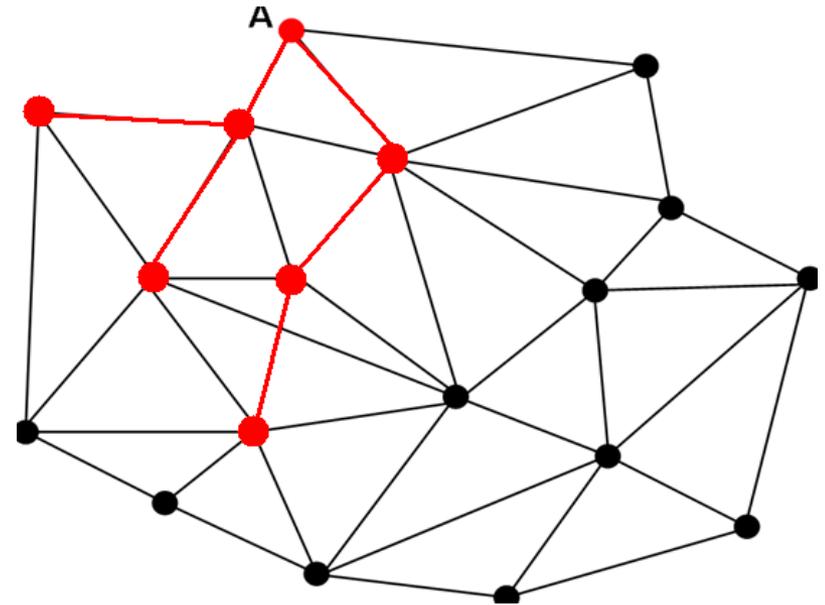
Etude de la stabilité des EMST

- Déplacement 3D
- Critère de robustesse
- « Arbres robustes »

Stabilité des EMST

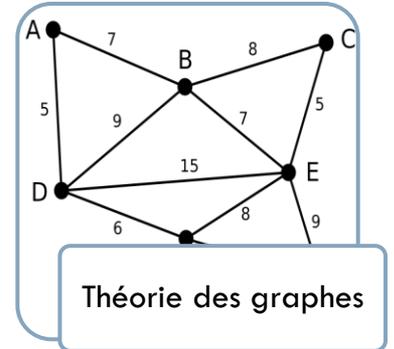
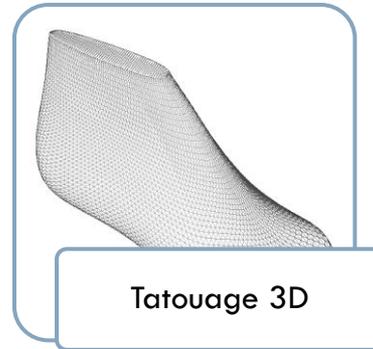
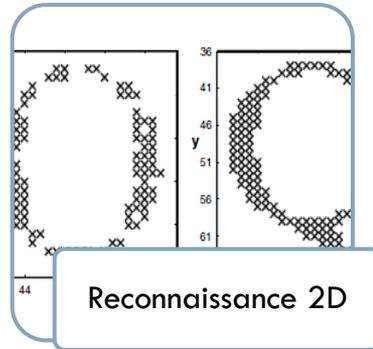
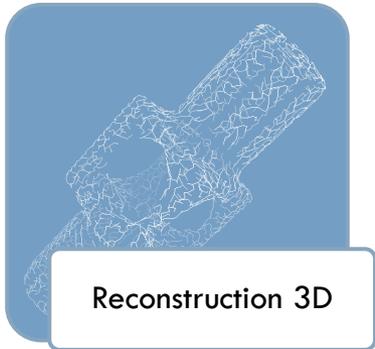
34

- Problème :
 - ▣ Comment déplacer chaque point sans changer la construction de l'EMST ?



Stabilité des EMST

35



Stabilité des EMST

36

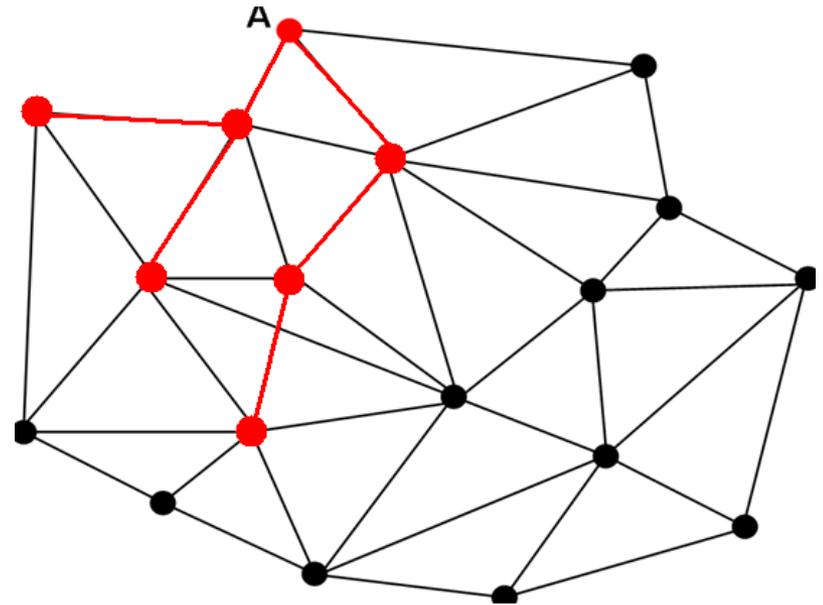
- Objectif – Utiliser les EMST pour la synchronisation
 1. Estimation du déplacement des points ;
 2. Recherche d'un critère de sélection de points ;
 3. Synchronisation des points « robustes »

Déplacement 3D

37

- Hypothèses :
 - ▣ Déplacement que d'un point v_i (on note v^* le perturbé) ;
 - ▣ Le déplacement ne change pas les connexions pour les étapes précédentes ($< i$) ;
 - ▣ Aucune préoccupation des conséquences du déplacement pour les étapes suivantes ($> i$)

- Objectif :
 - ▣ Conserver toutes les connexions jusqu'à l'étape i .



Déplacement 3D

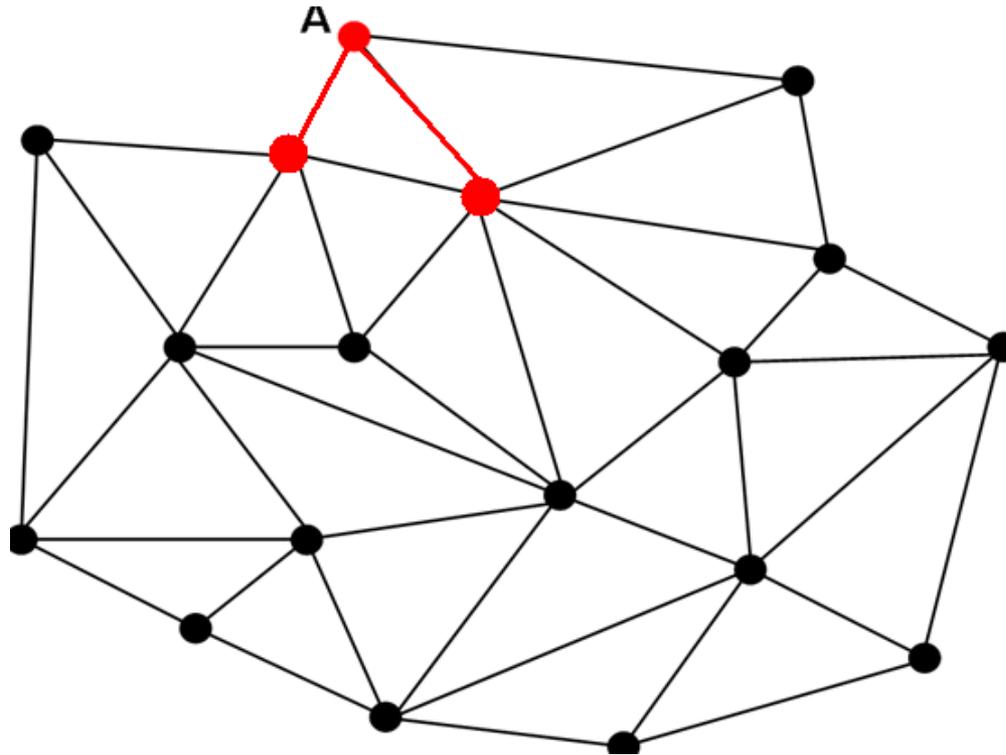
38

- Condition n°1 : « Conservation du père »
 - Solution : Cellule de Voronoï 3D
 - v^* est dans la cellule associée à p_i (calculé sur V_{i-1})

- Piste de démonstration
 - Par définition de la Cellule de Voronoï
 - Def. – Cellule de Voronoï associé à un point P
 - Ensemble des points qui sont plus proches de P que de tout autre point de l'ensemble

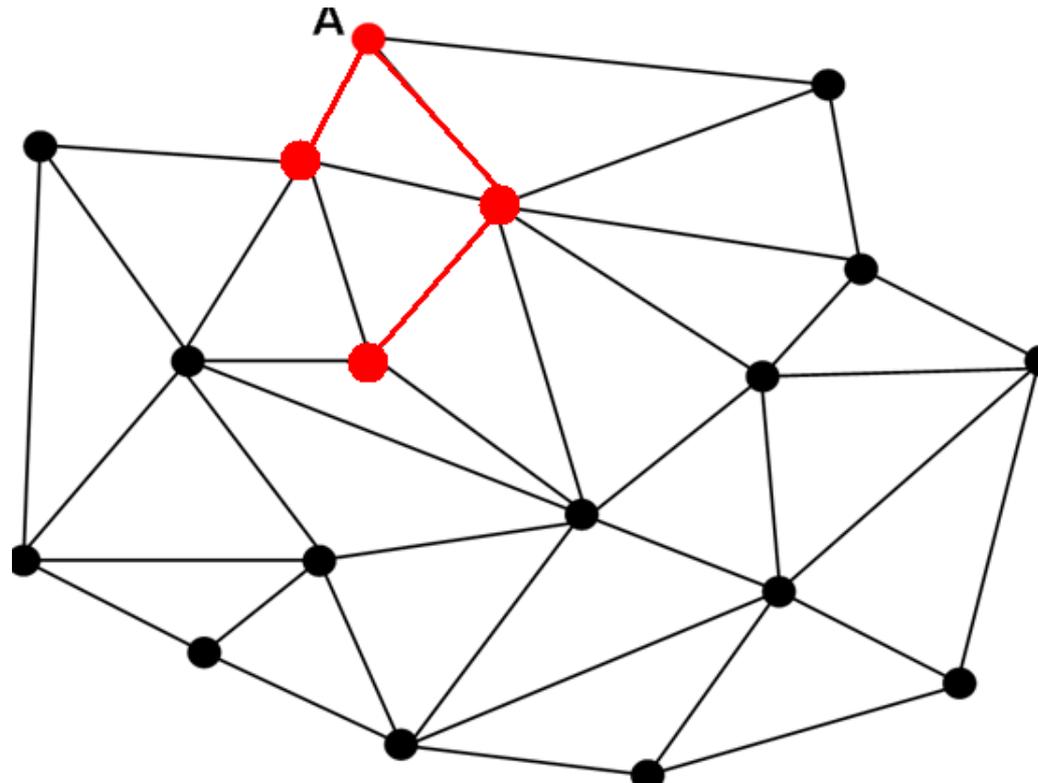
Déplacement 3D

39



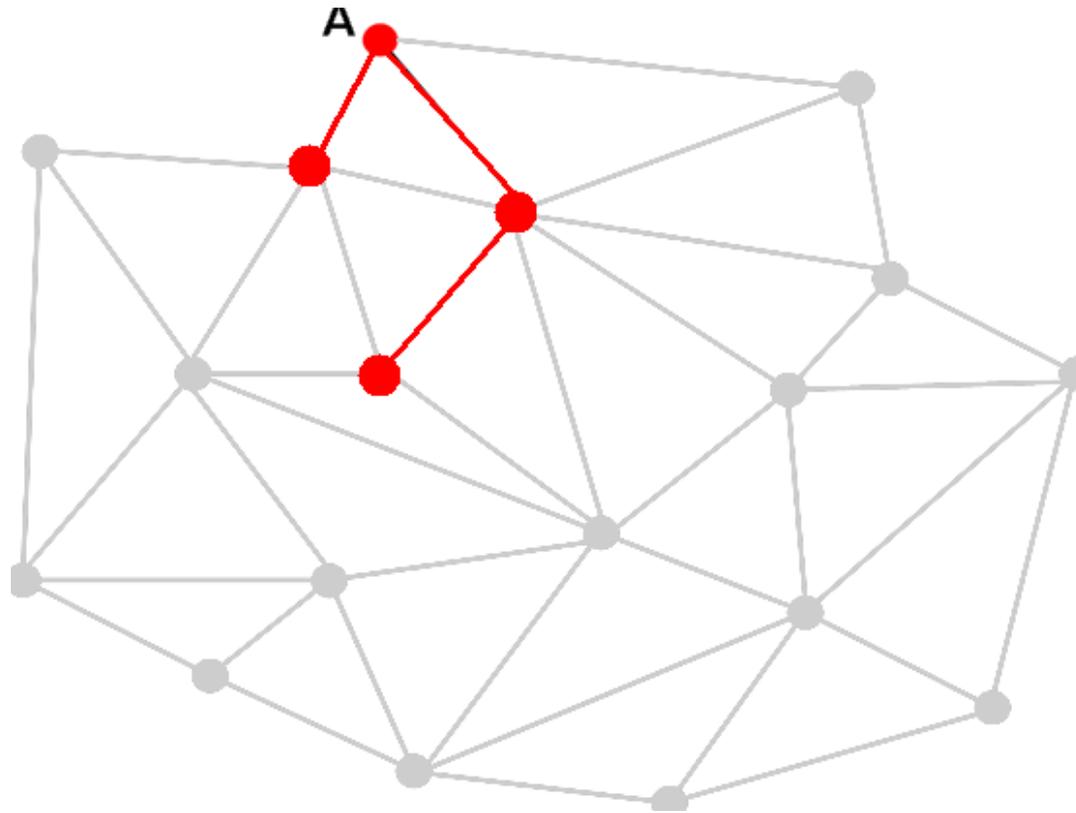
Déplacement 3D

40



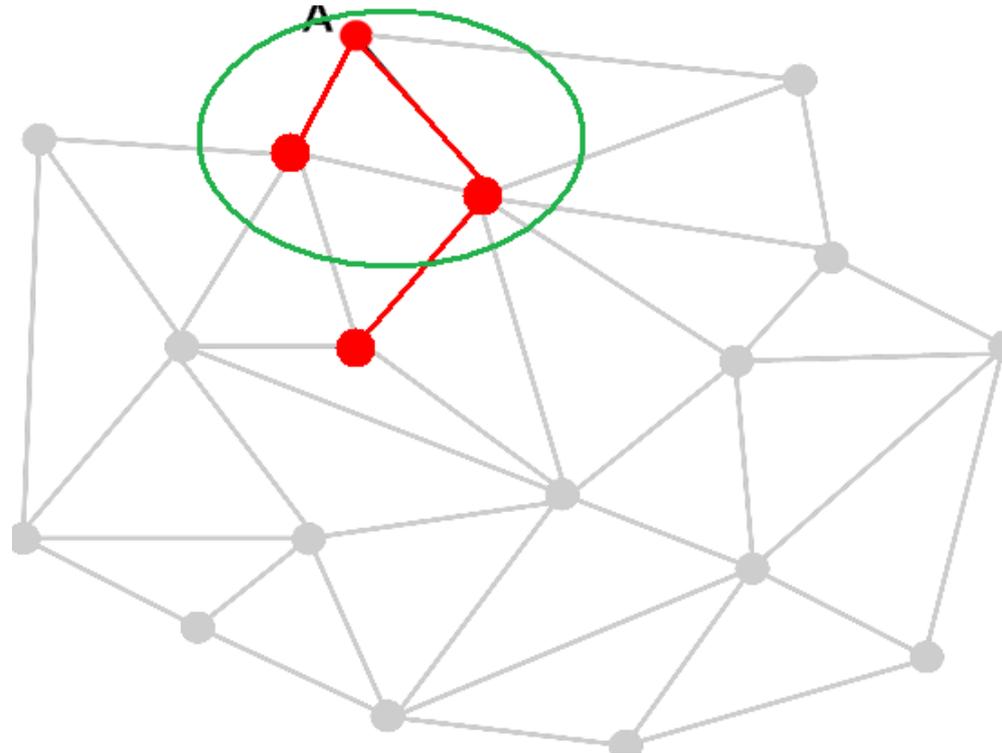
Déplacement 3D

41



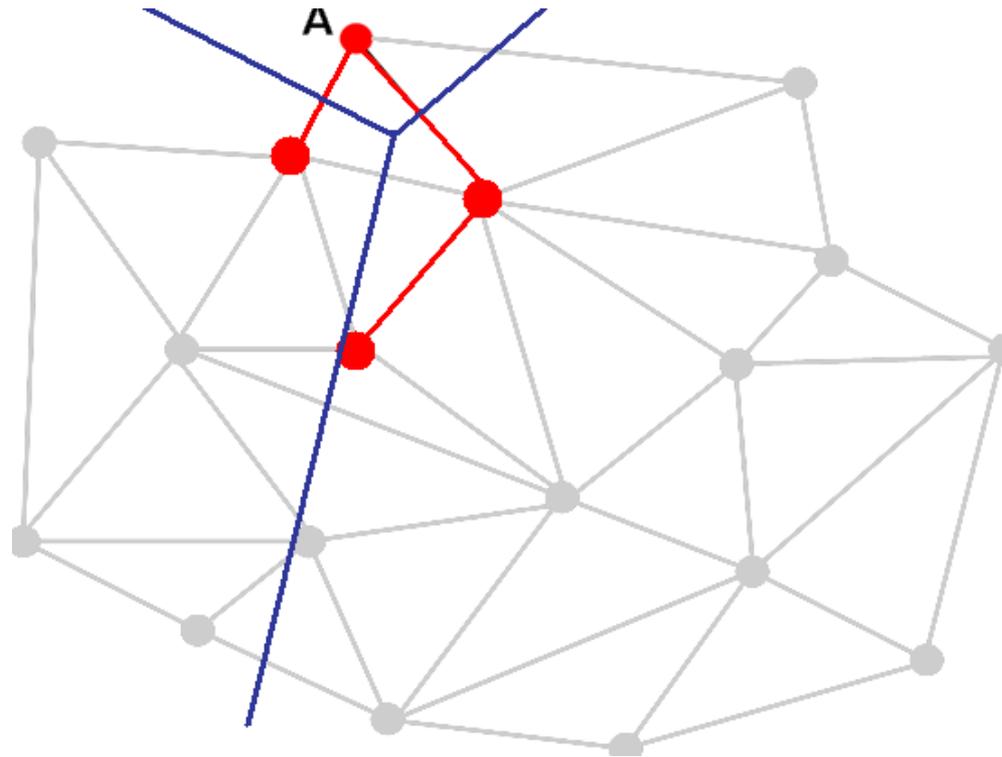
Déplacement 3D

42



Déplacement 3D

43



Déplacement 3D

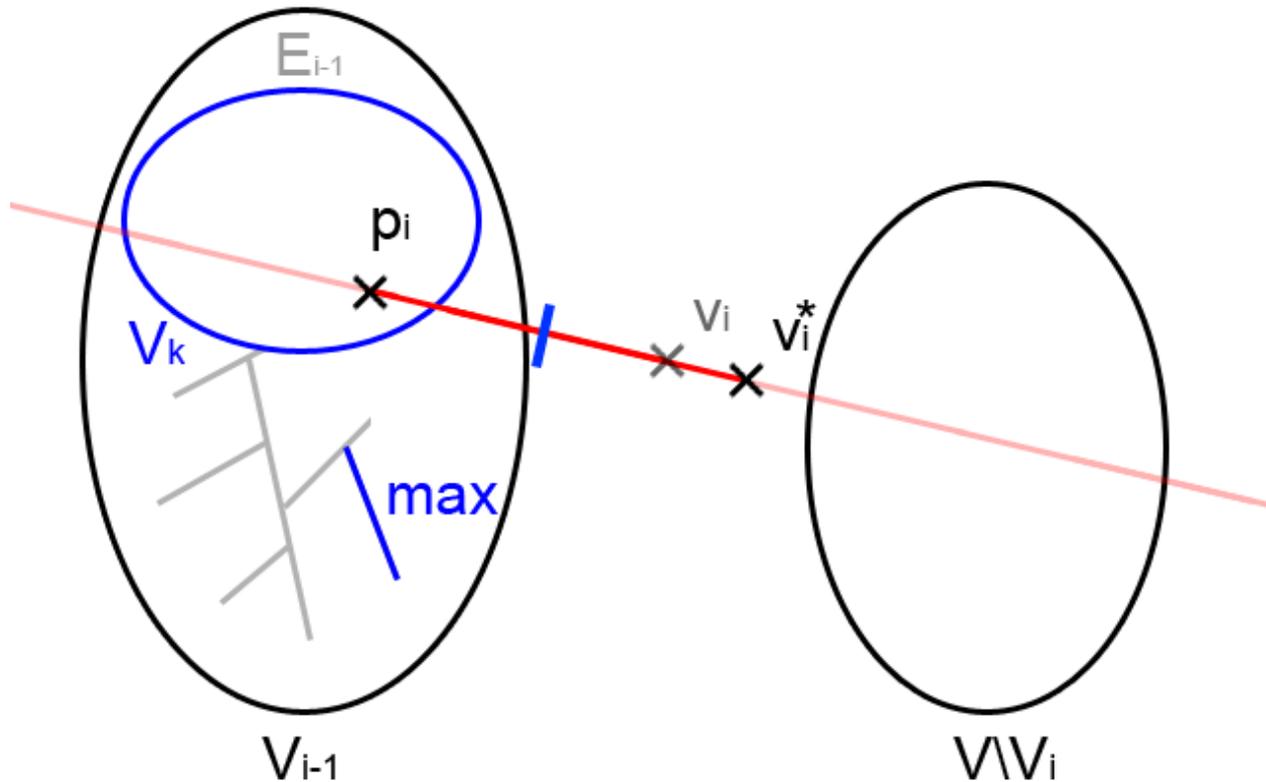
44

- Condition n°2 : Conservation de la chronologie
 - v^* doit être sélectionné à l'étape $s = i$
 - ... Et pas avant ($s \geq i$)
 - Solution : dépends des arêtes sélectionnées entre l'étape où p_i a été sélectionné et l'étape i .

- Piste de démonstration
 - Propriétés des EMST

Déplacement 3D

45



Déplacement 3D

46

- Condition n°2 : Conservation de la chronologie
 - v^* doit être sélectionné à l'étape $s = i$
 - ... Ni après ($s \leq i$)
 - Solution : chercher le 2^e sommet le plus proche

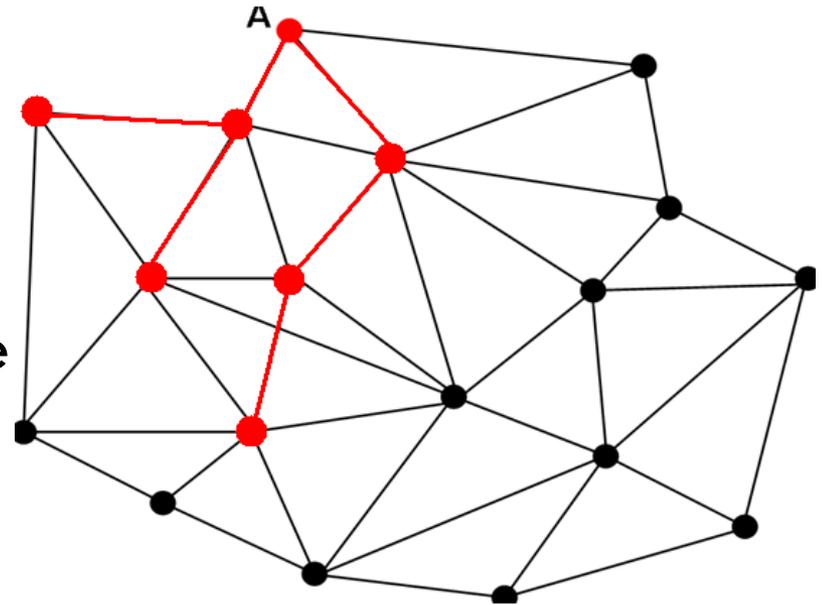
- Piste de démonstration
 - Trivial

Déplacement 3D

47

- Avantages :
 - ▣ Calculable en temps polynomial ;

- Inconvénients :
 - ▣ Hypothèses fortes ;
 - ▣ Calcul quadratique ;
 - ▣ Dépendance de l'algorithme de Prim.



Critère de robustesse

48

- Comment quantifier le déplacement d'un point ?
 - ... volume ?
 - ... volume de la sphère inscrite ?
 - ... volume de l'ellipse inscrite ?

- Type du volume concerné :
 - Intersection entre une couronne et une cellule de Voronoï 3D

- Estimation du déplacement [Tournier et al. 09]
 - Déplacement limité à une dimension.

« Arbres robustes »

49

- Sélectionner un sous ensemble de points
 - ▣ ... grâce au critère de robustesse ;
 - ▣ Points les + mobiles = points « robustes » ;

- Synchronisation
 - ▣ Calcul d'un EMST à partir des points robustes
= « arbre robuste »

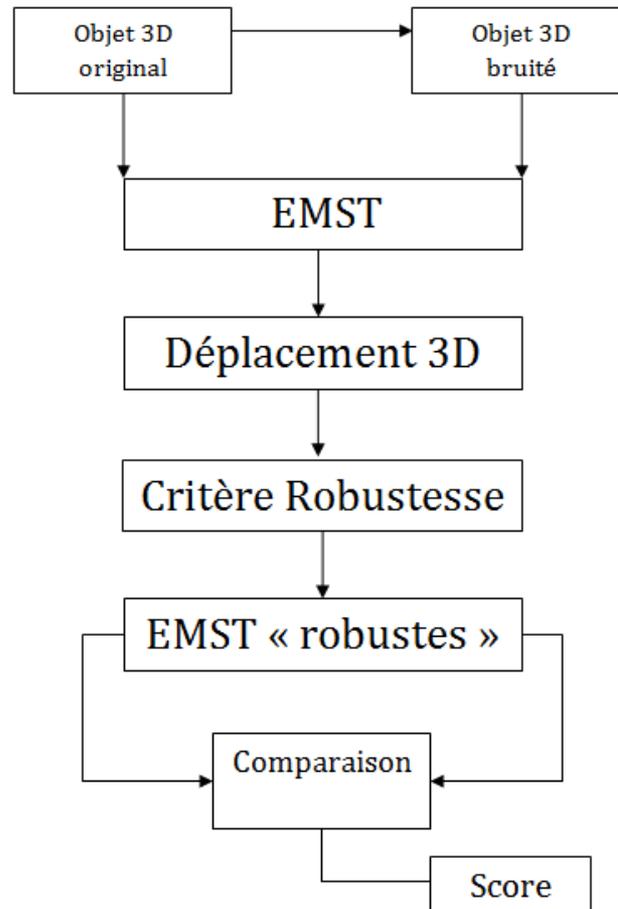
« Arbres robustes »

50

- Conditions expérimentales
 - 10 objets normalisés
 - 1000 sommets en moyenne
 - Bruit Gaussien

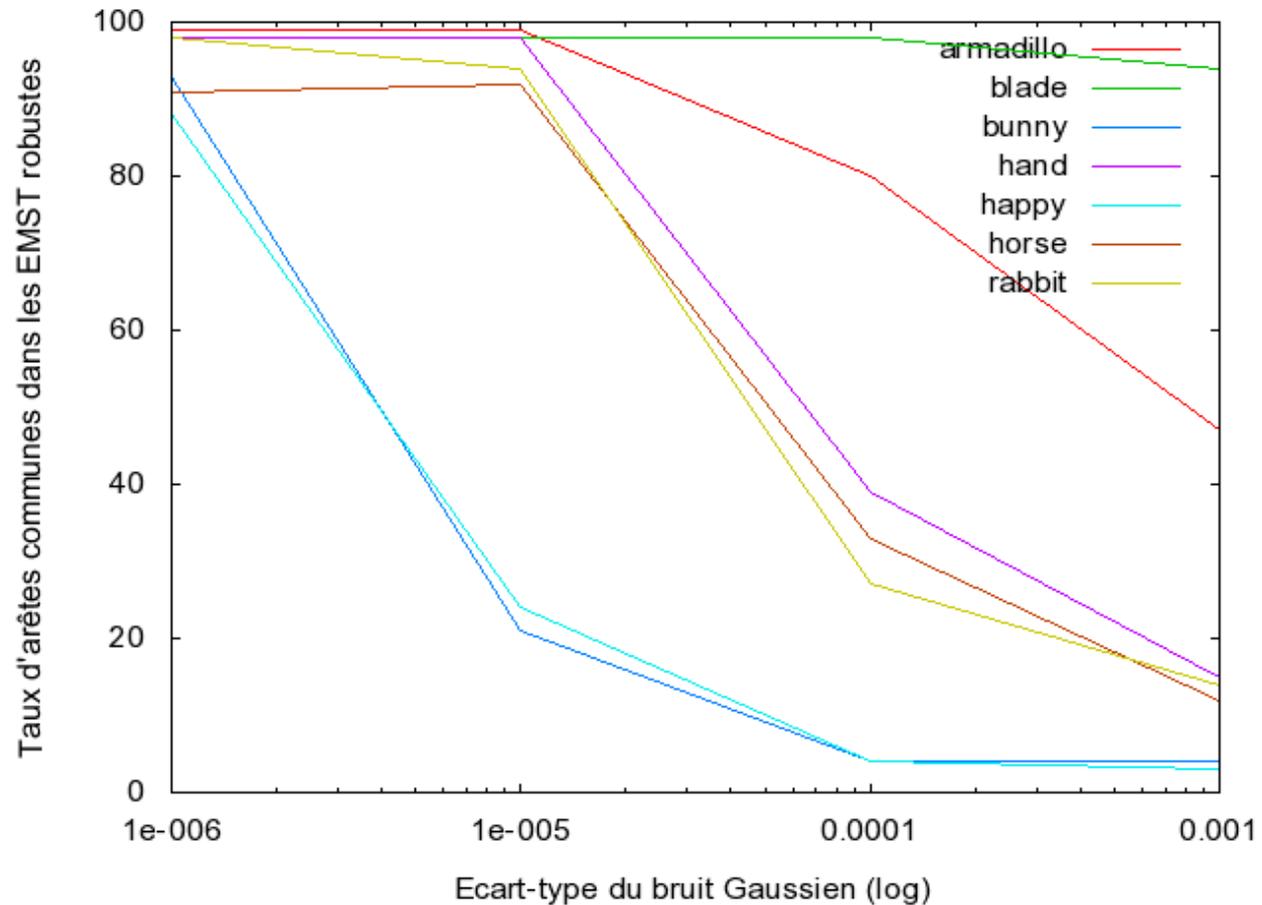
« Arbres robustes »

51



« Arbres robustes »

52

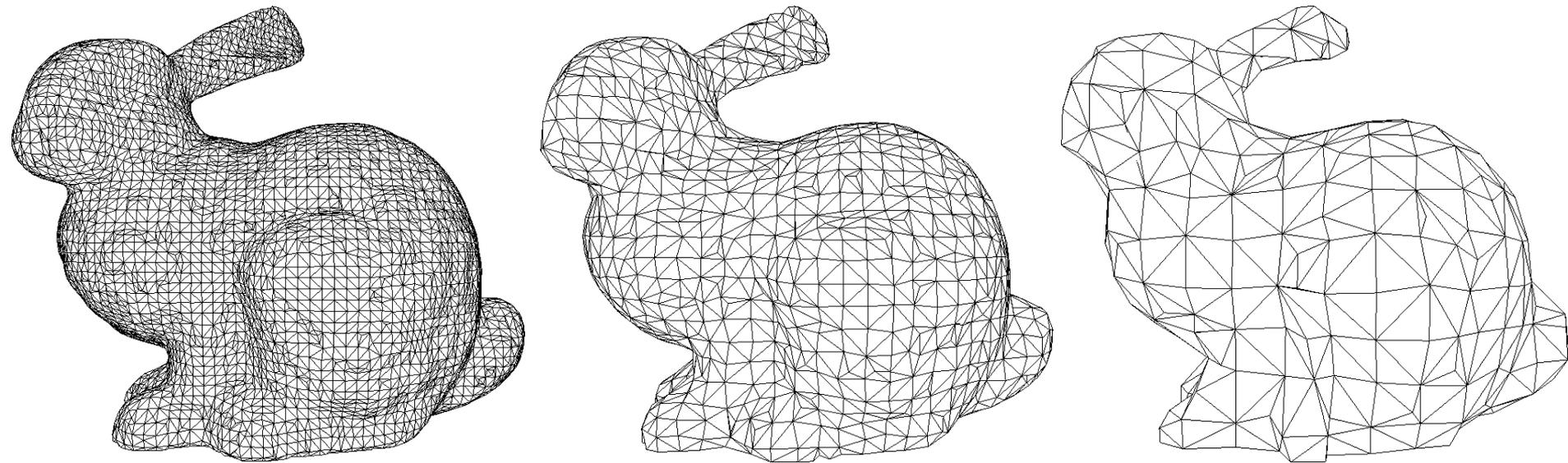


Perspectives

- Multi-résolution
- Courbure, EMST, ...

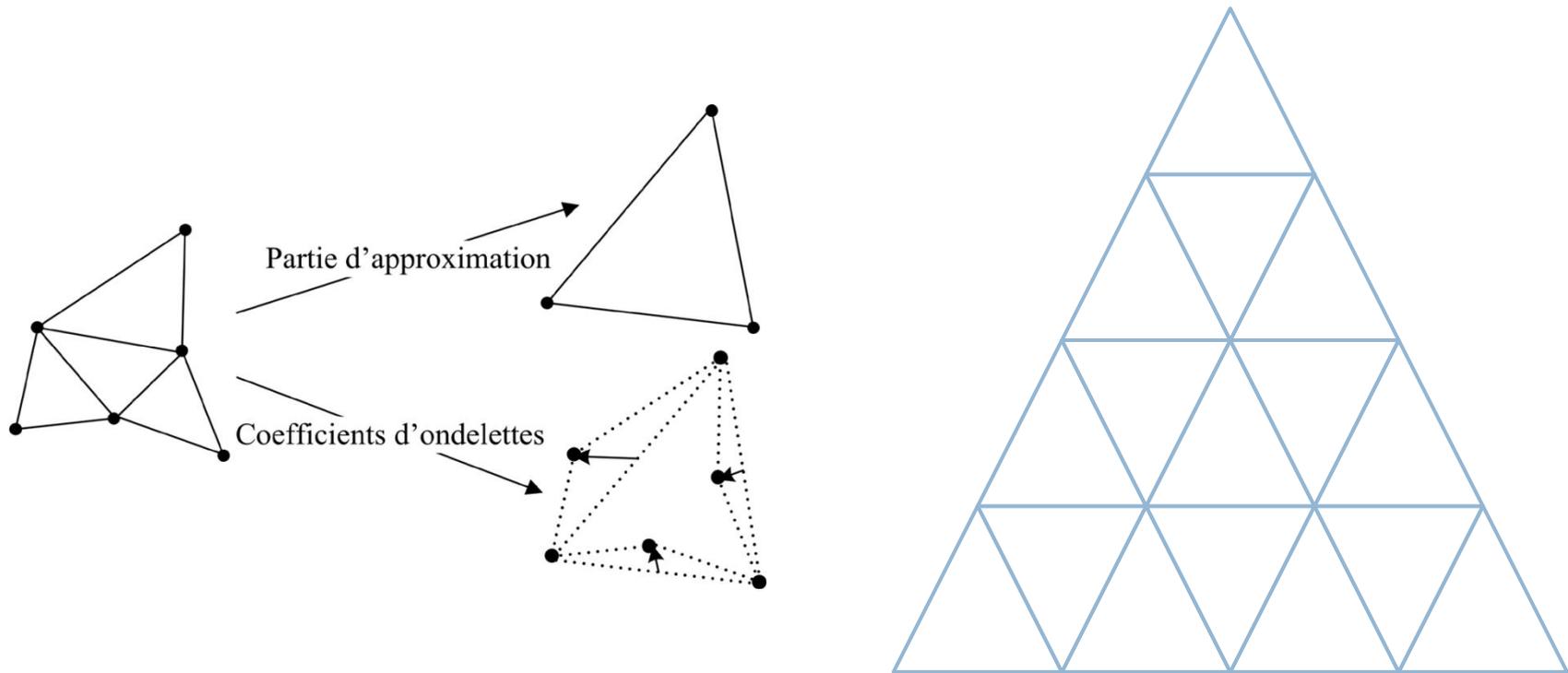
Multi-résolution

54



Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

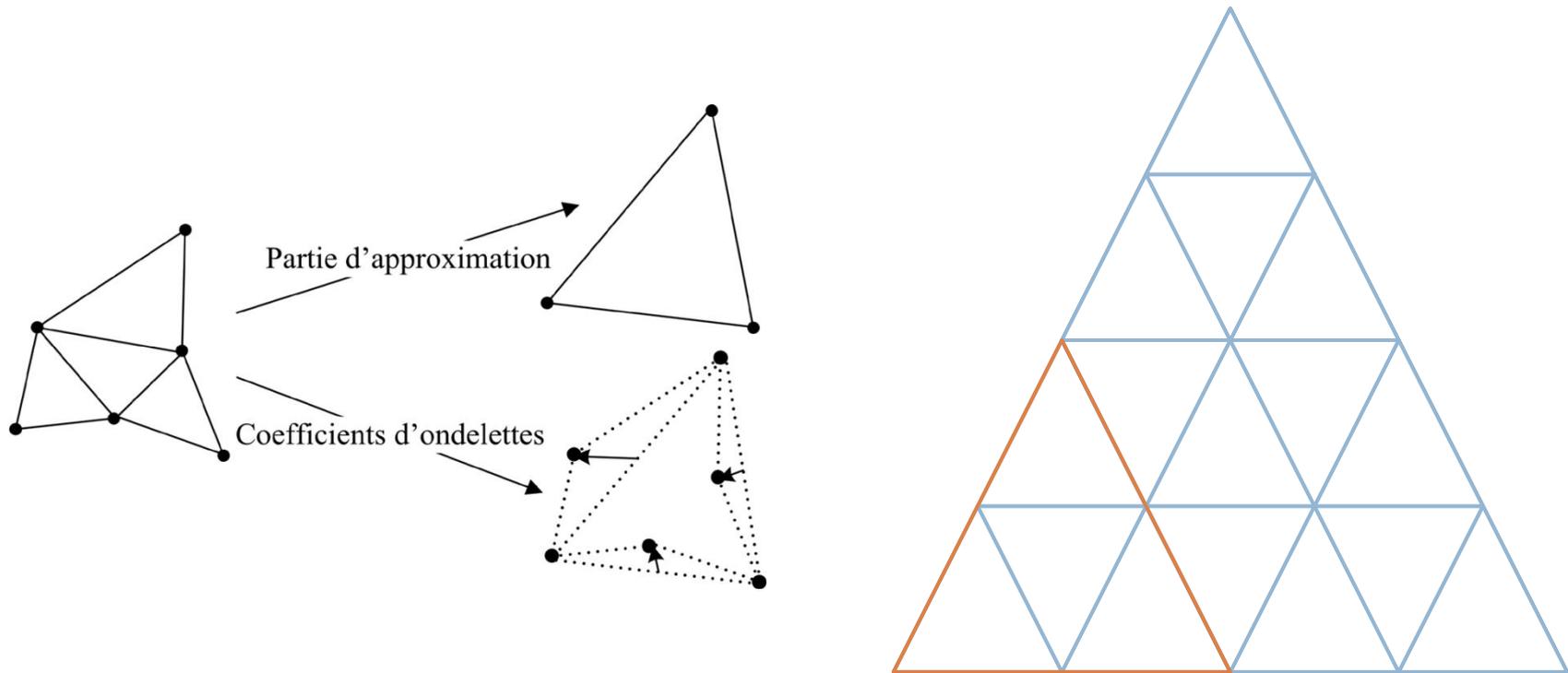
55



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, *Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type*, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

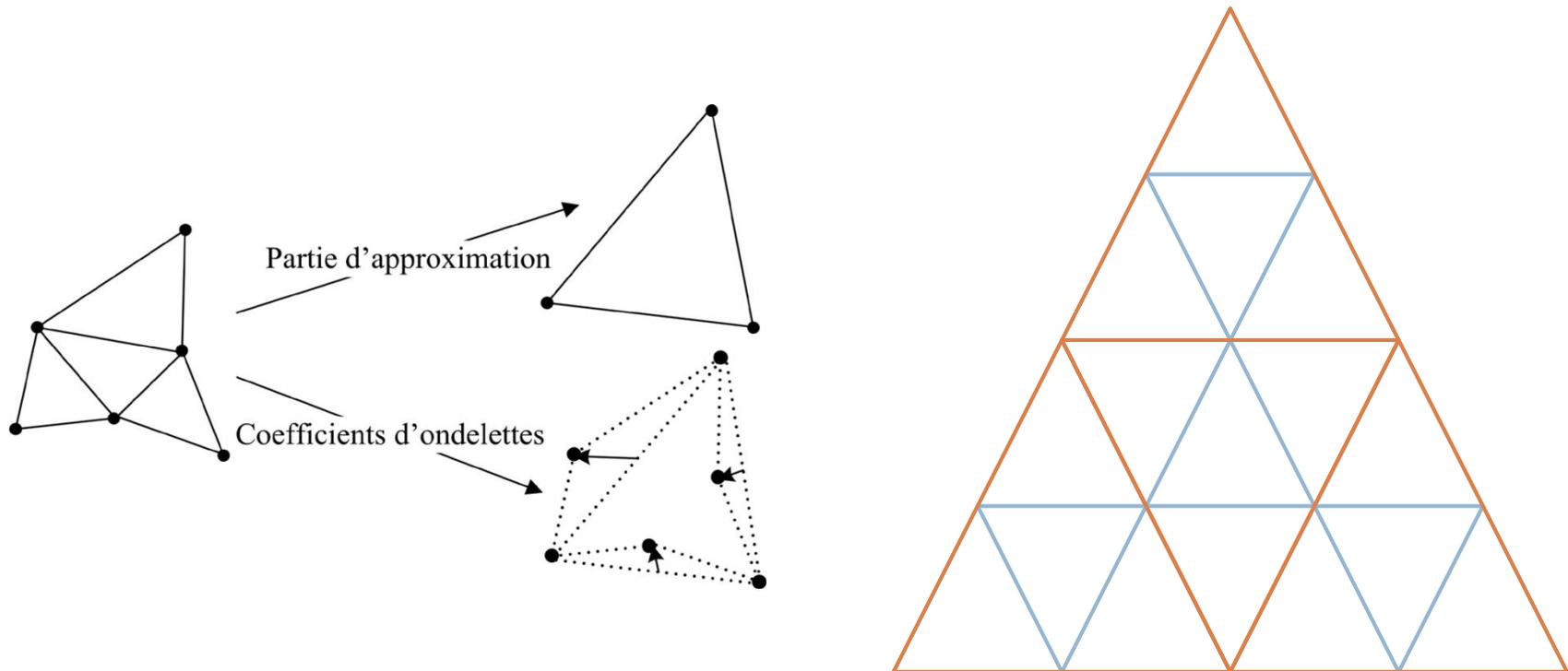
56



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, *Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type*, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

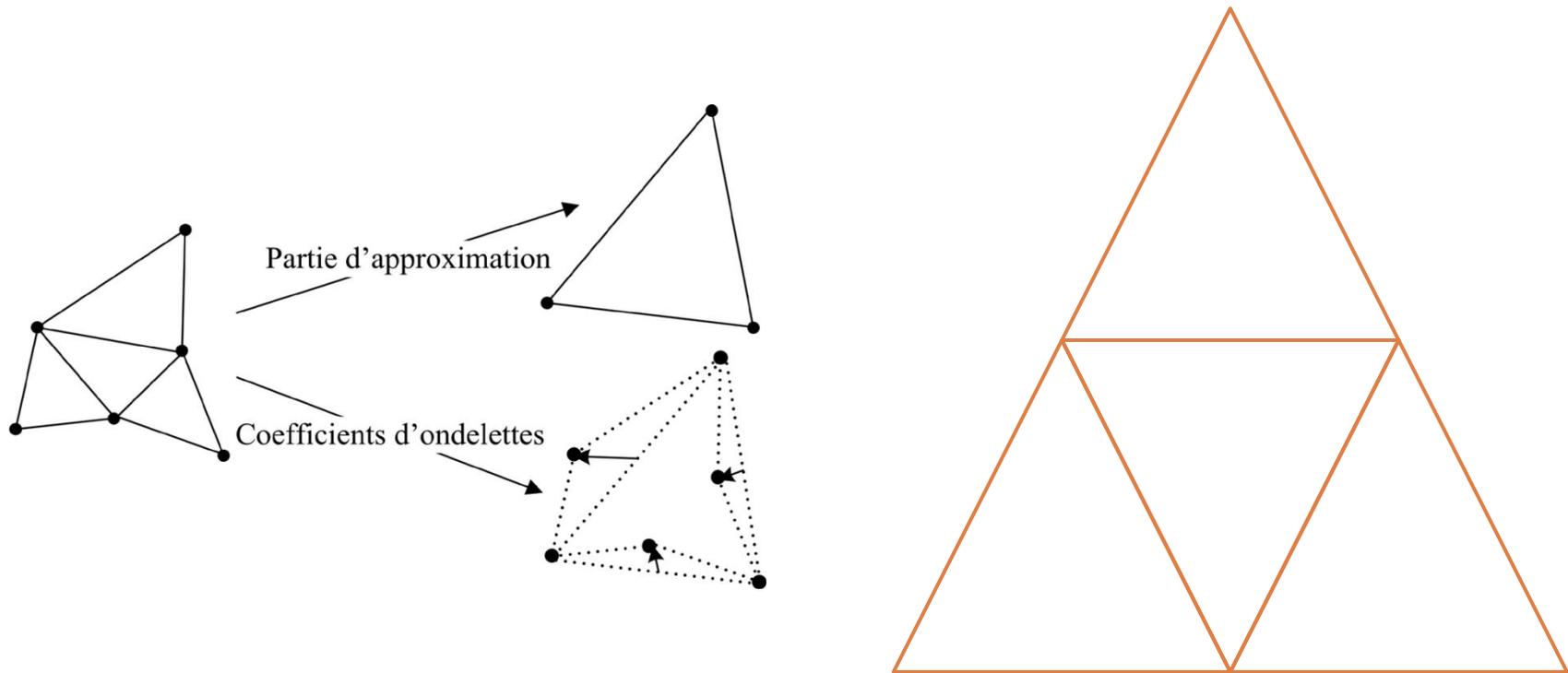
57



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, *Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type*, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

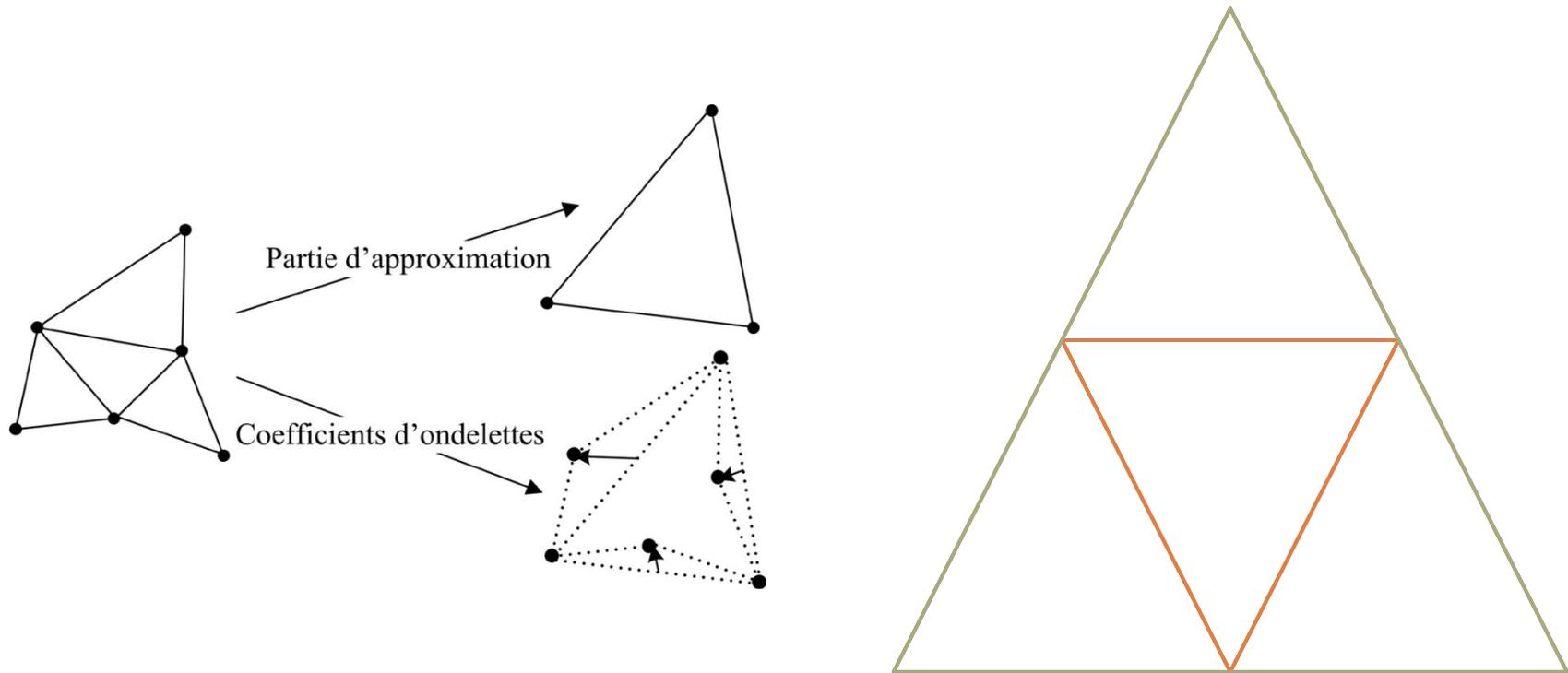
58



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

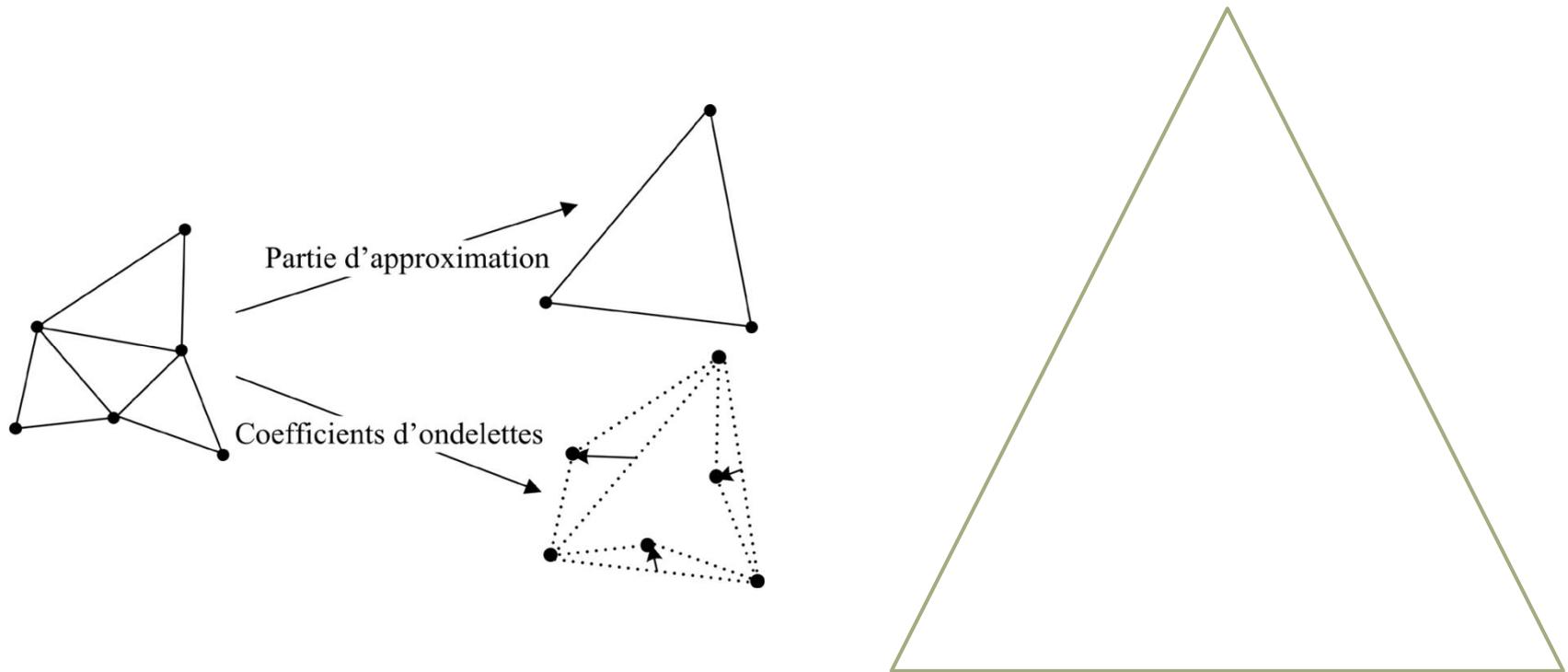
59



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, *Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type*, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

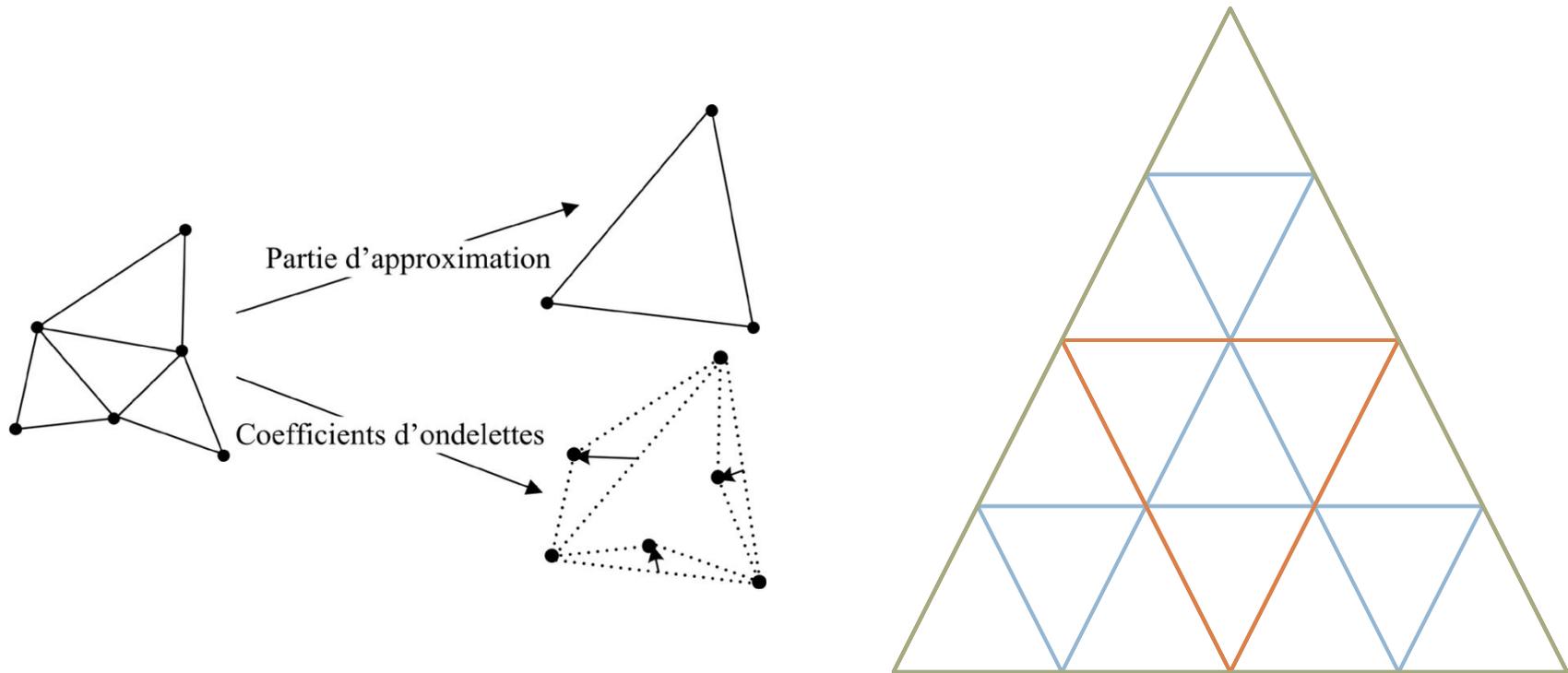
60



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Ondelettes 3D – 1^{ere} génération

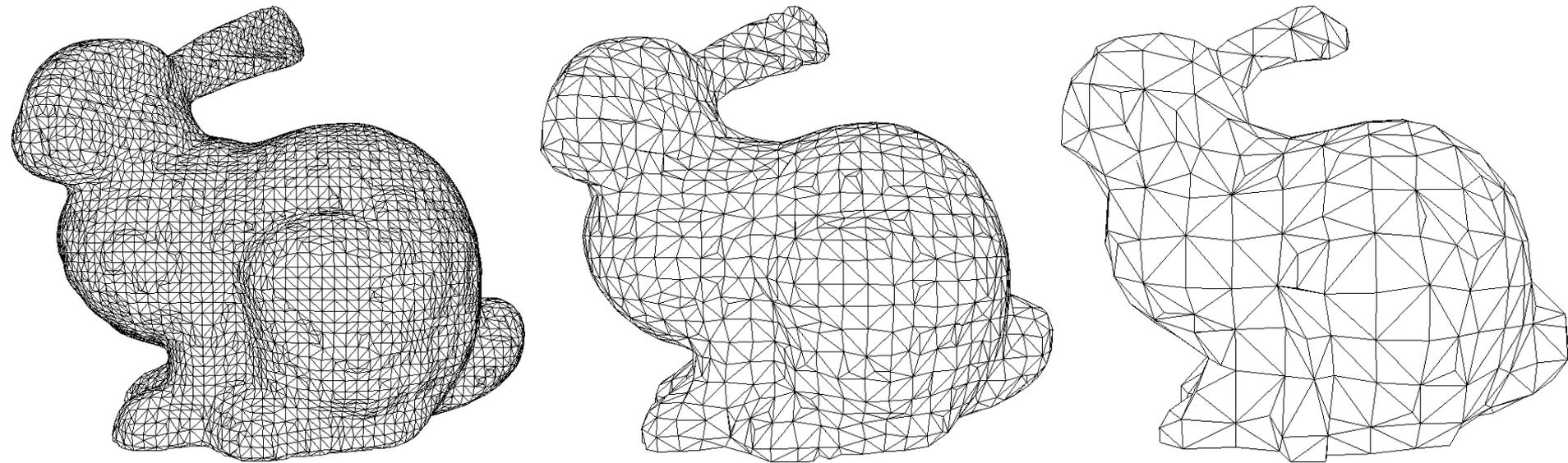
61



M. Lounsbery, T.D. DeRose, et J. Warren, Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type, *ACM Trans. on Graphics*. 16(1): 34-73, 1997.

Courbure, EMST, ...

62



Perspectives

63

- Multi-résolution
 - + Critère de robustesse (Courbure, ...)
 - + Synchronisation par EMST

- Théorie sur le déplacement 3D dans les EMST
 - + indépendant de l'algorithme de Prim (problème ouvert)

- Après la synchronisation, le tatouage ?

Conclusion

- ❑ Critère de robustesse = points estimés les + mobiles ;
- ❑ Synchronisation = Calcul d'un EMST sur les « points robustes »
- ❑ Perspectives :
 - ❑ Multi-résolution
 - ❑ Nouveau critère de robustesse

65

Merci de votre attention

Questions ?