

# Deep Learning et Nuage de Points 3D

Jean-Emmanuel DESCHAUD

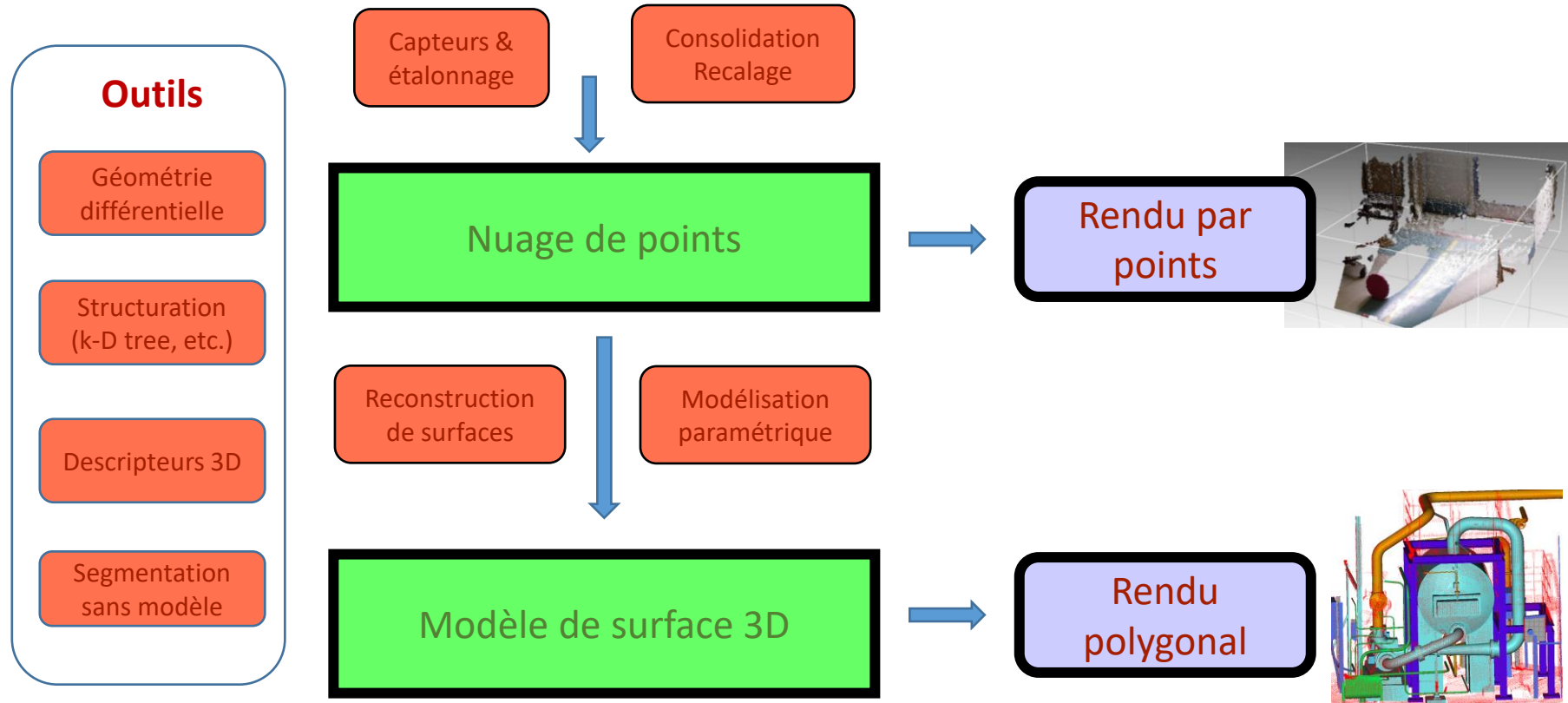
[jean-emmanuel.deschaud@minesparis.psl.eu](mailto:jean-emmanuel.deschaud@minesparis.psl.eu)

Centre de Robotique

Mines Paris - PSL, Université PSL

# Nuages de points et modélisation 3D

## Vue d'ensemble



# Deep pour les nuages de points

Presque toutes les problématiques 3D résolues par du Deep :

- Estimation de normales [Boulch & Marlet, 2016]
- Estimation de flux de scènes [Mittal et al, 2019]
- Recalage de nuages [Choy et al, 2019]
- Extraction de primitives [Li et al, 2020]
- Reconstruction de surfaces [Erler et al, 2020]
- Détection d'objets en 3D [Qi et al, 2019]
- Segmentation sémantique de nuages denses [Thomas et al, 2018]
- Mais pas tout :
  - SLAM LiDAR : exemple avec KISS-ICP [Vizzo et al, 2023]

# Plan du cours

- I. Historique du Deep en 3D
- II. Trois architectures classiques en convolution de nuage de points
- III. Quelques applications du Deep en 3D :
  - I. Recalage de nuages avec FCGF
  - II. Segmentation sémantique avec KPConv
  - III. Détection d'objets avec DeepHough
  - IV. Reconstruction avec SG-NN
- IV. 3D Data augmentation & Optimisation

# Quelques dates :

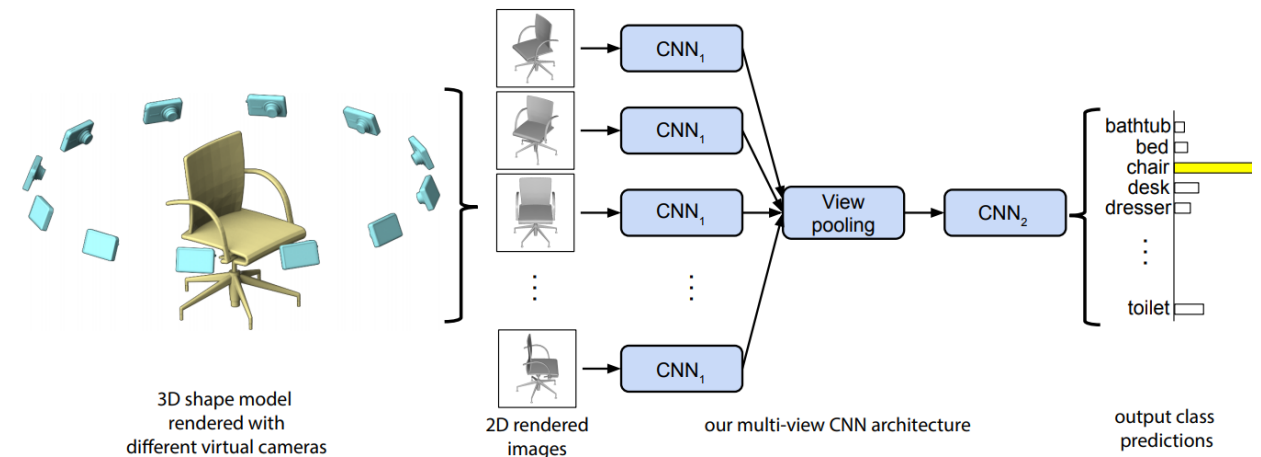
- 1943 : Neurone formel (Warren McCulloch et Walter Pitts)
- 1957 : Perceptron (Rosenblatt)
- 1986 : Multi-Layer Perceptron
- 2012 : AlexNet qui remporte la compétition ImageNet
- 2015 : AlphaGo
- **2017 : PointNet (SOTA en classification sur ModelNet40)**
- **2018 : RF-MSSF (méthode non Deep : 56,3 mIoU sur Paris-Lille-3D)**
- **2018 : MS3-DVS (méthode Deep basée voxels : 66,9 mIoU sur Paris-Lille-3D)**
- **2019 : KPConv (méthode Deep basée points : 82,0 mIoU sur Paris-Lille-3D)**

# Evolution des approches en 3D

- Projection sur les images
- Convolution dans une grille dense de voxels
- Convolution sur des graphes
- Convolution sur nuages de points

# Projection sur des images

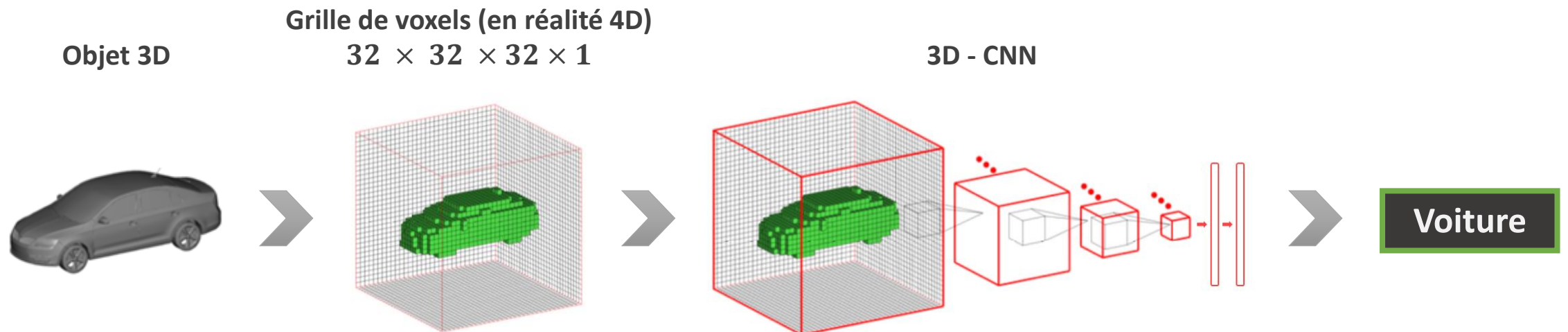
- Réutiliser les architectures classiques 2D :
  - Projection perspective, parallèle, panoramique...
  - Sur une caméra virtuelle positionnée aléatoirement, en vue de dessus, placée verticalement...
  - En conservant les données de profondeur, d'accumulation, RGB...
- Quelques méthodes :
  - MVCNN [Su et al, 2015]
  - SnapNet [Boulch et al, 2018]
  - RangeNet++ [Milioto et al, 2019]



MVCNN [Su et al, 2015]

# Convolution dans une grille de voxels

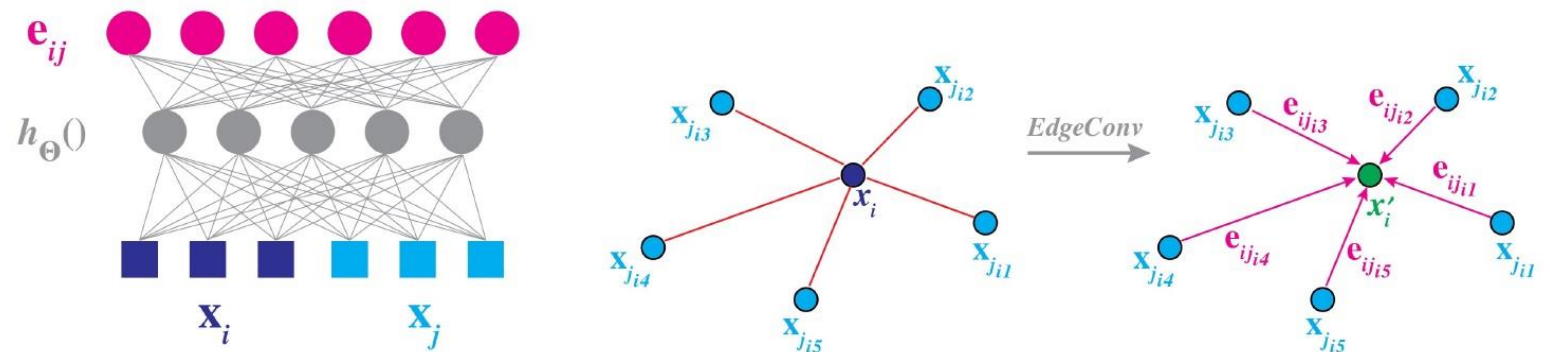
- Nuage de points transformé en grille d'occupation (voxels)
- Quelques méthodes :
  - VoxNet [Maturana et Scherer, 2015]
  - VoxelNet [Zhou et Tuzel, 2018]
  - MS3-DVS [Roynard et al, 2018]





# Convolution sur des graphes

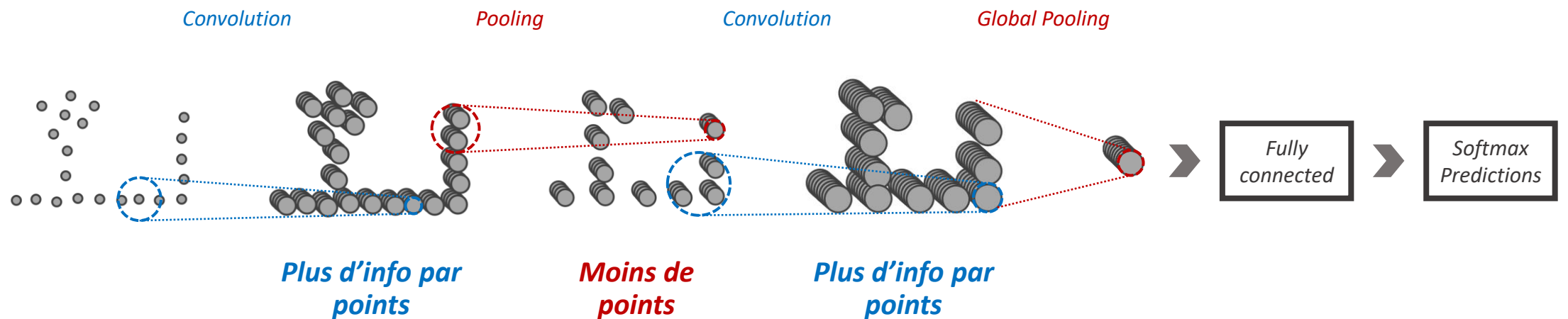
- Transformer le nuage de points en un graphe
- Quelques méthodes :
  - SPGraph [Landrieu et Simonovsky, 2018]
  - DGCNN [Wang et al, 2019]



DGCNN: Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds [Wang et al, 2019]

# Convolution sur nuage de points

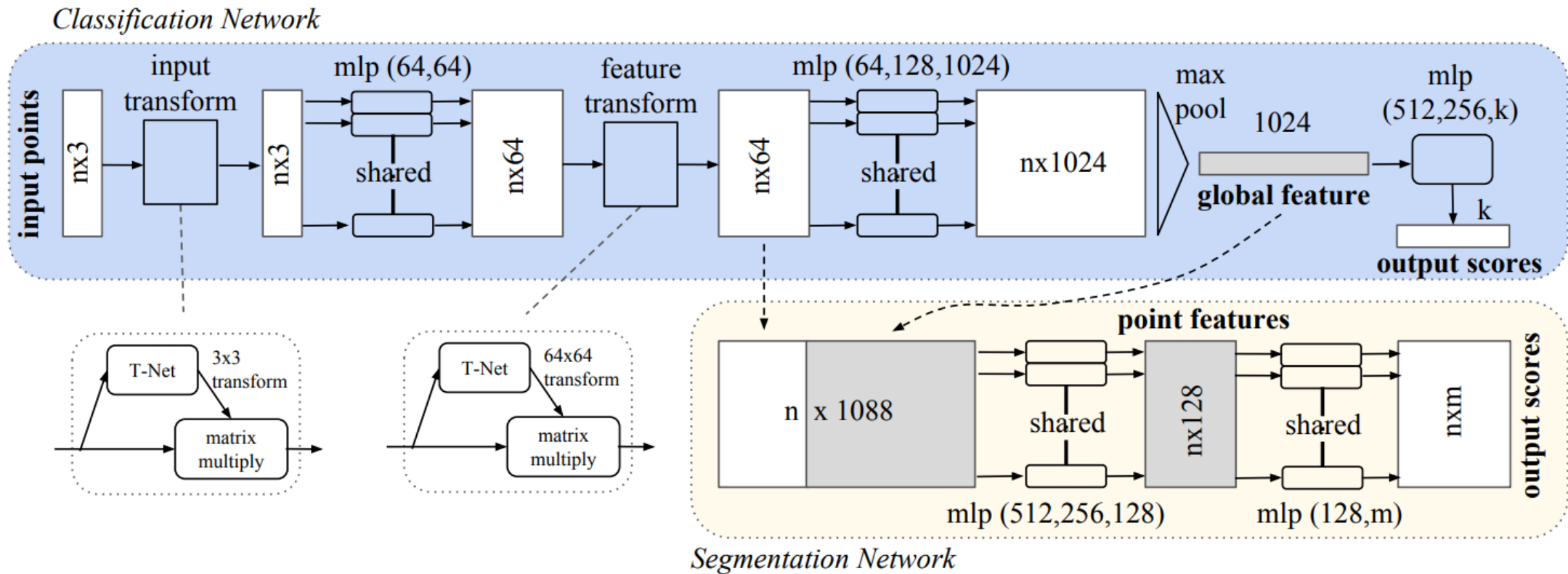
- Nouvelles définitions de convolution
- Quelques méthodes :
  - PointNet [Qi et al, 2017a]
  - PointNet++ [Qi et al, 2017b]
  - KPConv [Thomas et al, 2019]



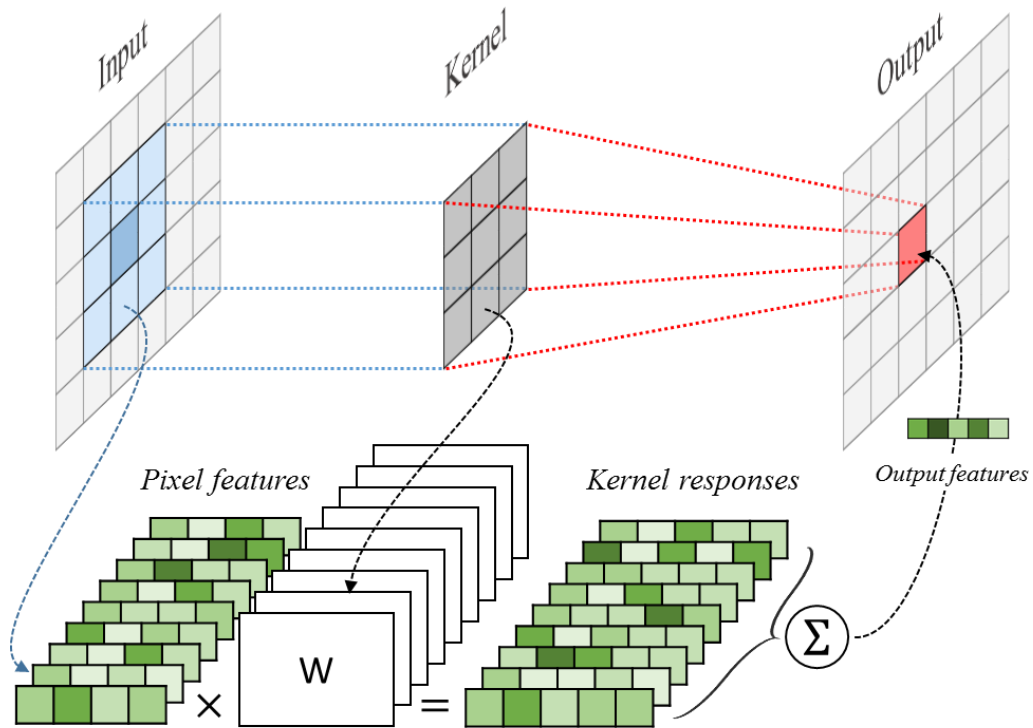
# Plan du cours

- I. Historique du Deep en 3D
- II. Trois architectures classiques en convolution de nuage de points
- III. Quelques applications du Deep en 3D :
  - I. Recalage de nuages avec FCGF
  - II. Segmentation sémantique avec KPConv
  - III. Détection d'objets avec DeepHough
  - IV. Reconstruction avec SG-NN
- IV. 3D Data augmentation & Optimisation

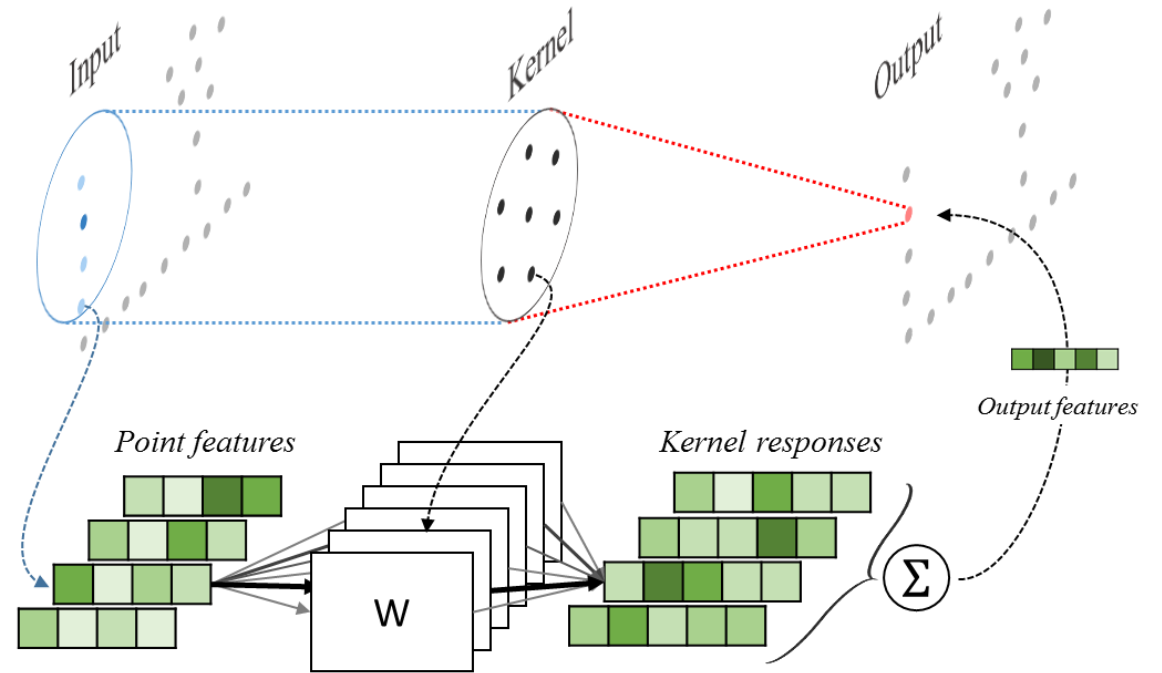
# PointNet [Qi et al, 2017a]



# Convolution points : KPConv [Thomas et al, 2019]



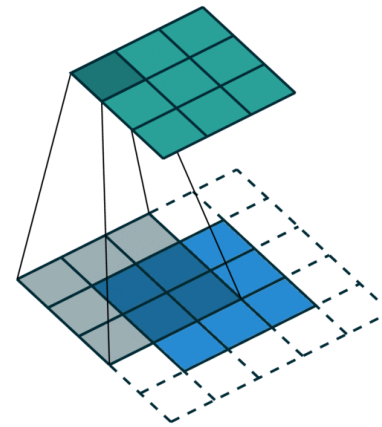
Alignement direct entre les pixels d'entrée et les pixels du noyau



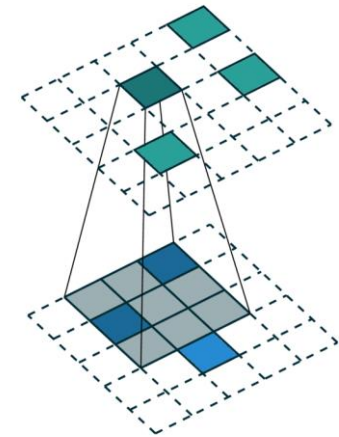
Alignement par corrélation entre les point d'entrée et les points du noyau

# Sparse voxels convolution [Liu et al, 2015]

- Remplacer les opérations denses par des opérations sparse
- Trois implémentations :
  - **MinkowskiNet** (NVIDIA) [Choy et al, 2019]
  - SparseConvNet (Facebook) [Graham et al, 2018]
  - SPVConv (MIT) [Tang et al, 2020]



Tenseur dense



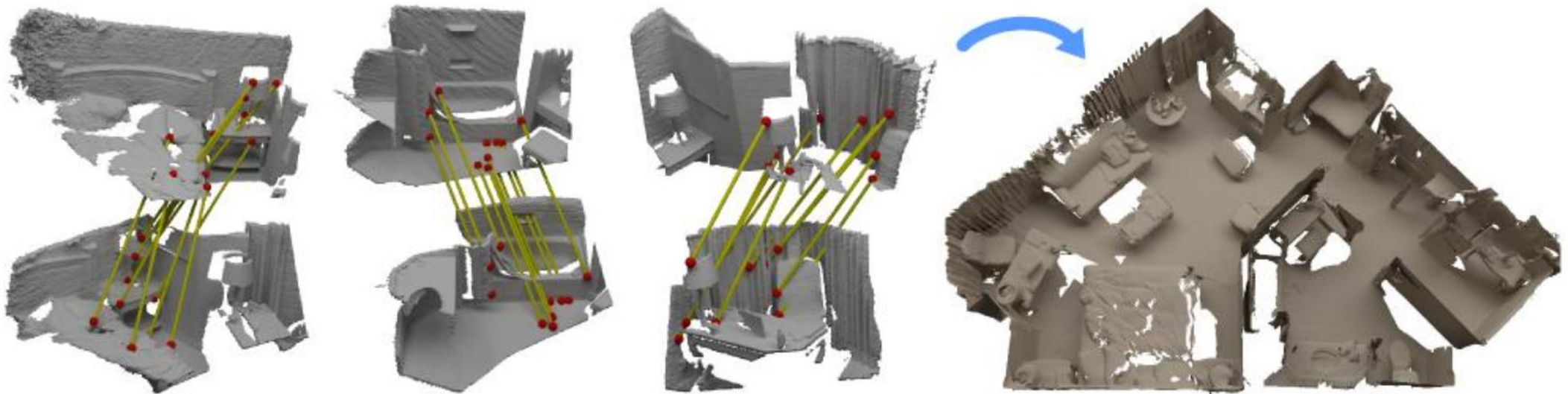
Tenseur sparse

# Plan du cours

- I. Historique du Deep en 3D
- II. Trois architectures classiques en convolution de nuage de points
- III. Quelques applications du Deep en 3D :
  - I. Recalage de nuages avec FCGF
  - II. Segmentation sémantique avec KPConv
  - III. Détection d'objets avec DeepHough
  - IV. Reconstruction avec SG-NN
- IV. 3D Data augmentation & Optimisation

# Recalage de nuages avec FCGF [Choy et al, 2019]

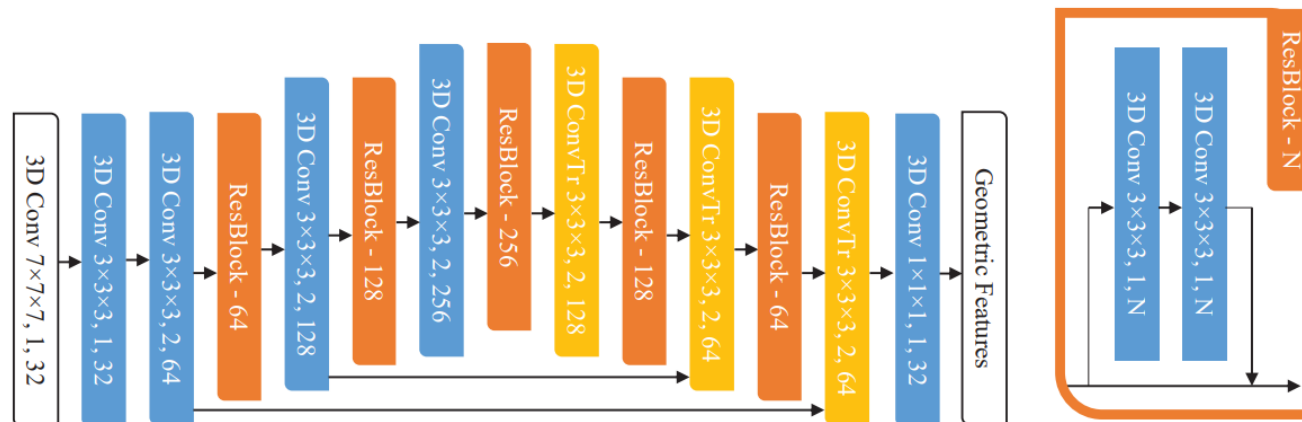
- 3DMatch Benchmark : <https://3dmatch.cs.princeton.edu/>





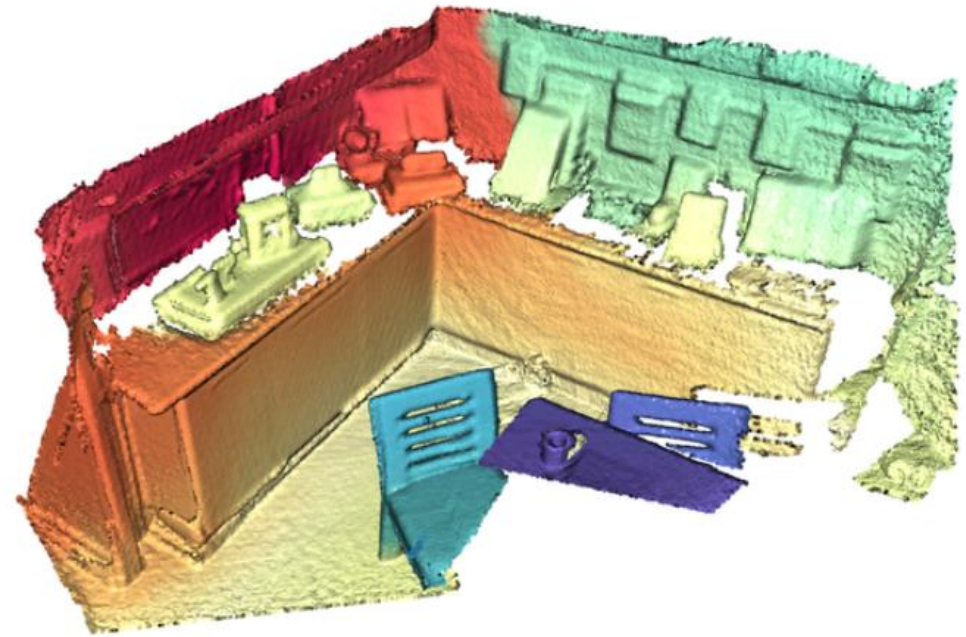
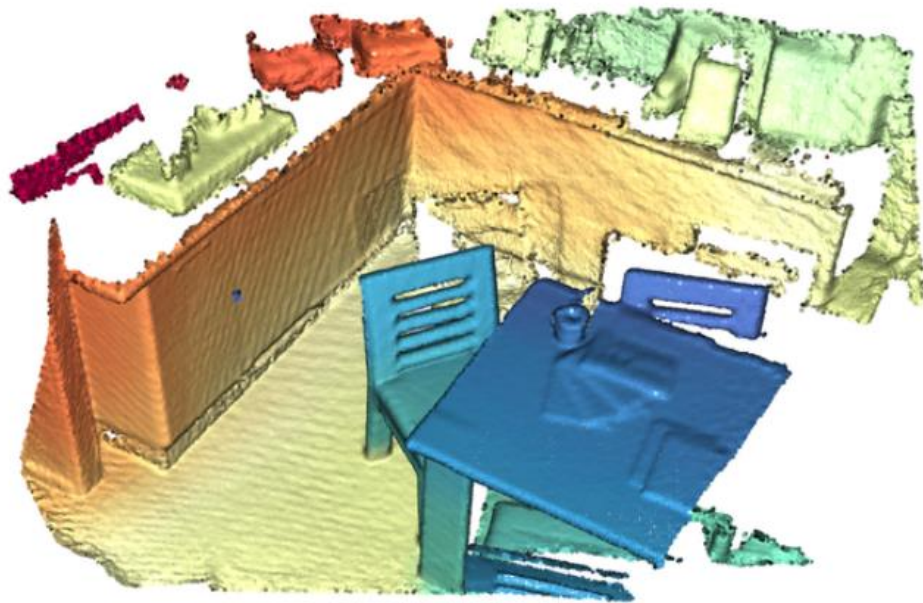
# Recalage de nuages avec FCGF [Choy et al, 2019]

- FCGF pour Fully Convolutional Geometric Features
- Architecture U-Net avec blocs résiduels et sparse voxels
- Metric Learning avec descripteurs de taille 32
- Hardest-triplet Loss



# Recalage de nuages avec FCGF [Choy et al, 2019]

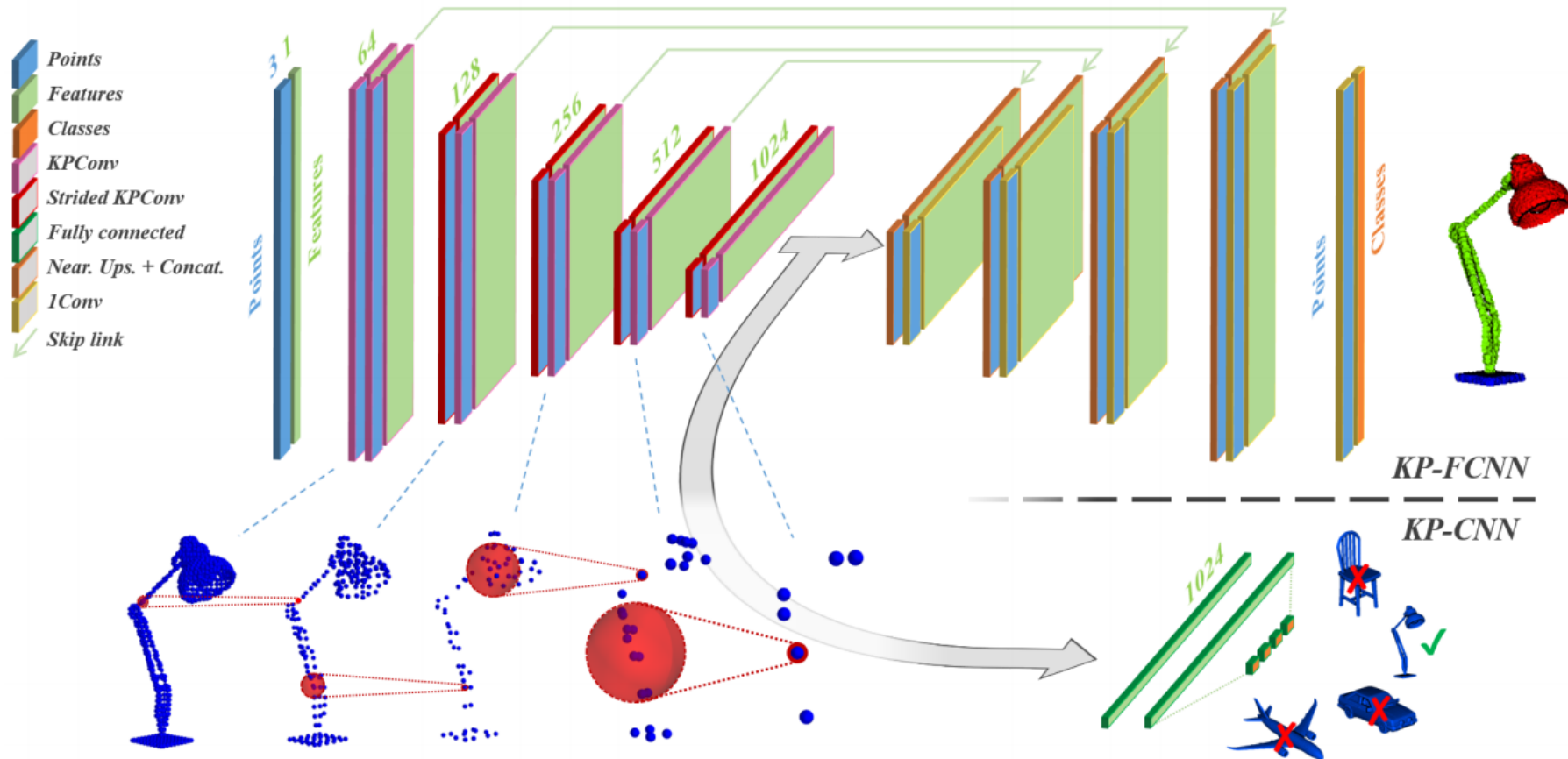
- Résultat sur 3DMatch



Projection des descripteurs de taille 32 sur un espace de couleur de dimension 3 par t-SNE (Stochastic Neighbor Embedding)

# Segmentation sémantique avec KPConv

[Thomas et al, 2019]



# Segmentation sémantique avec KPConv [Thomas et al, 2019]

- Résultats sur plusieurs datasets 3D :





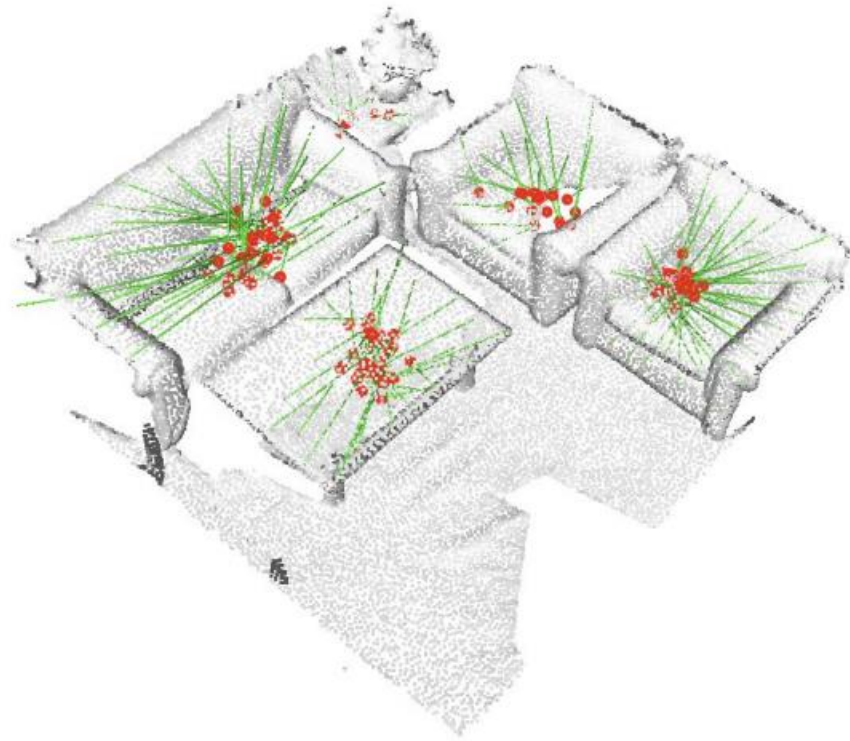
# Segmentation sémantique avec KPConv [Thomas et al, 2019]

- Résultats sur Paris-Lille-3D avec KPConv :
  - 82.0% mIoU (indice de jaccard moyennée par classe)
  - 95.3% de précision globale (sur l'ensemble des points)

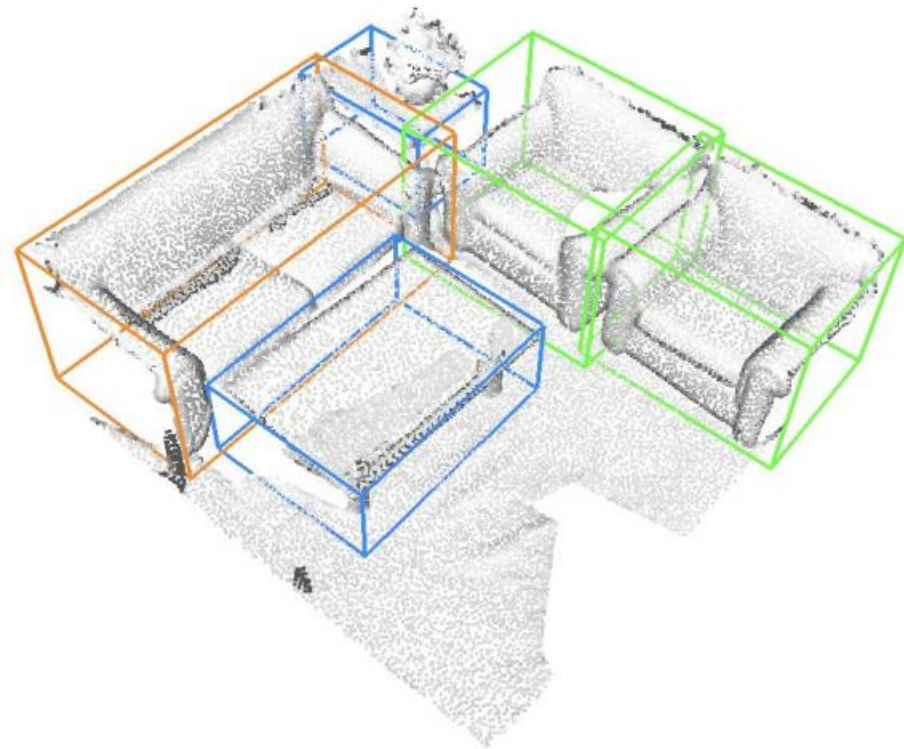


# Détection d'objets avec VoteNet [Qi et al, 2019]

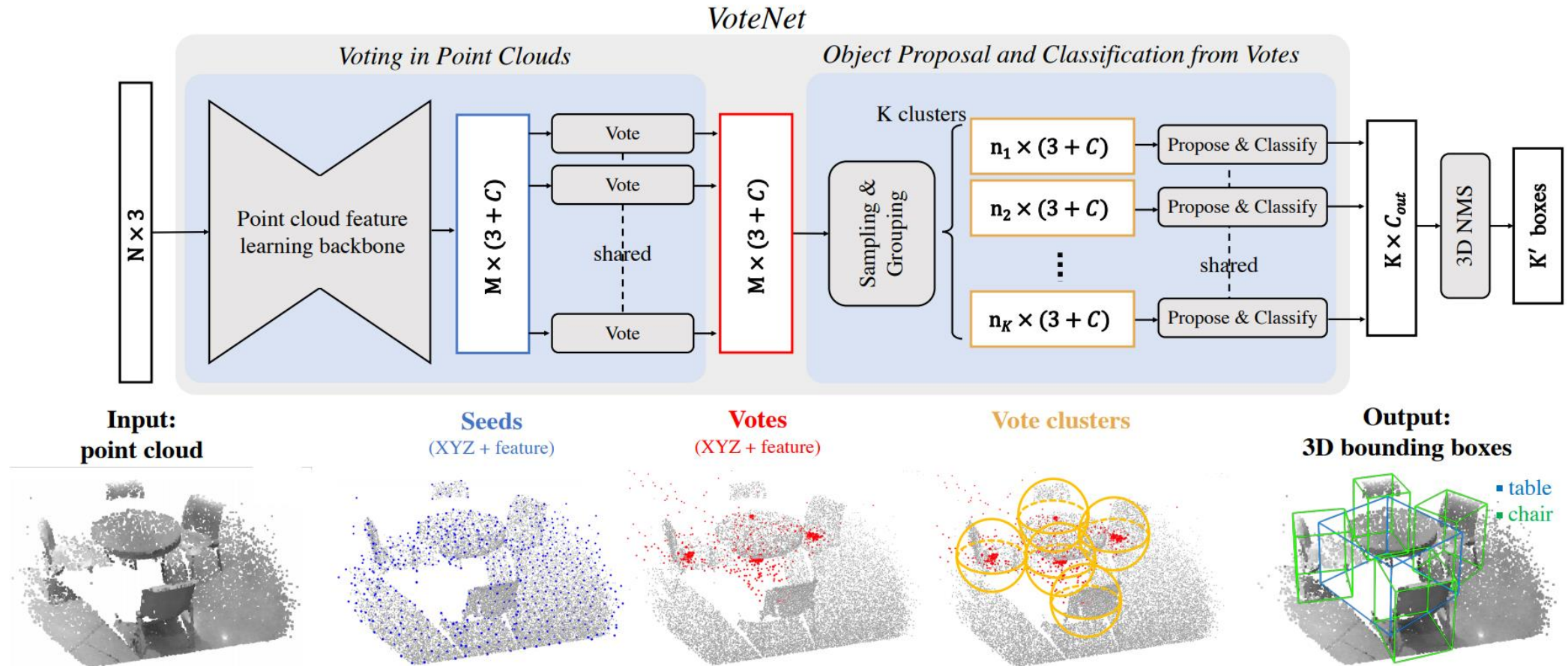
Voting from input point cloud



3D detection output

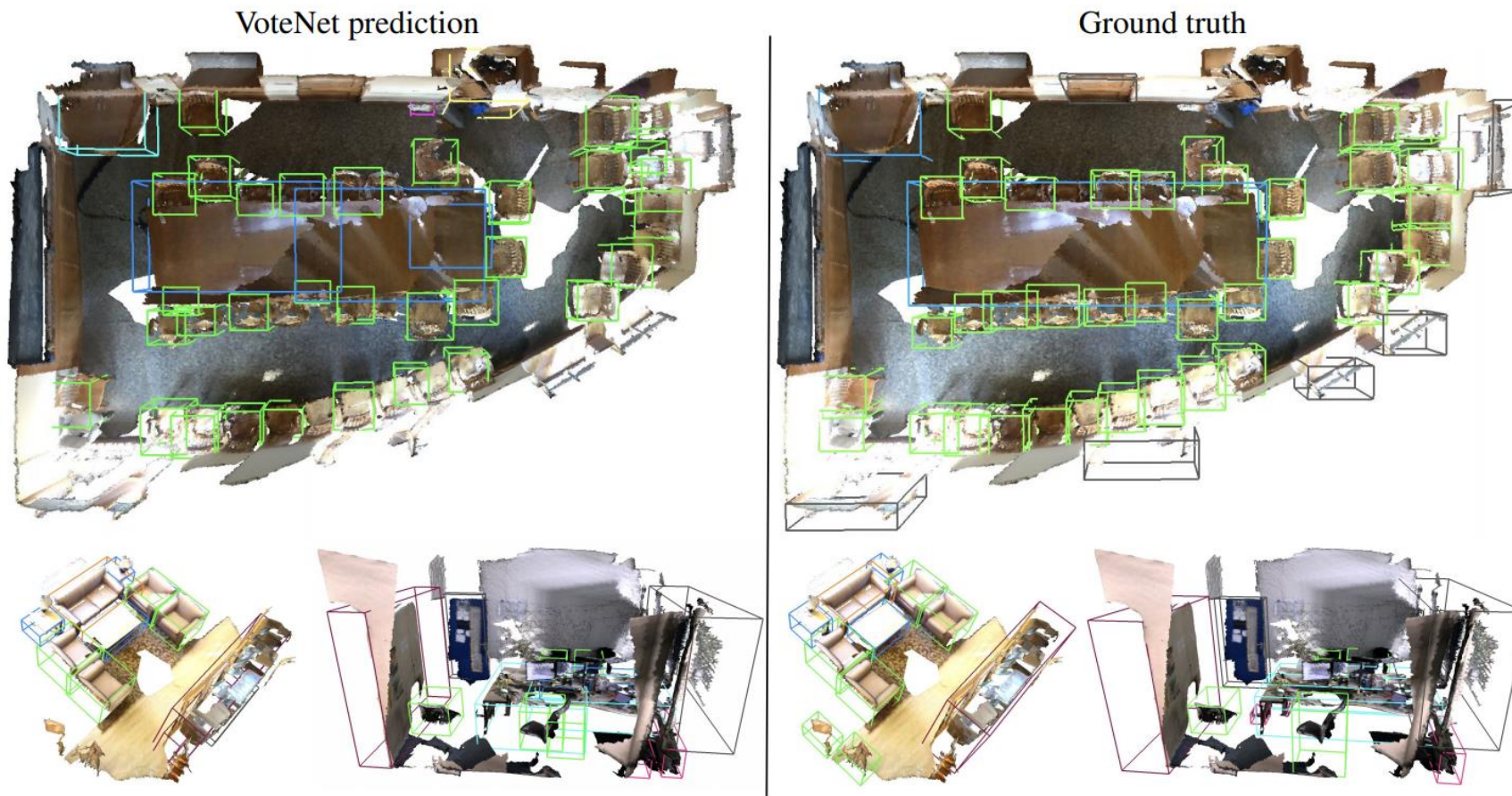


# Détection d'objets avec VoteNet [Qi et al, 2019]



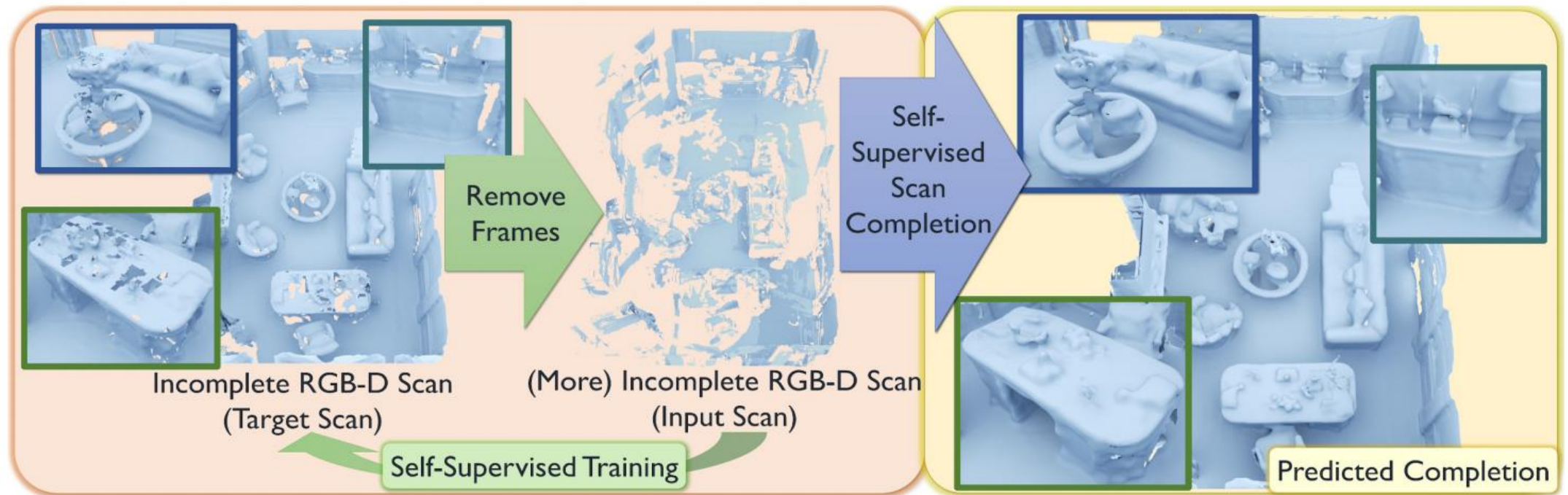


# Détection d'objets avec VoteNet [Qi et al, 2020]

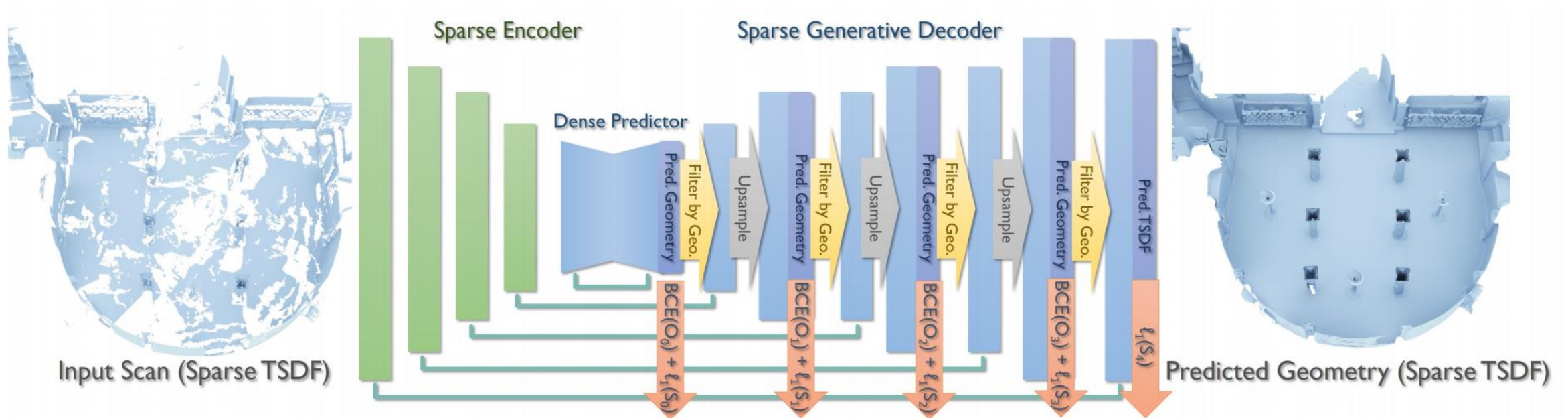




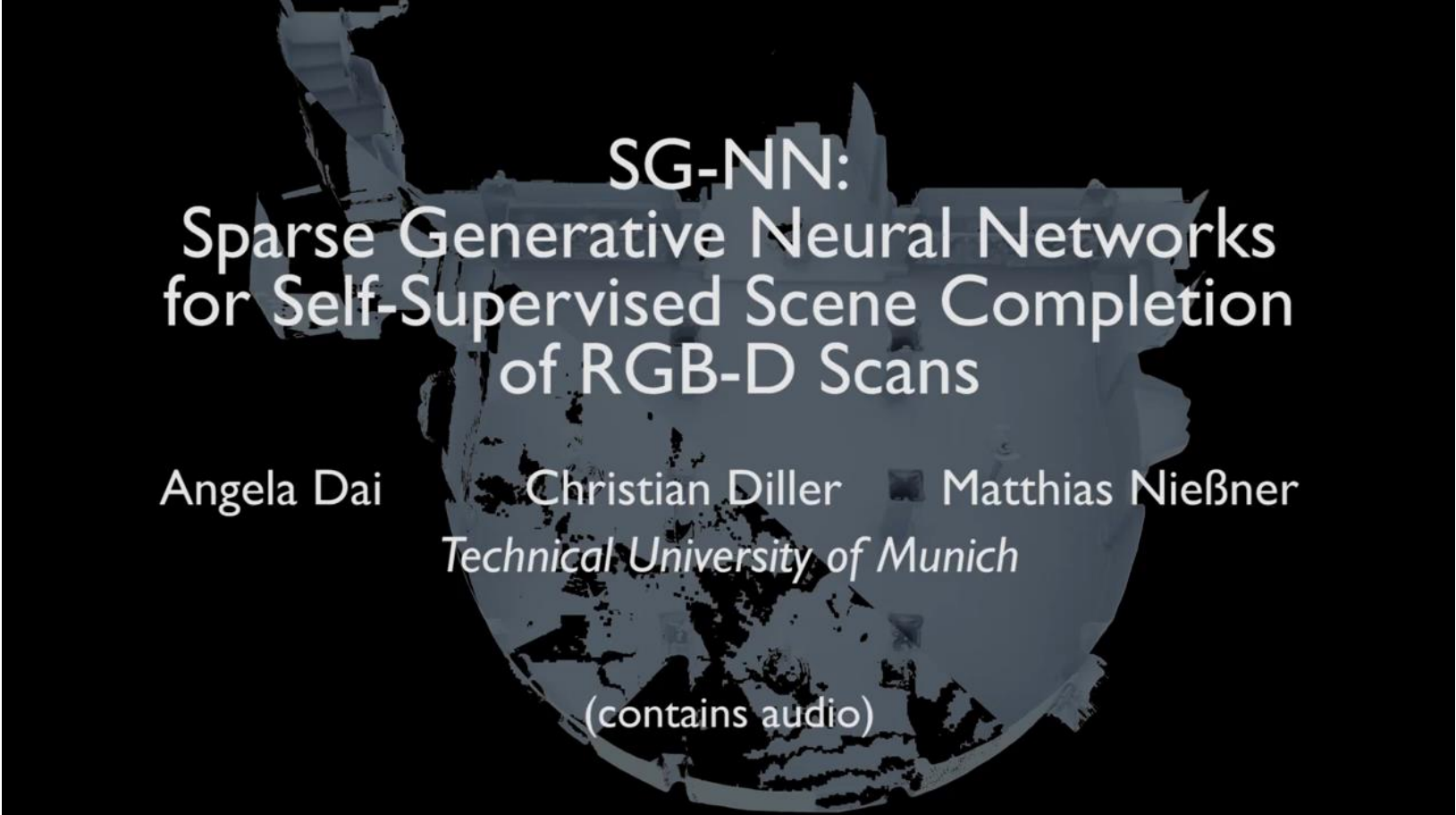
# Reconstruction avec SG-NN [Dai et al, 2020]



# Reconstruction avec SG-NN [Dai et al, 2020]



# Reconstruction avec SG-NN [Dai et al, 2020]



## SG-NN: Sparse Generative Neural Networks for Self-Supervised Scene Completion of RGB-D Scans

Angela Dai

Christian Diller

Matthias Nießner

*Technical University of Munich*

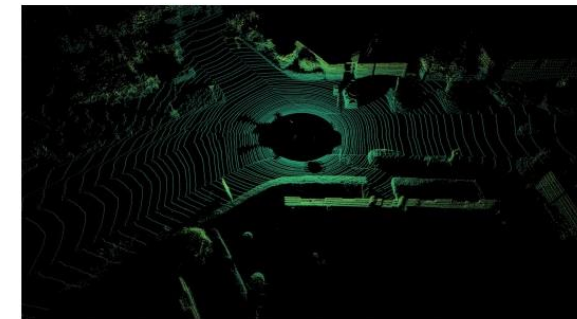
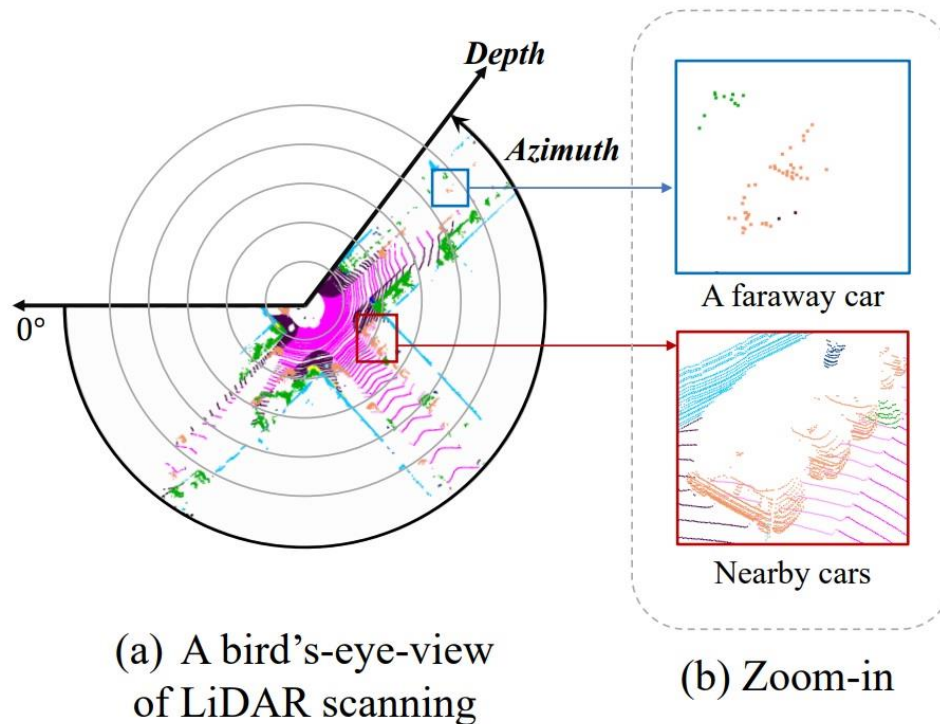
(contains audio)

# Plan du cours

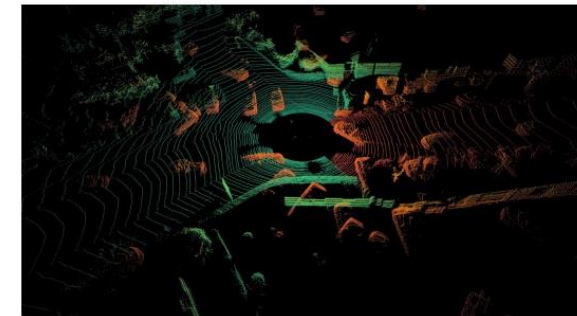
- I. Historique du Deep en 3D
- II. Trois architectures classiques en convolution de nuage de points
- III. Quelques applications du Deep en 3D :
  - I. Recalage de nuages avec FCGF
  - II. Segmentation sémantique avec KPConv
  - III. Détection d'objets avec DeepHough
  - IV. Reconstruction avec SG-NN
- IV. 3D Data augmentation & Optimisation

# 3D Data augmentation

- PolarMix: A General Data Augmentation Technique for LiDAR Point Clouds [Xiao et al, 2022]



(c) A sample LiDAR scan



(d) The scan in (c) after PolarMix



# Optimisation

- PointNeXt: Revisiting PointNet++ with Improved Training and Scaling Strategies [Qian et al, 2022]



# Plan du cours

- I. Historique du Deep en 3D
- II. Trois architectures classiques en convolution de nuage de points
- III. Quelques applications du Deep en 3D :
  - I. Recalage de nuages avec FCGF
  - II. Segmentation sémantique avec KPConv
  - III. Reconstruction avec SG-NN
  - IV. Détection d'objets avec DeepHough
- IV. 3D Data augmentation & Optimisation

# Références

[Aliev et al, 2020] : « Neural Point-Based Graphics »

[Boulch & Marlet, 2016] : « Deep Learning for Robust Normal Estimation in Unstructured Point Clouds »

[Boulch et al, 2018] : « SnapNet: 3D point cloud semantic labeling with 2D deep segmentation networks »

[Choy et al, 2019] : « Fully Convolutional Geometric Features »

[Dai et al, 2020] : « SG-NN: Sparse Generative Neural Networks for Self-Supervised Scene Completion of RGB-D Scans »

[Erlert et al, 2020] : « Points2Surf: Learning Implicit Surfaces from Point Cloud Patches »

[Graham et al, 2018] : « 3D Semantic Segmentation with Submanifold Sparse Convolutional Networks »

[Landrieu et Simonovsky, 2018] : « Large-scale Point Cloud Semantic Segmentation with Superpoint Graphs »

[Li et al, 2020] : « Supervised Fitting of Geometric Primitives to 3D Point Clouds »

[Liu et al, 2015] : « Sparse Convolutional Neural Networks »

[Maturana et Scherer, 2015] : « VoxNet: A 3D Convolutional Neural Network for Real-Time Object Recognition »

[Milioto et al, 2019] : « RangeNet++: Fast and Accurate LiDAR Semantic Segmentation »

[Mittal et al, 2020] : « Just Go with the Flow: Self-Supervised Scene Flow Estimation »

[Qi et al, 2017a] : « PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation »

[Qi et al, 2017b] : « PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space »

[Qi et al, 2019] : « Deep Hough Voting for 3D Object Detection in Point Clouds »

[Roynard et al, 2018] : « Classification of Point Cloud Scenes with Multiscale Voxel Deep Network »

[Su et al, 2015] : « Multi-view Convolutional Neural Networks for 3D Shape Recognition »

[Tang et al, 2020] : « Searching Efficient 3D Architectures with Sparse Point-Voxel Convolution »

[Thomas et al, 2018] : « Semantic Classification of 3D Point Clouds with Multiscale Spherical Neighborhoods »

[Thomas et al, 2019] : « KPConv: Flexible and Deformable Convolution for Point Clouds »

[Wang et al, 2019] : « Dynamic Graph CNN for Learning on Point Clouds »