



CFMR
COMITÉ FRANÇAIS
DE MÉCANIQUE
DES ROCHES

Paris, le 14 novembre 2019

Densité de fracturation à partir de nuages denses 3D

Philippe CAUDAL

Sous la direction de :

Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF (Le Cnam – Laboratoire G&F)

Elisabeth SIMONETTO (Le Cnam – Laboratoire G&F)

Thomas DEWEZ (BRGM – DRP/RIG)

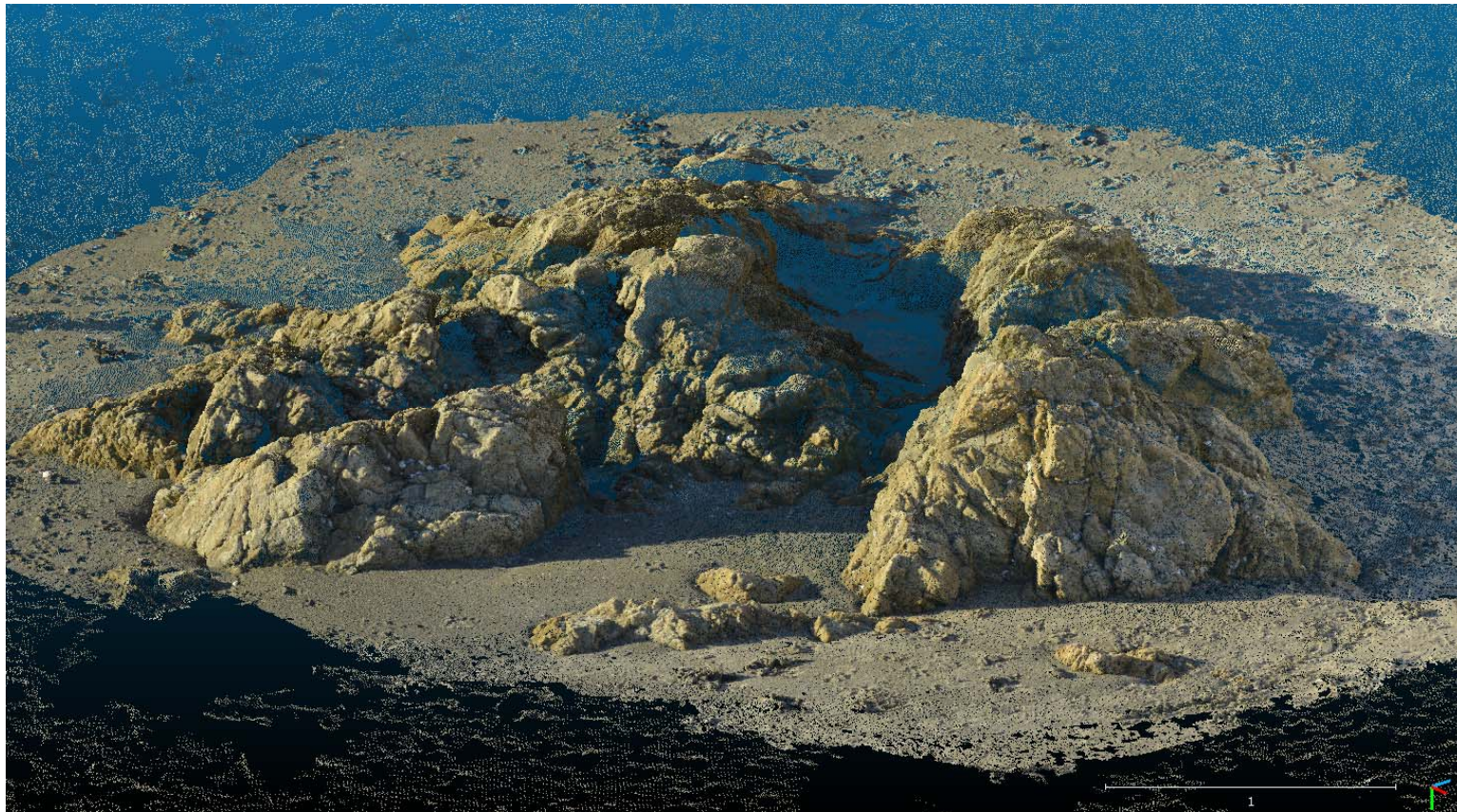


Plan

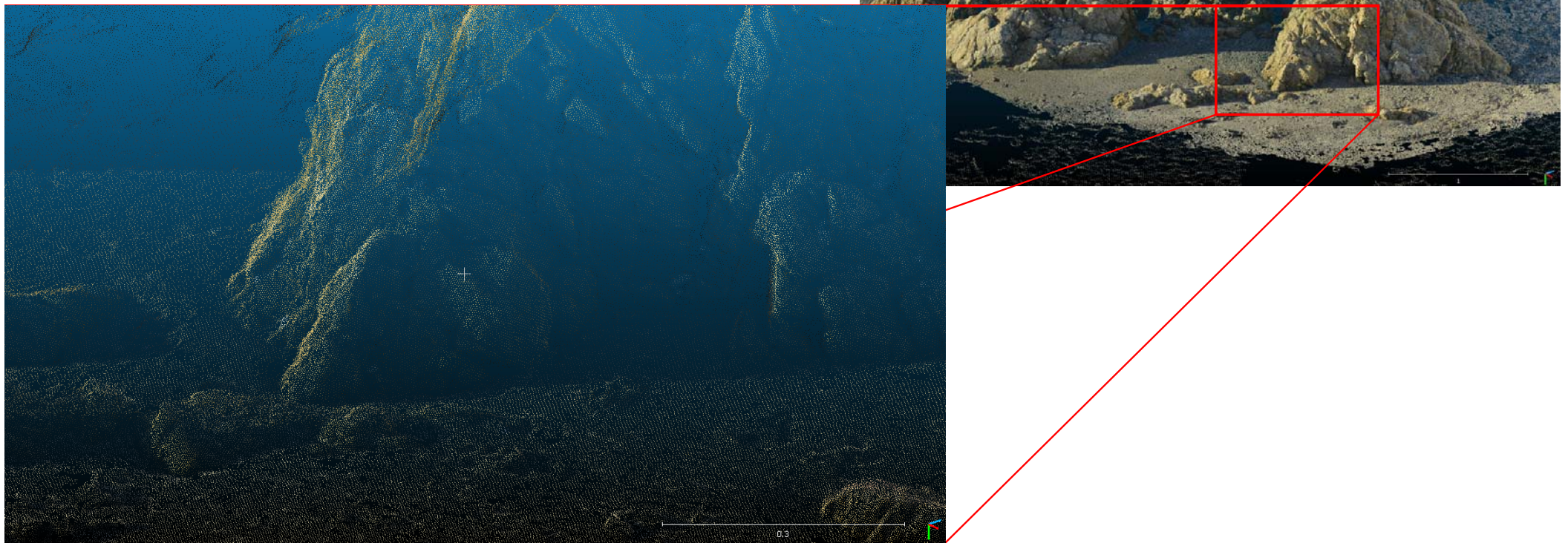
- Introduction à l'imagerie 3D
- Analyse structurale d'un affleurement inaccessible
- Segmentation d'un nuage de points par famille de discontinuités
- Principe de classification des discontinuités et de la mesure des espacements
- Détection et analyse des couloirs de fracturation de la falaise de Saulges, avec DiscontinuityLab
- Conclusion

Introduction à l'imagerie 3D

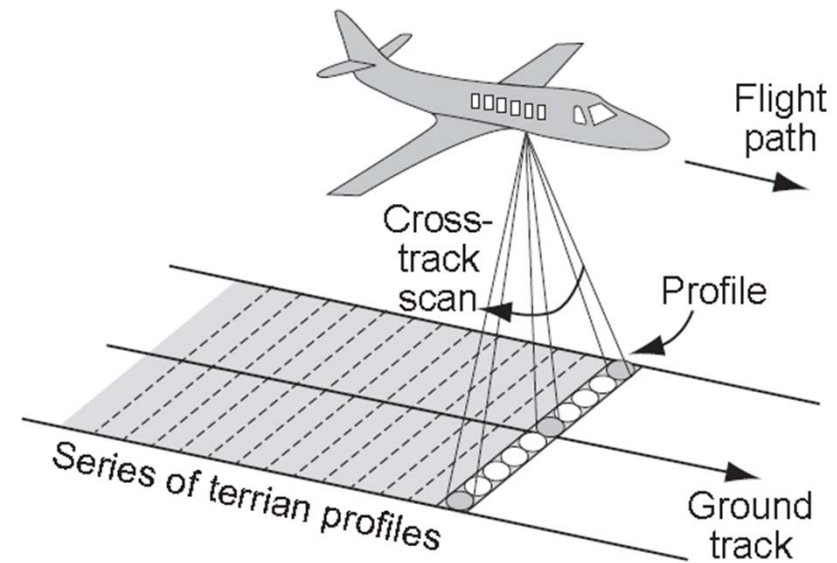
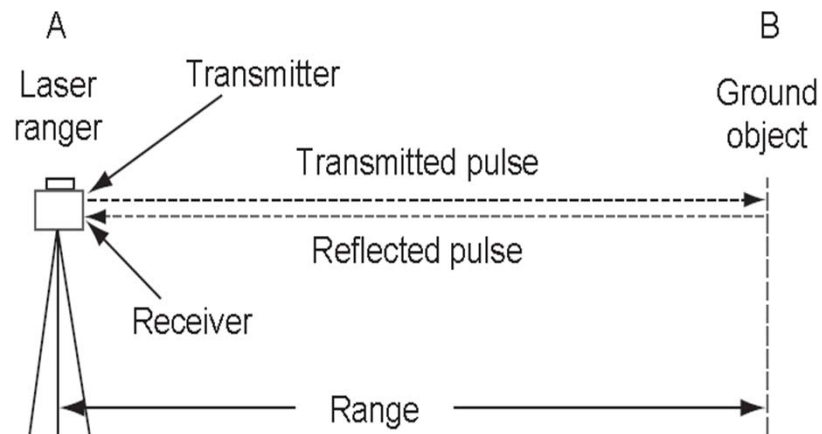
Nuage de points



Nuage de points

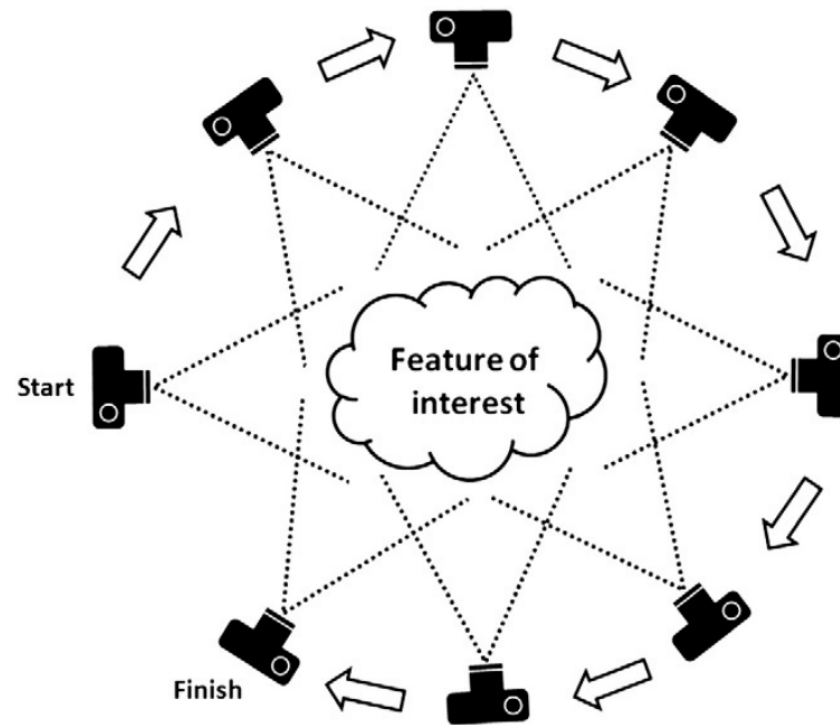


Principe du LiDAR terrestre et aérien (Light Detection and Ranging)



Figures extraites de Gordon and Charles (2008)

Photogrammétrie (méthode SfM : Structure from Motion)



Extrait de Westoby et al. (2012)

Détection des points d'intérêt (Lowe, 1999, 2004)

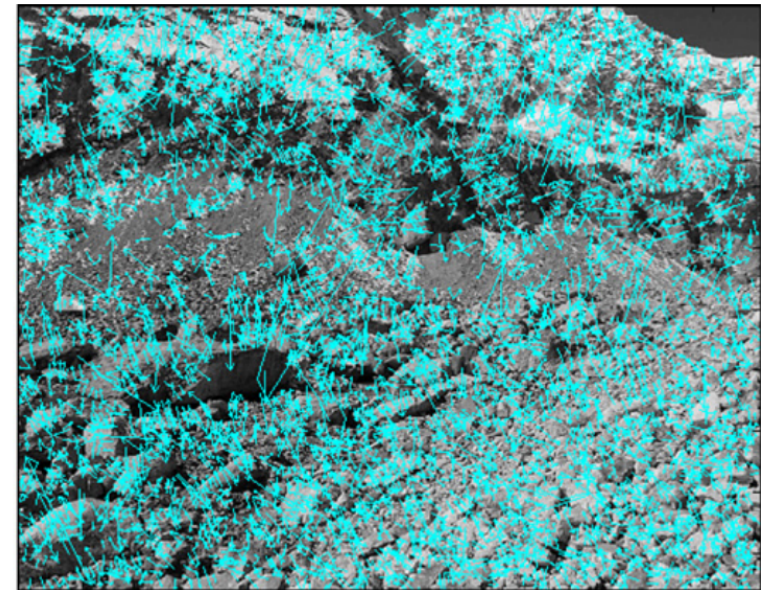
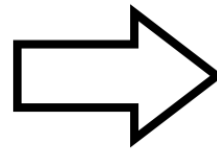


Image Extraite de Westoby et al. (2012)

Positionnement des points images dans l'espace (Snavely 2008a, 2008b)

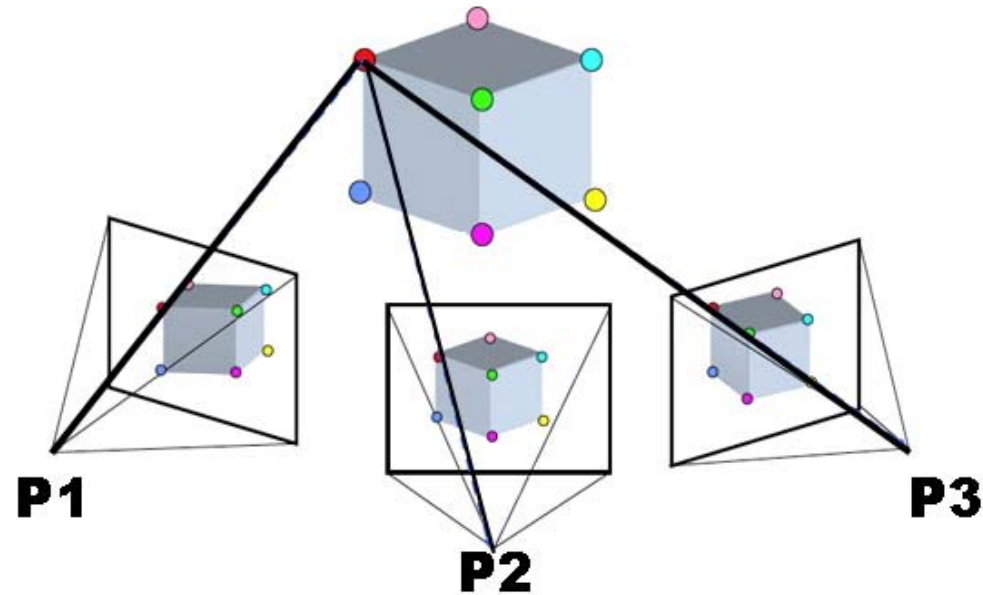
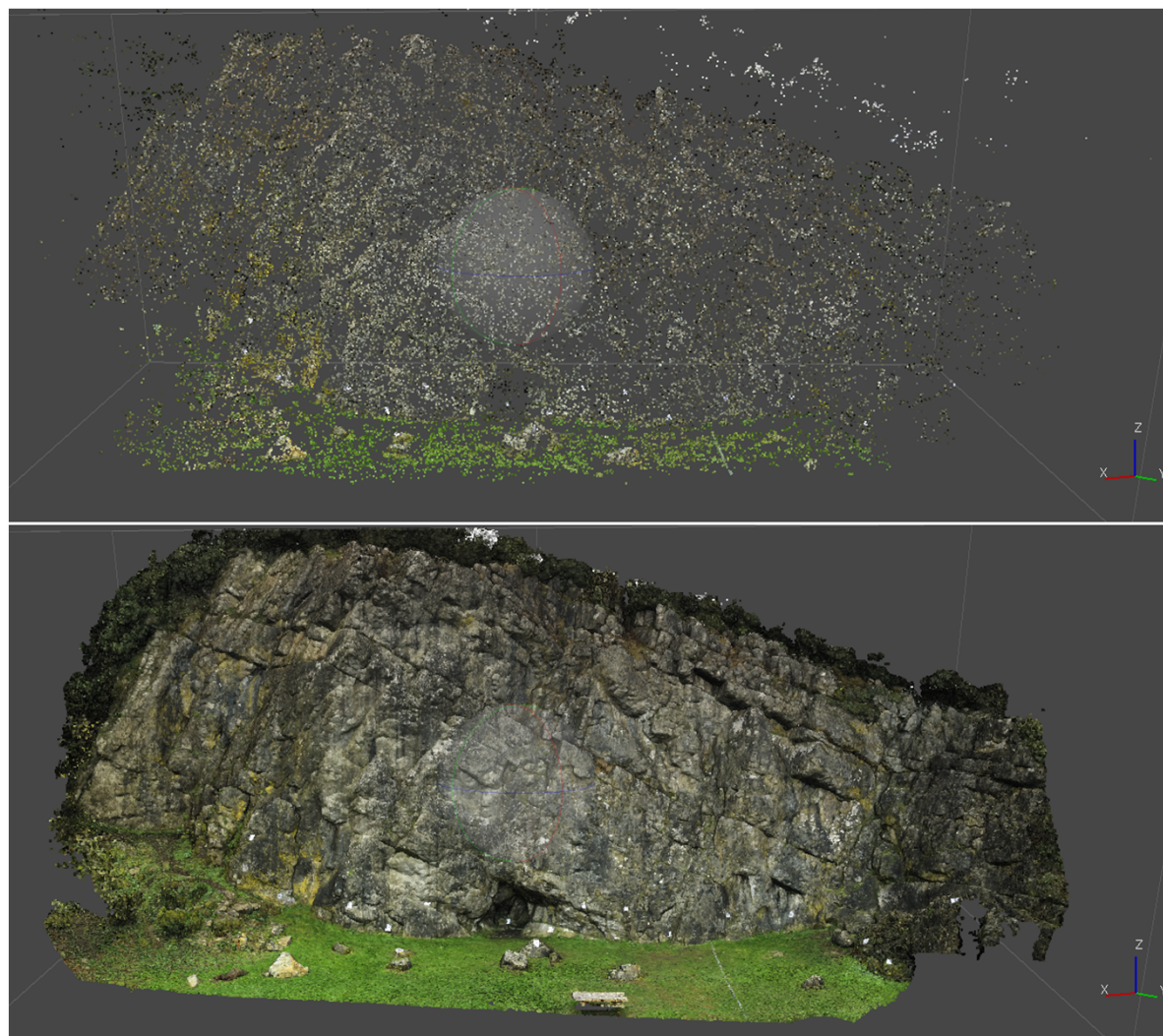


Image de Wikipedia, page SfM

Densification du nuage de points

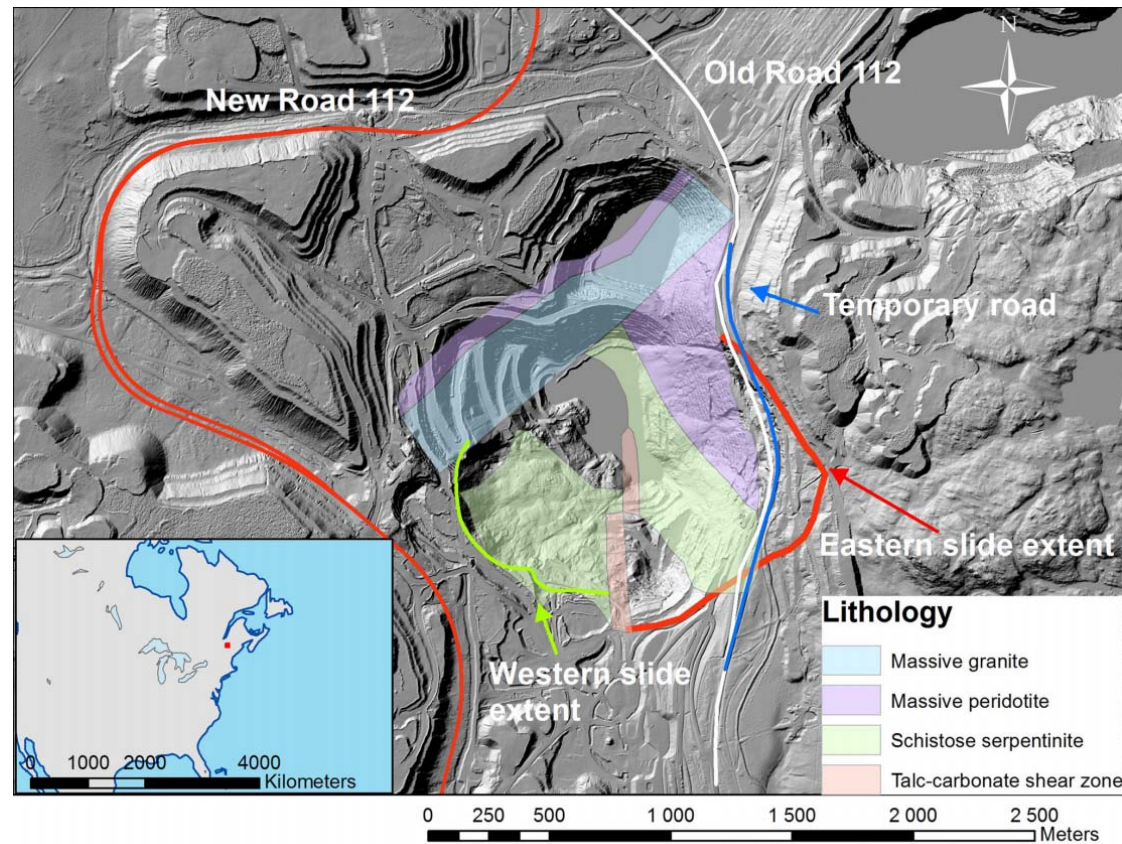


Géoréférencement



Analyse structurale d'un affleurement inaccessible

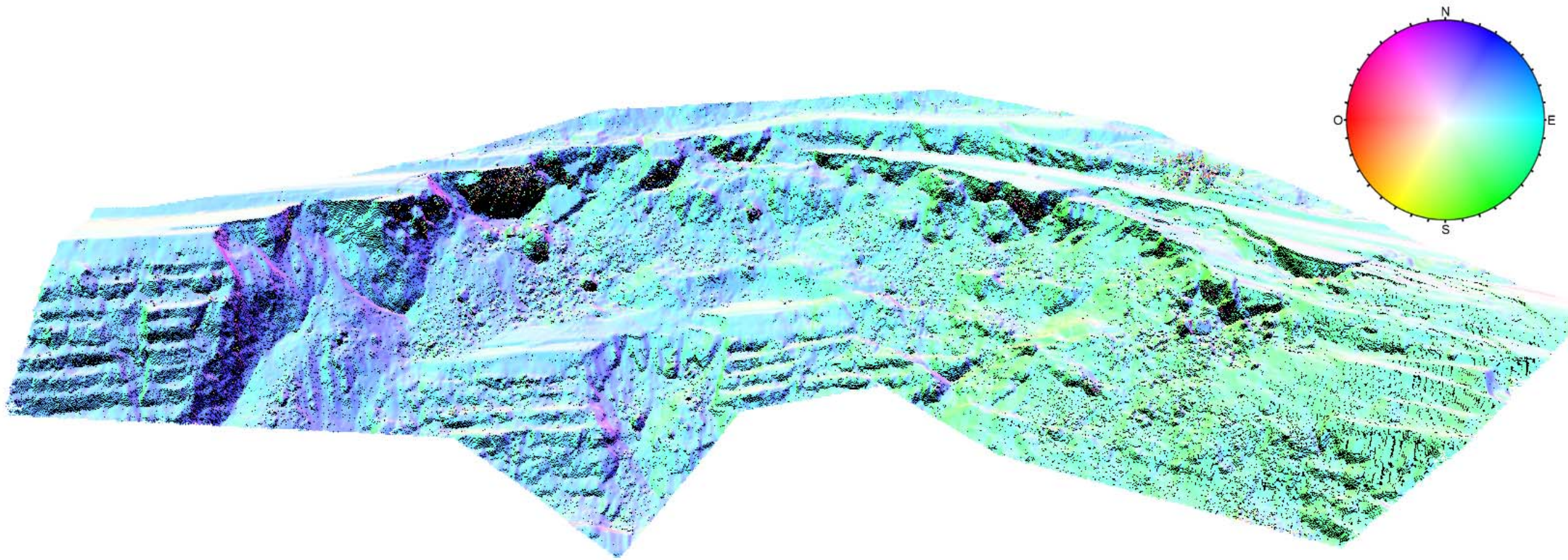
LiDAR Aérien et terrestre



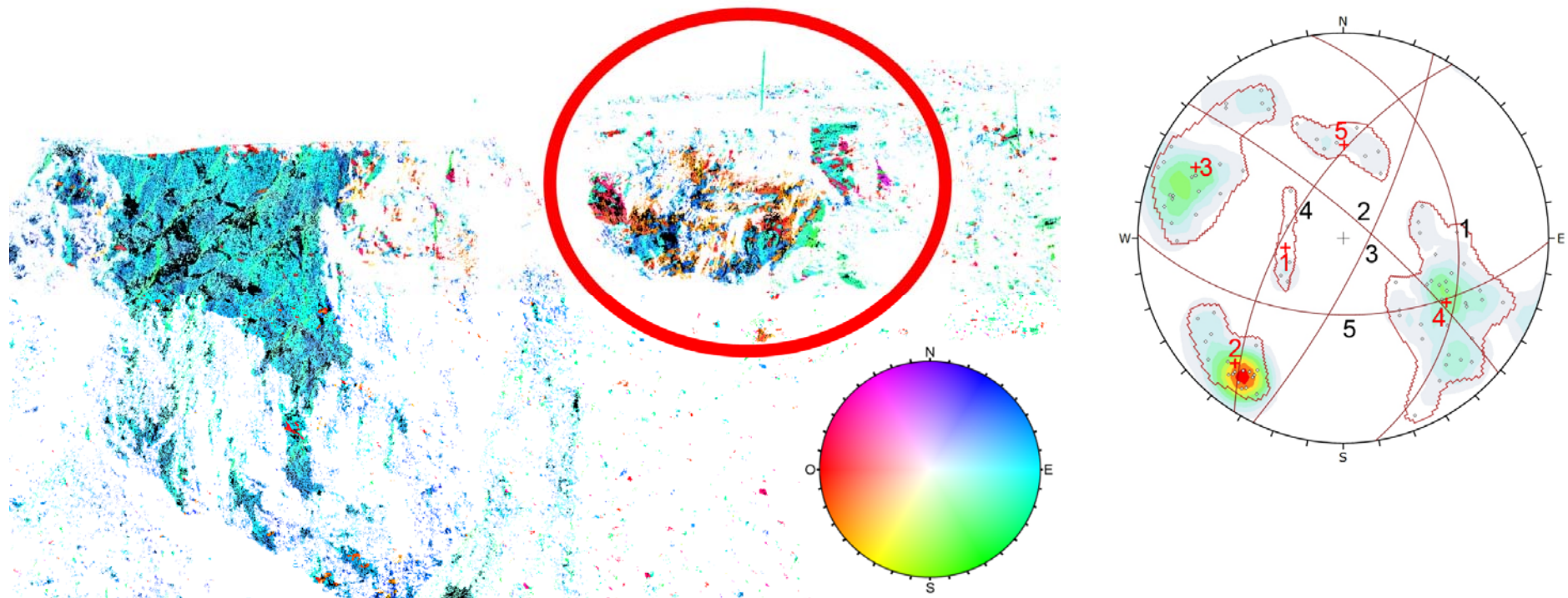
Mine LAB Chrysotile (Québec)



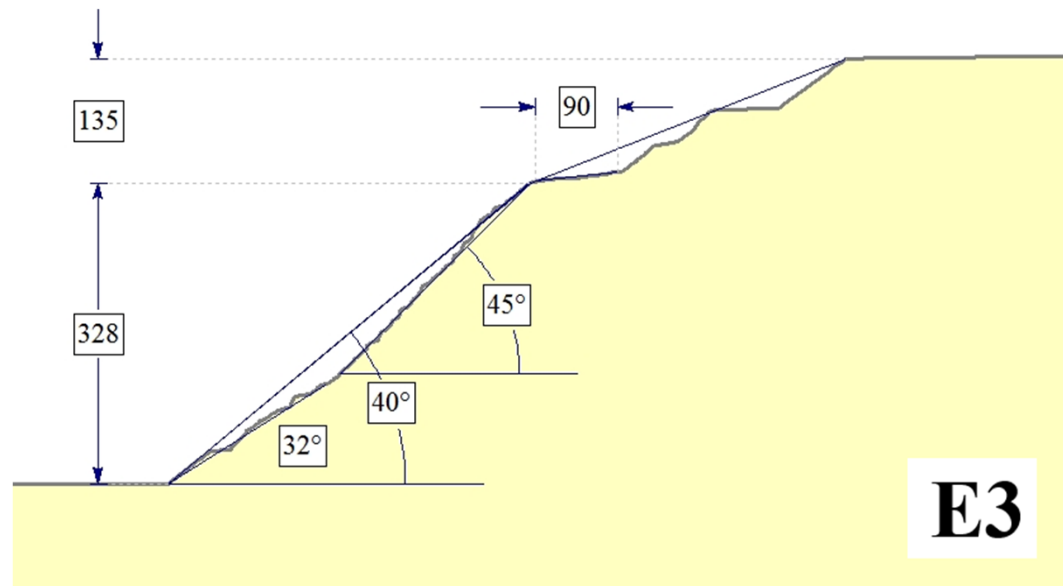
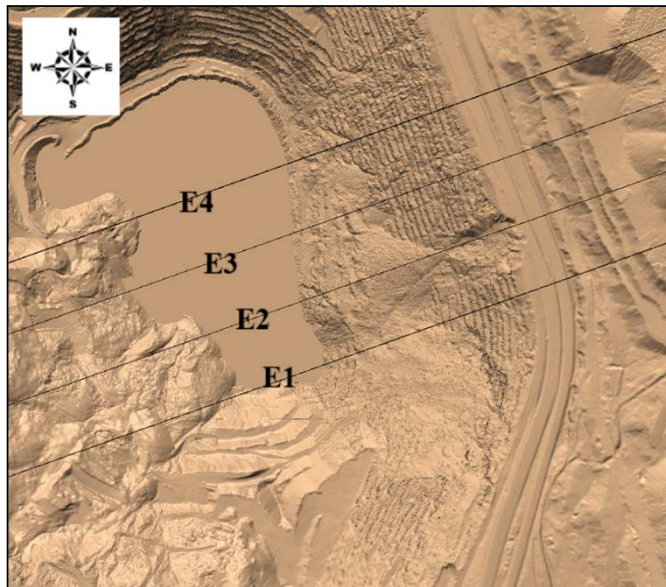
Orientation des pentes : Coltop3D (Jaboyedoff et al., 2007)



Orientation des pentes : Coltop3D (Jaboyedoff et al., 2007)

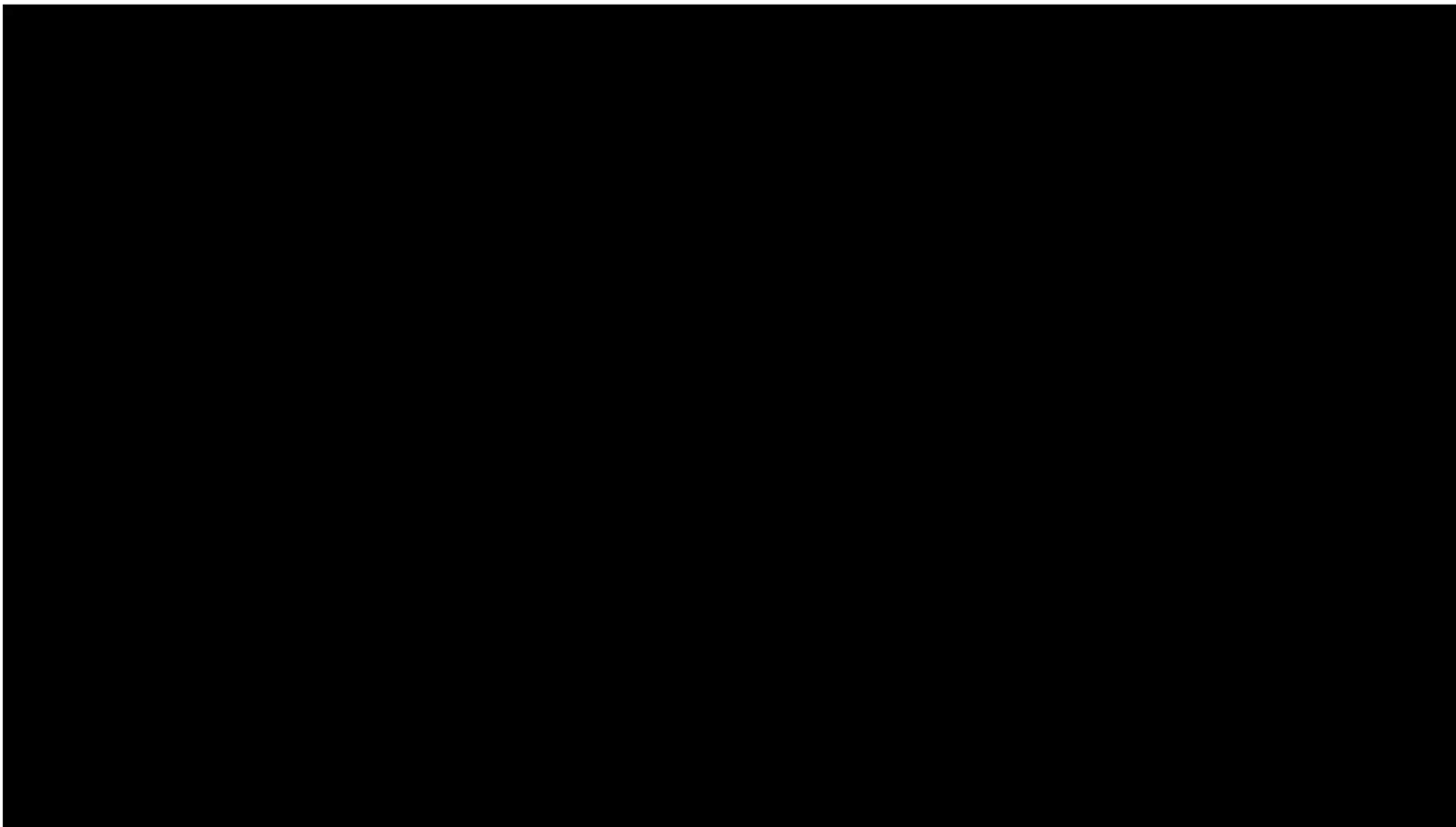


Profils 2D : Mesures

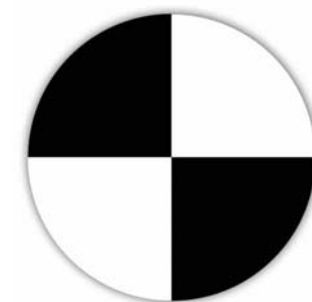
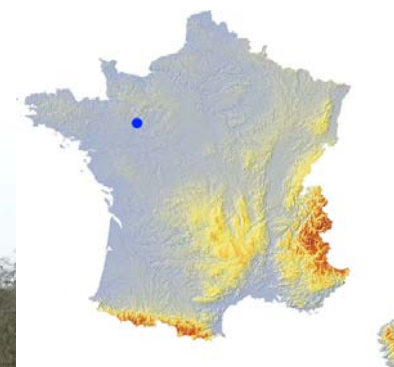


Segmentation d'un nuage de points par famille de discontinuités

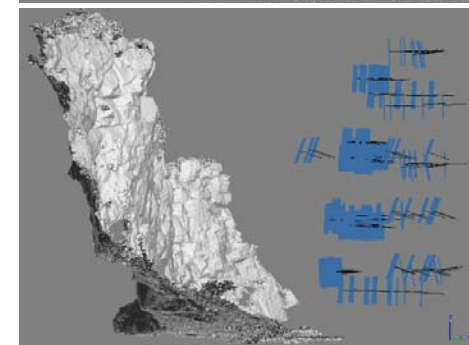
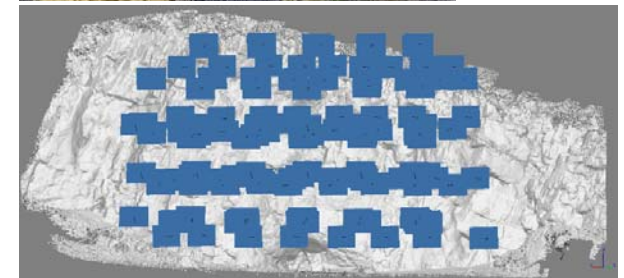
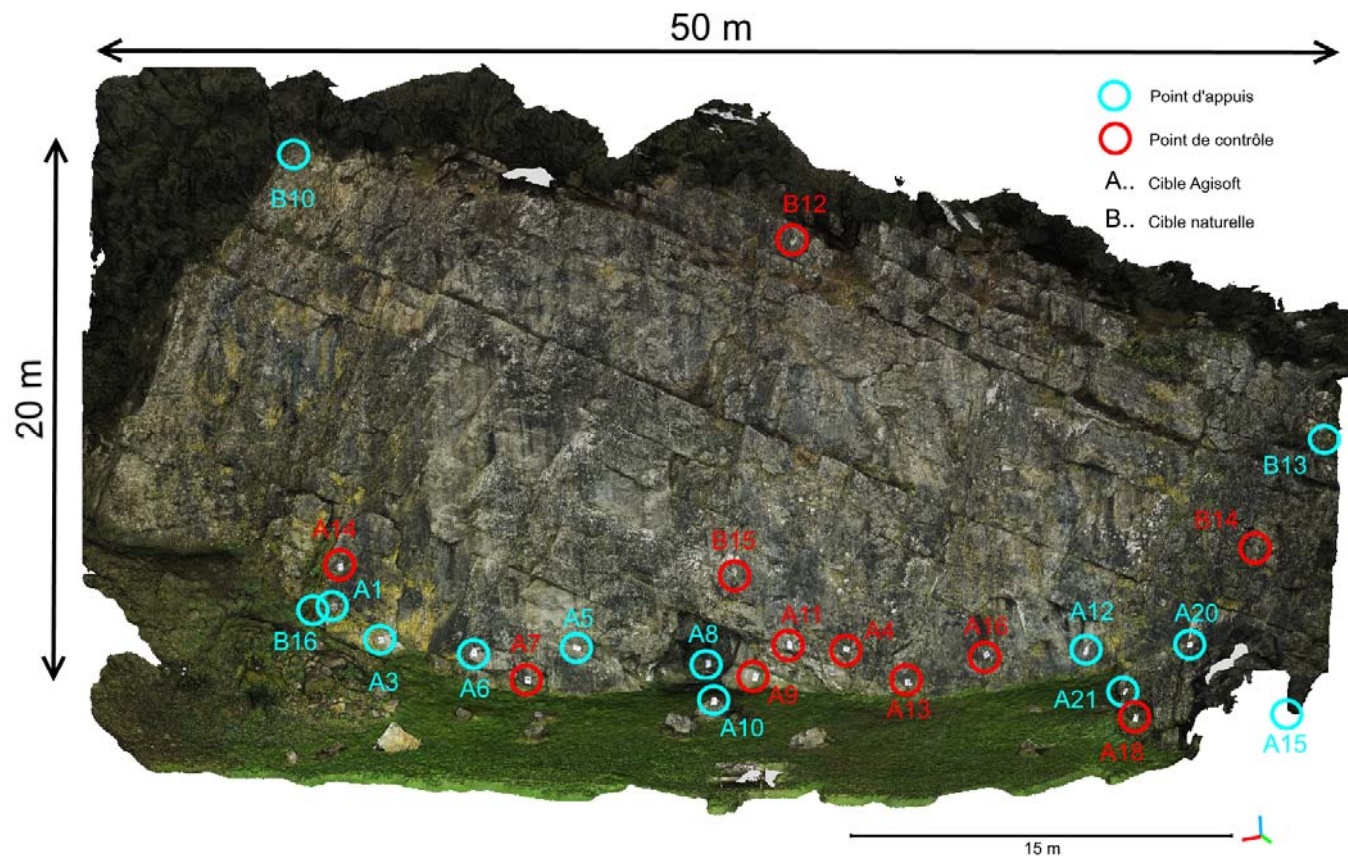
Falaise de Saulges (53)



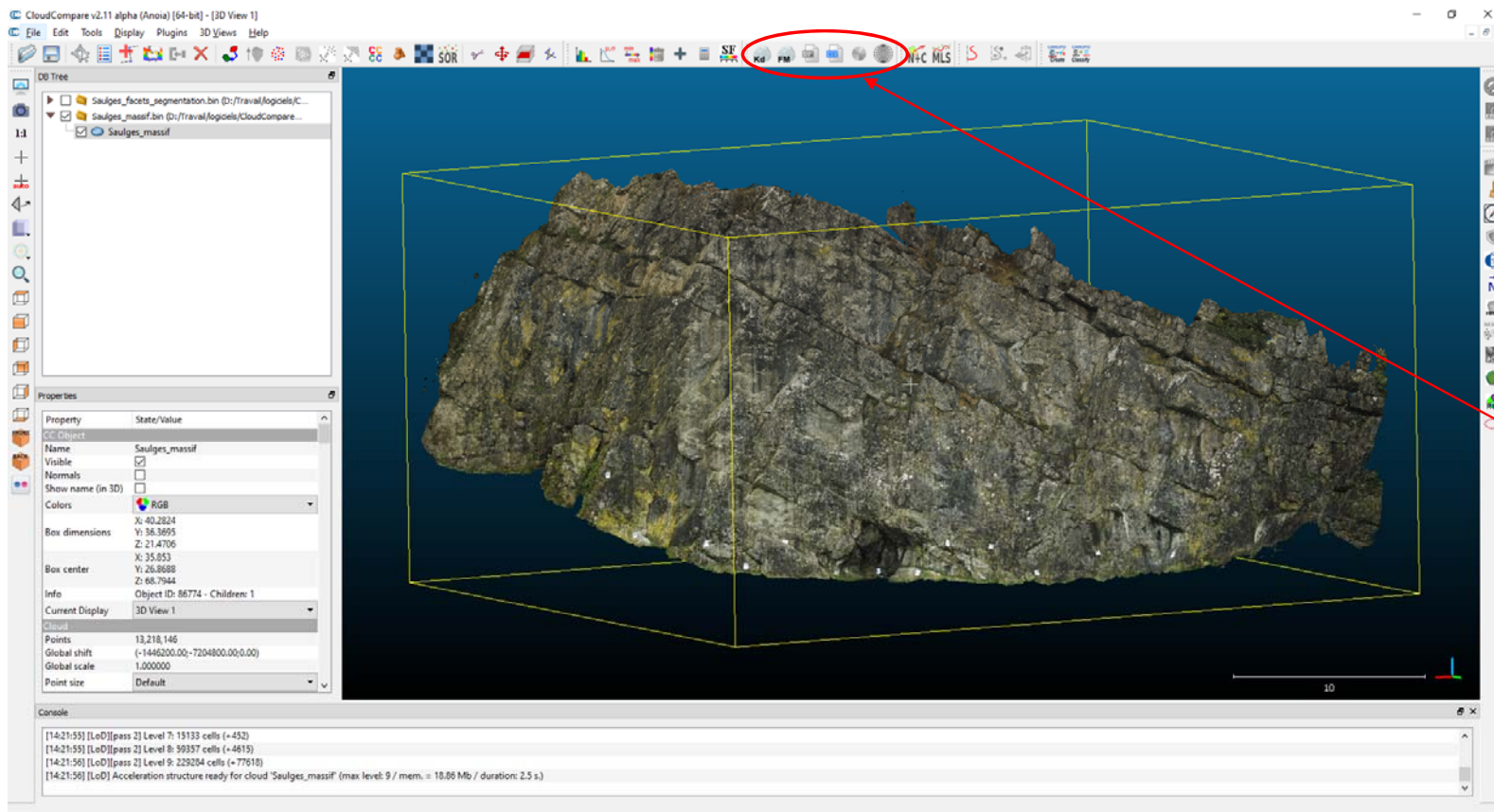
Falaise de Saulges (53) avec cibles



Nuage 3D obtenu avec capture de 136 images par drone Anafi (Parrot)



Logiciel CloudCompare et son plugin FACETS

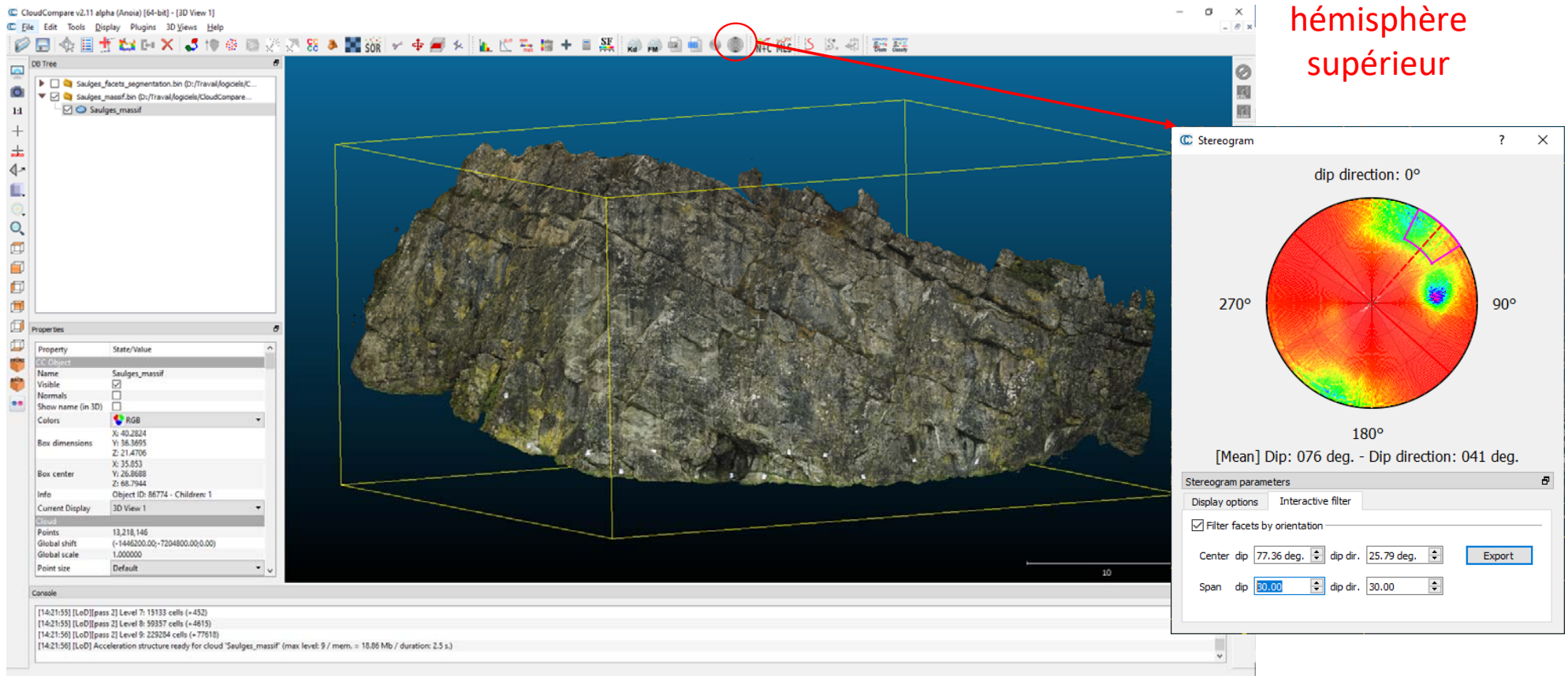


CloudCompare :
Girardeau (2014)

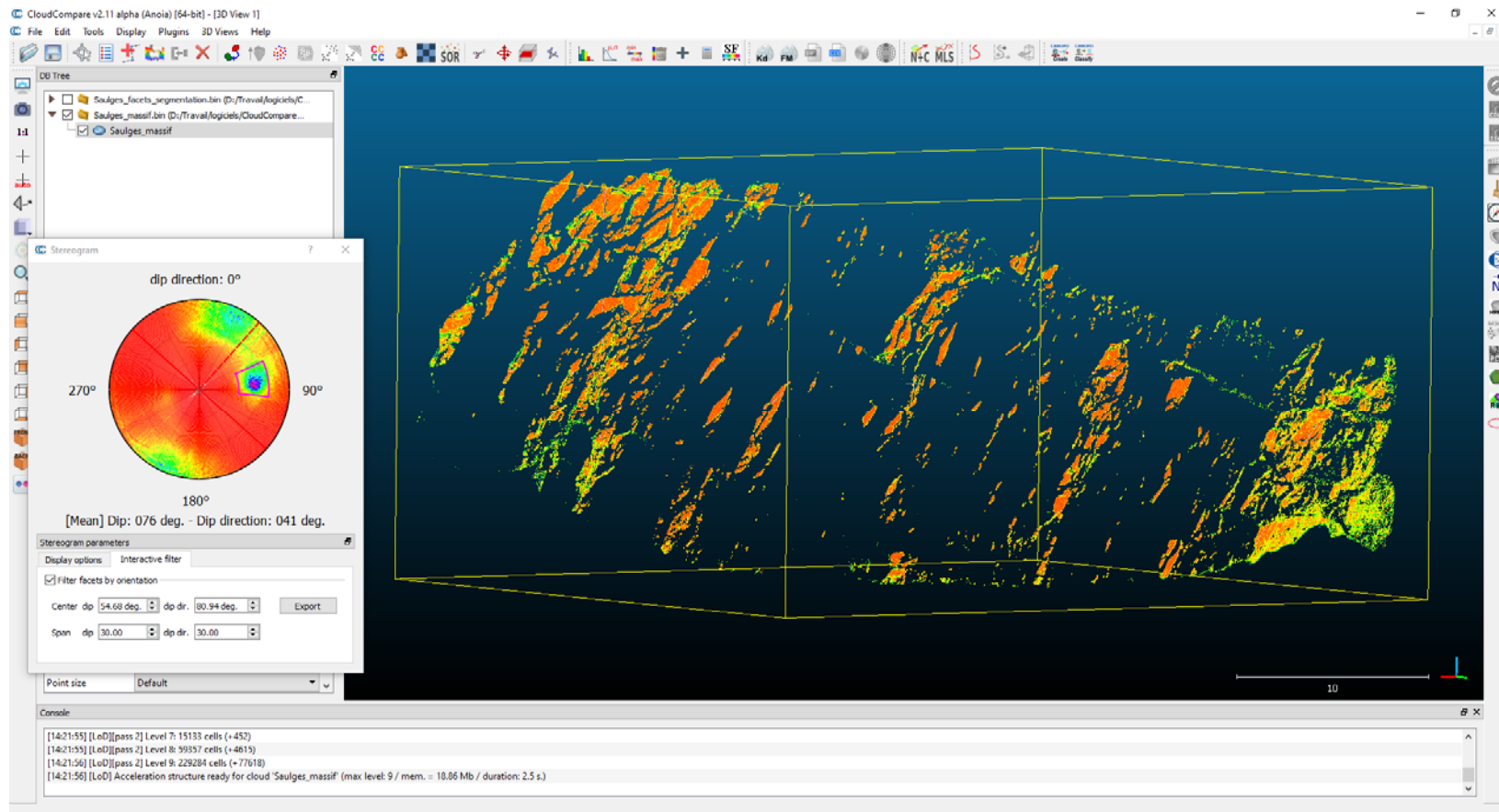
Plugin FACETS :
Dewez et al. (2016)

Stereonet interactif de FACETS

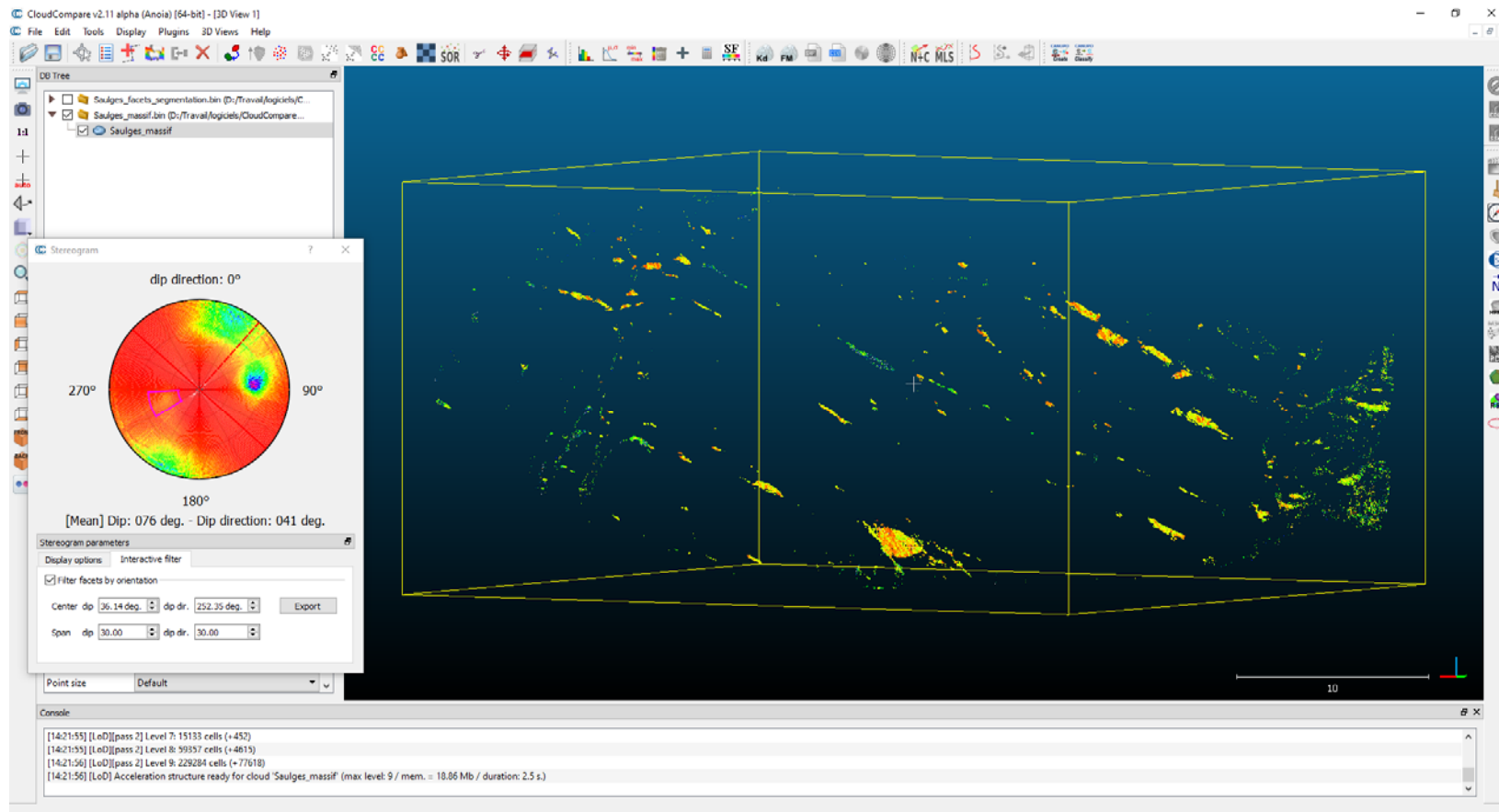
Stereonet
hémisphère
supérieur



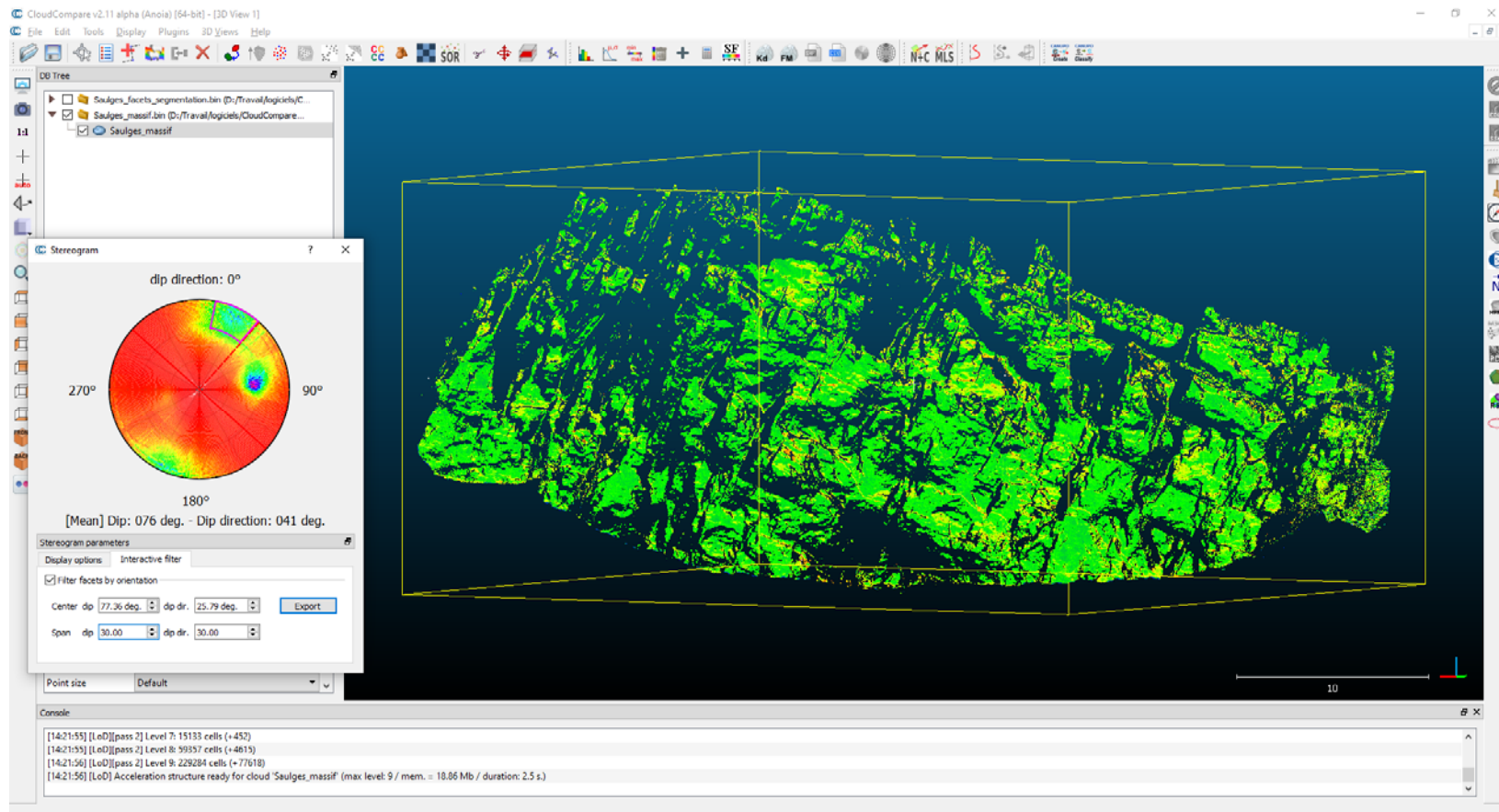
Segmentation du massif par famille de discontinuités



Segmentation du massif par famille de discontinuités

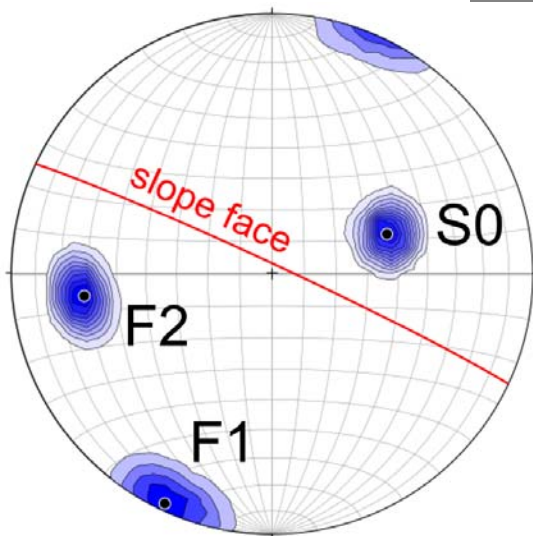


Segmentation du massif par famille de discontinuités

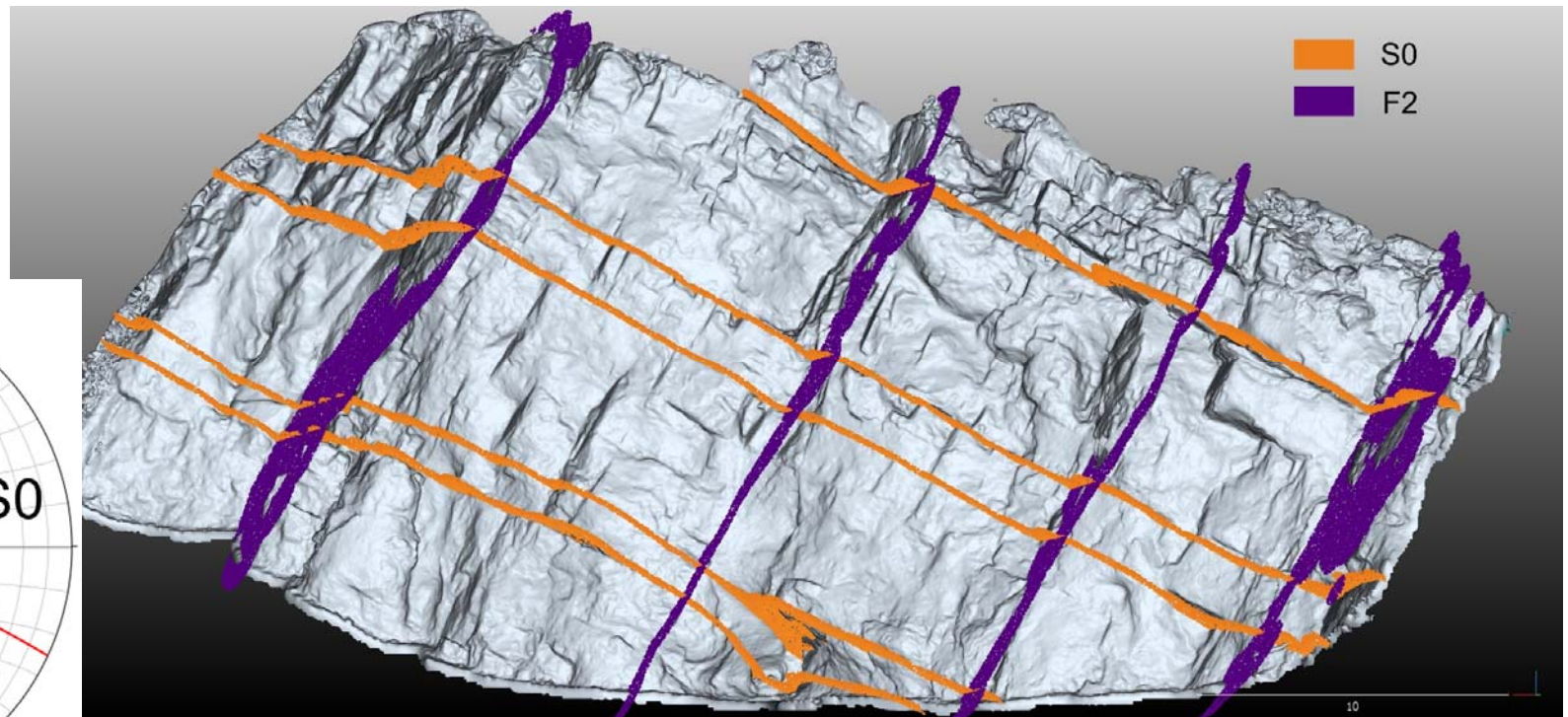


3 Familles

Stereonet
hémisphère
inférieur

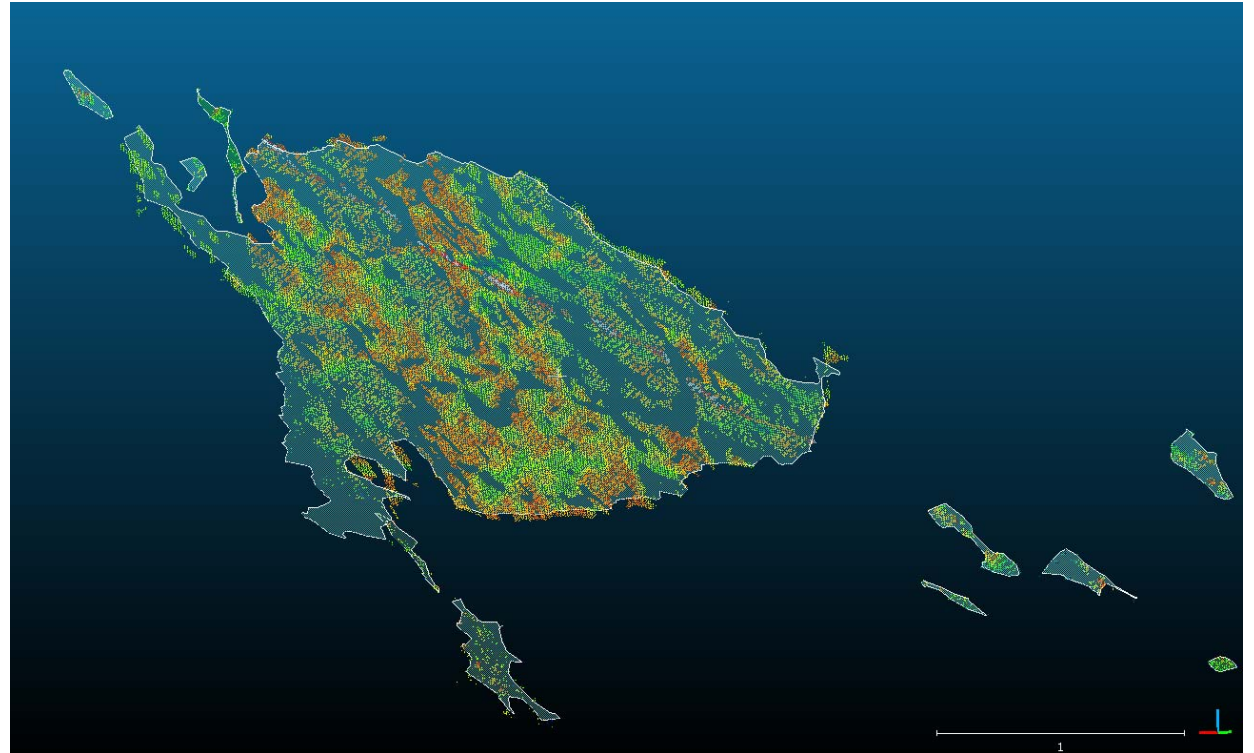


Logiciel Stereonet



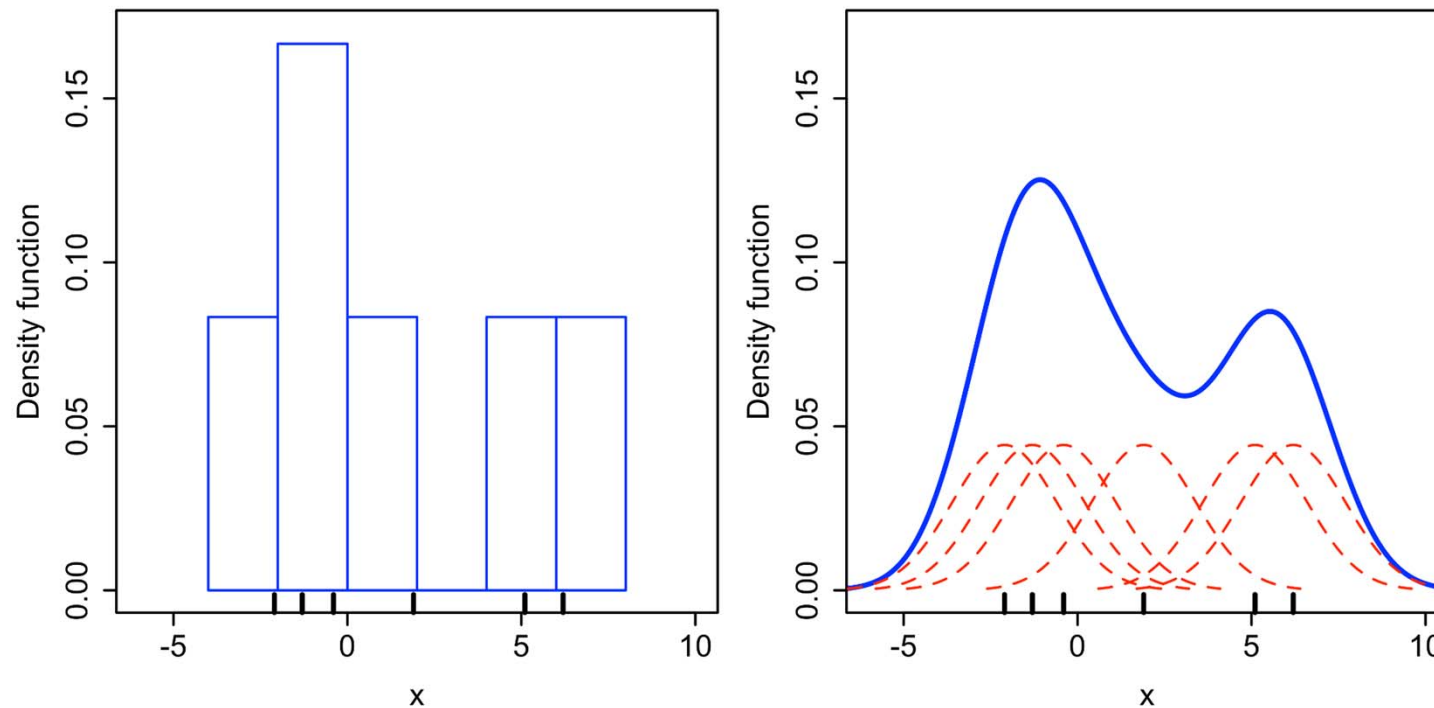
Export d'un fichier CSV par famille segmentée

- Position du centre (X, Y, Z)
- Surface
- Normale du plan ajusté
- Dip/Dip Direction
- ...



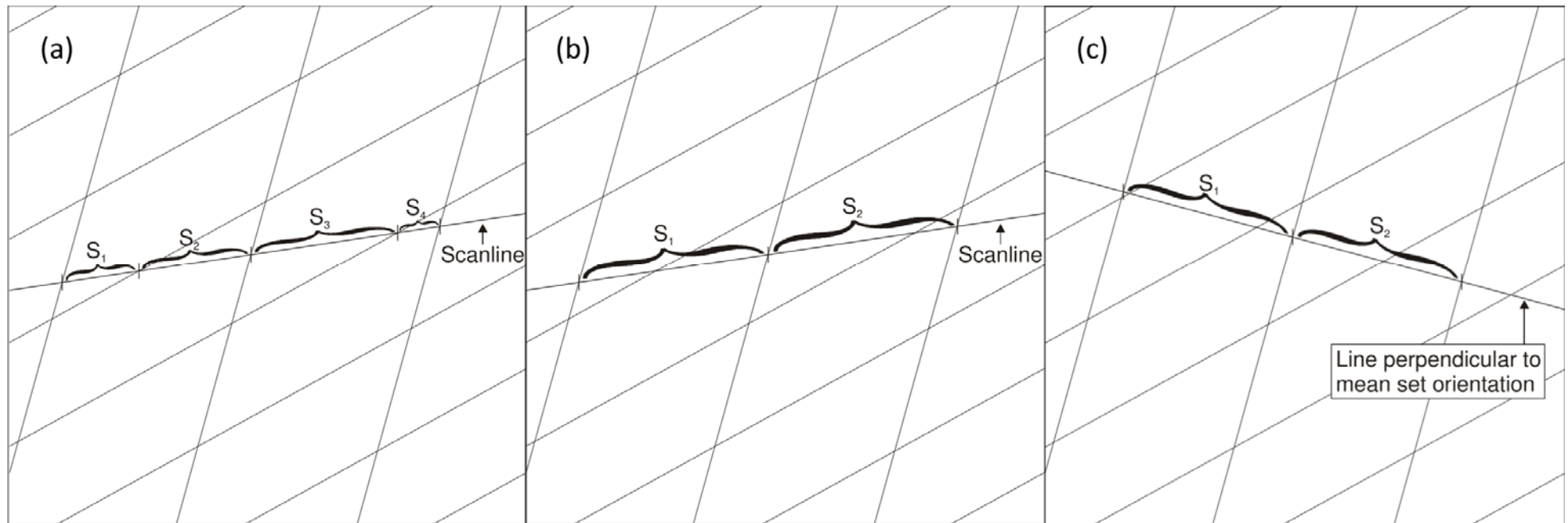
Principes pour la classification des discontinuités et la mesure des espacements

KDE (Kernel Density Estimation) (Silverman, 1986)



By Drleft at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=57332968>

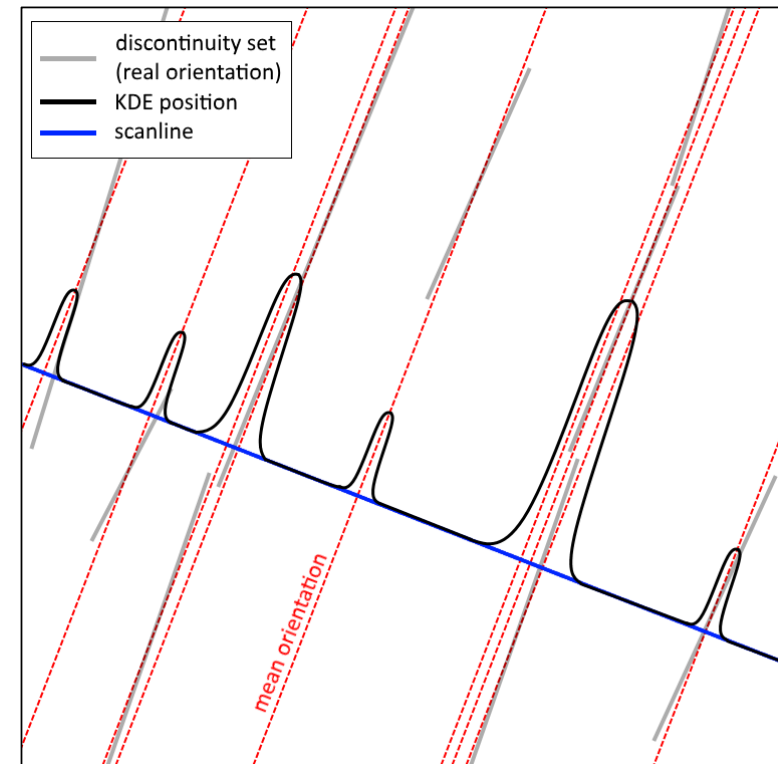
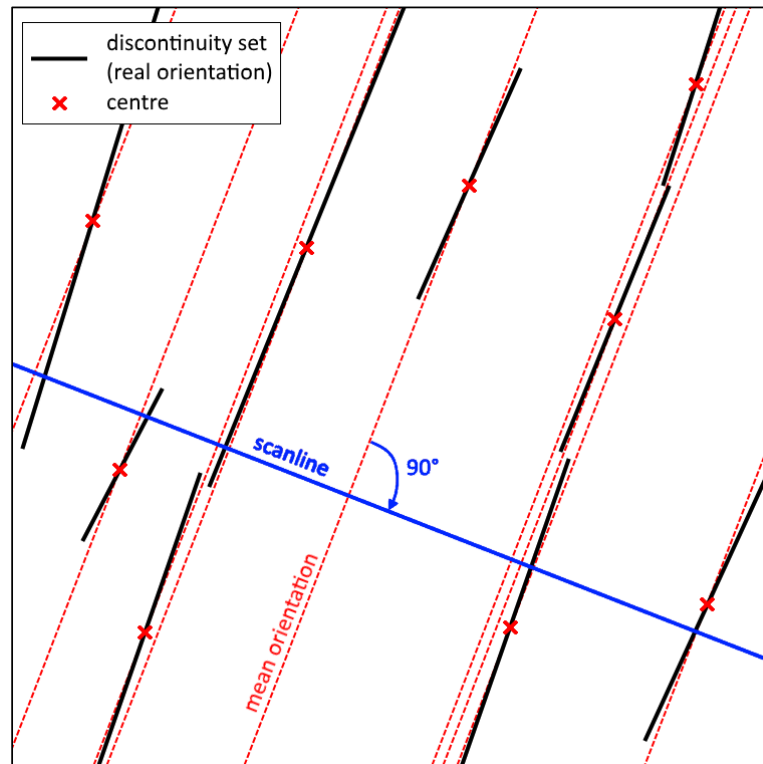
Mesure des espacements (Slob, 2010)



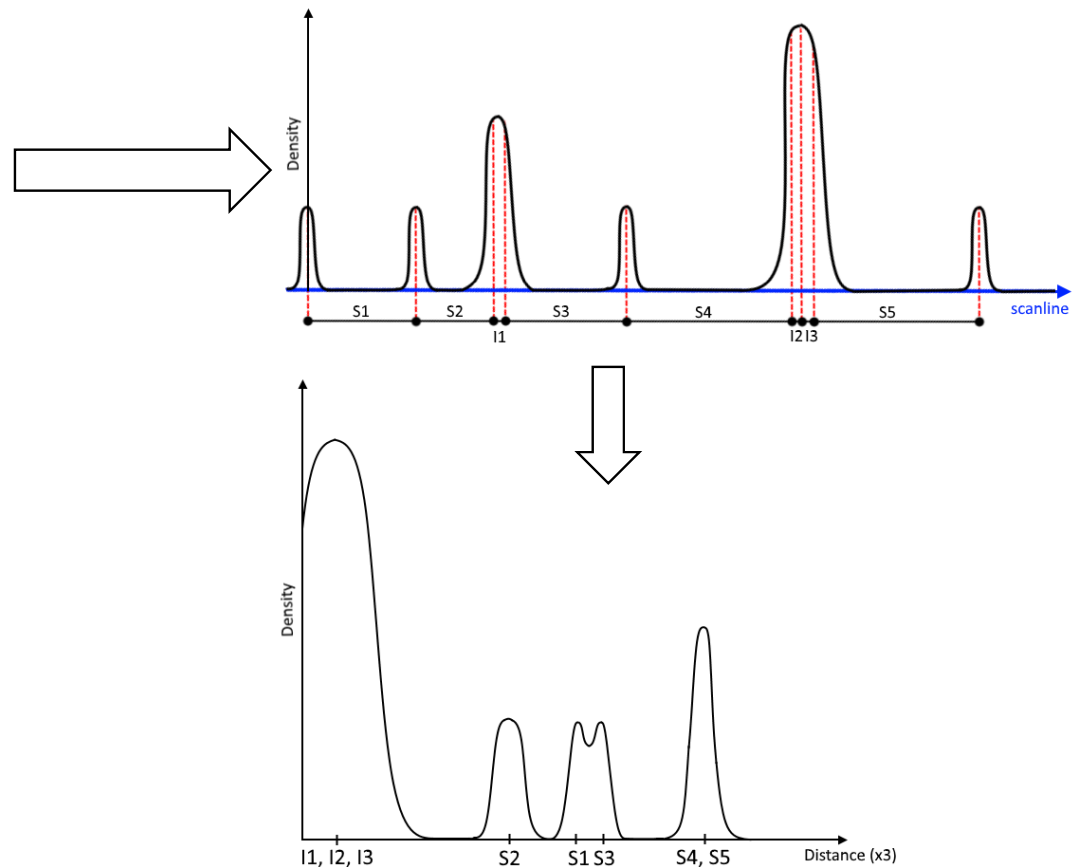
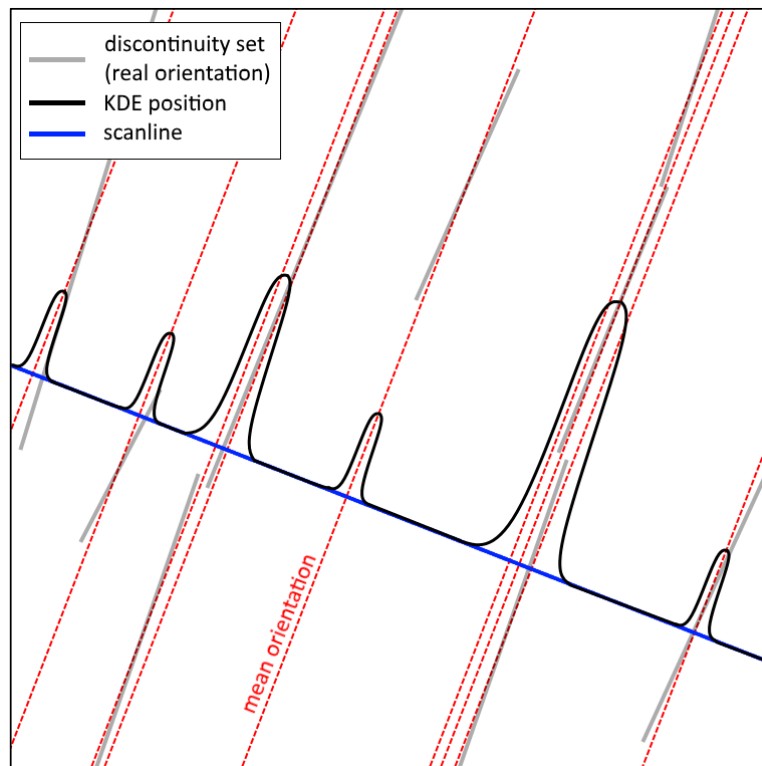
Trois méthodes de mesure de l'espacement :

(a) espacement total, (b) espacement par famille, (c) espacement normal par famille. (extrait de Slob, 2010)

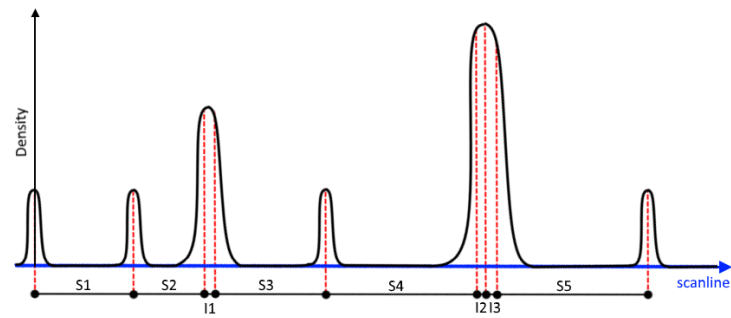
Densité de position avec KDE (Kernel Density Estimation) (Silverman, 1986)



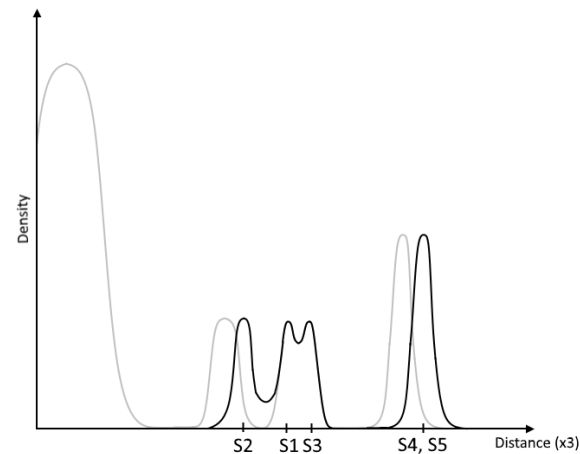
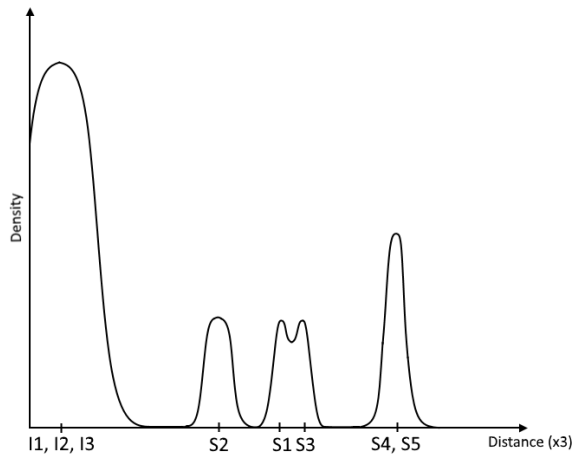
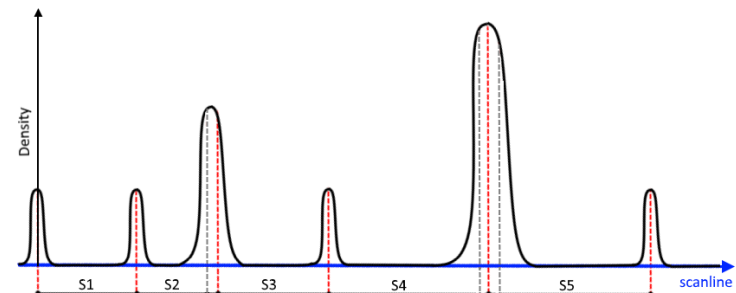
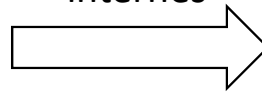
Densité des espacements avec KDE



Classification des discontinuités pour la mesure des espacements

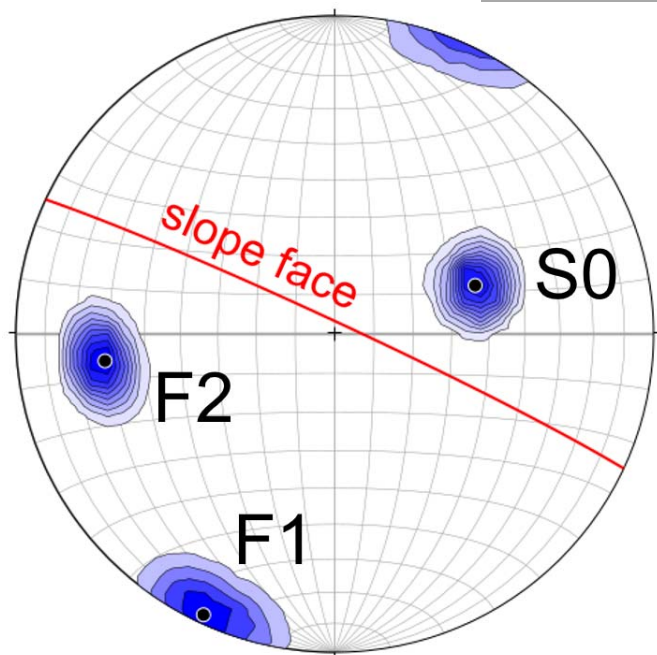


Filtrage des
Espacements
internes

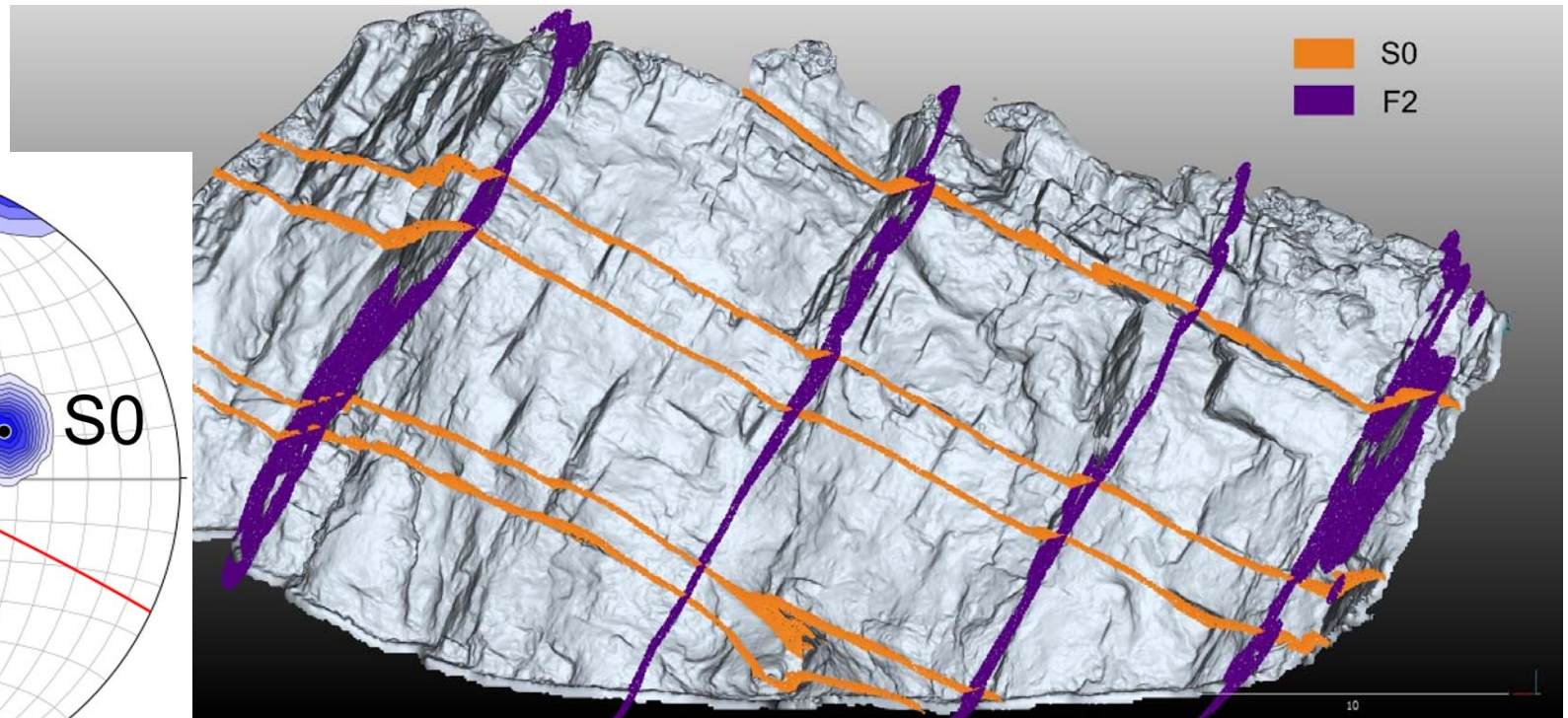


Détection et analyse des couloirs de fracturation de la falaise de Saulges, avec DiscontinuityLab

Saulges et ses 3 familles de discontinuités



Logiciel Stereonet

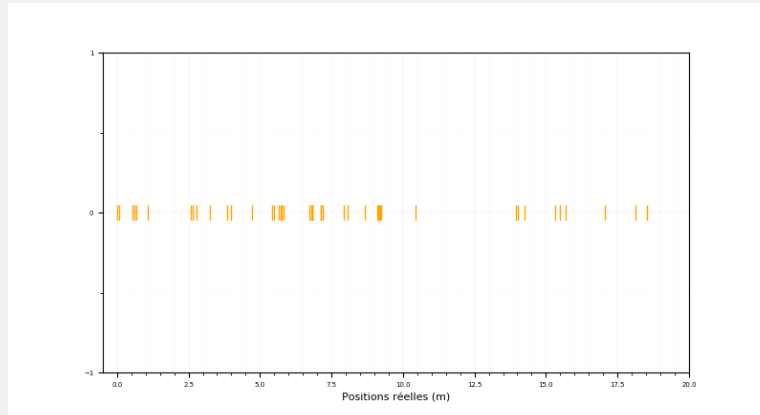


DiscontinuityLab : analyse de S0

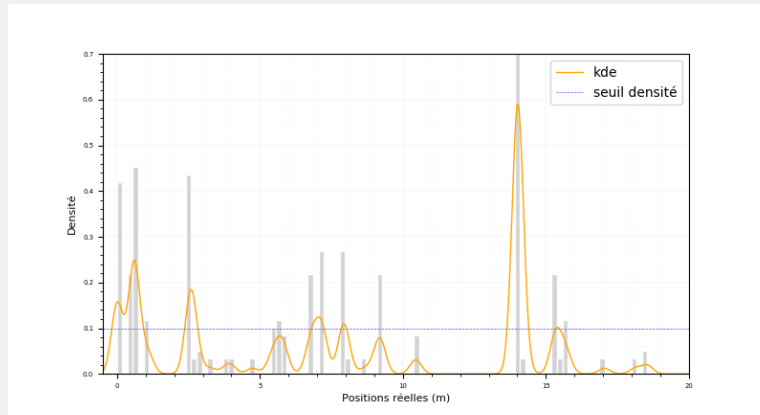
DiscontinuityApp - D:/Travail/logiciels/DiscontinuityLab/Saulges/facets/S0/S0.h5

Fichiers Edit ?

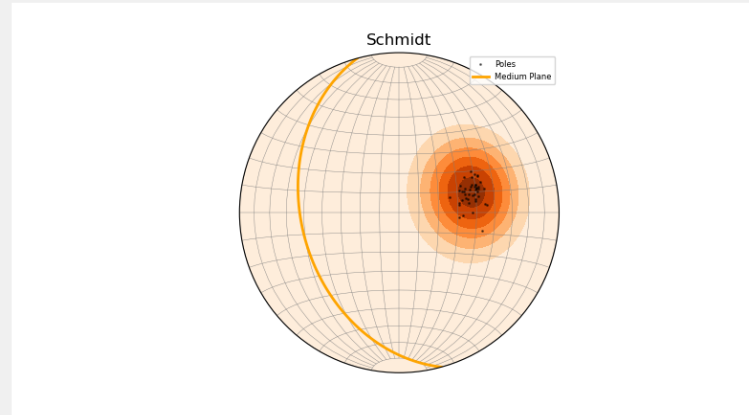
ScanLine



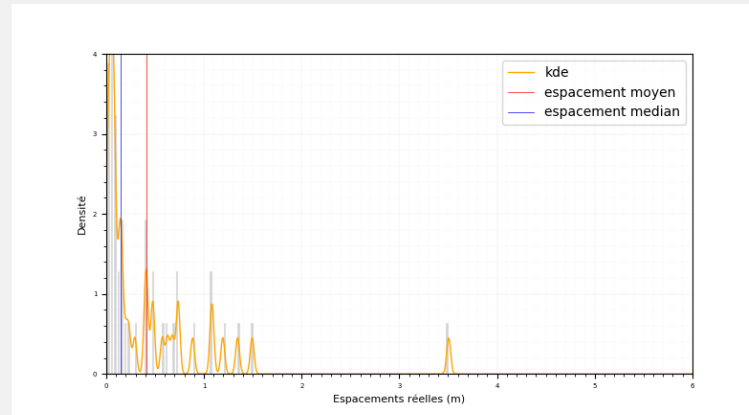
Densité position



Stéréonet



Densité espacement



Résultats sans filtre

Plan (dip/dip dir) :	
moyen :	38.7/254.7
moyen pondéré :	38.4/254.8
proposé :	/
median :	40.0/253.0
Distance apparente réelle (m) :	0.412
Fréquence apparente réelle :	2.427
Discontinuités :	
nombre :	45
surface (m²) :	15.7683
taux recouvrement (%) :	1.58
RMS (rugosité) :	
moyen (m) :	0.00934
distribution :	Afficher

3- Labélisation des discontinuités filtrées

2- Segmentation en couleurs

1- Filtrage des pics de densité de discontinuités

Seuil de densité min

0,100 ☐ Appliquer

Filtrage

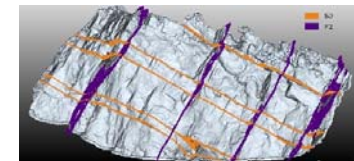
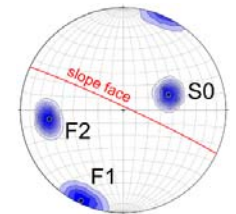
Initialisation

Résultats après filtrage

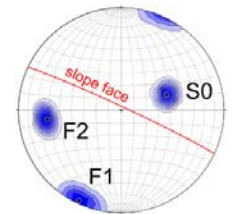
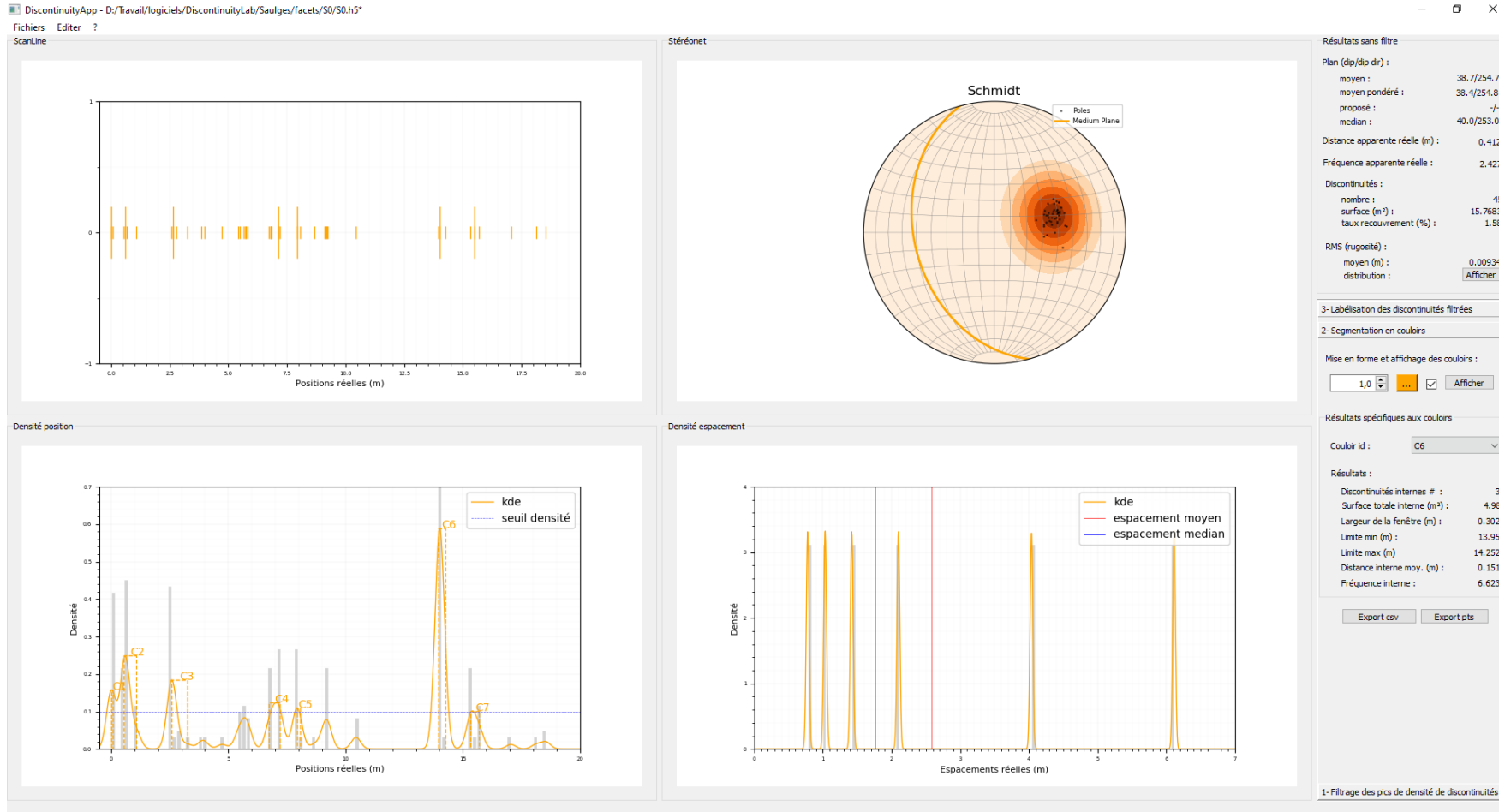
Discontinuités # :	7
Surface (m²) :	8.5253
Fréquence moyenne :	0.388
Distance moyenne (m) :	2.58
Fréquence médiane :	0.568
Distance médiane (m) :	1.76

Export csv

Export pts

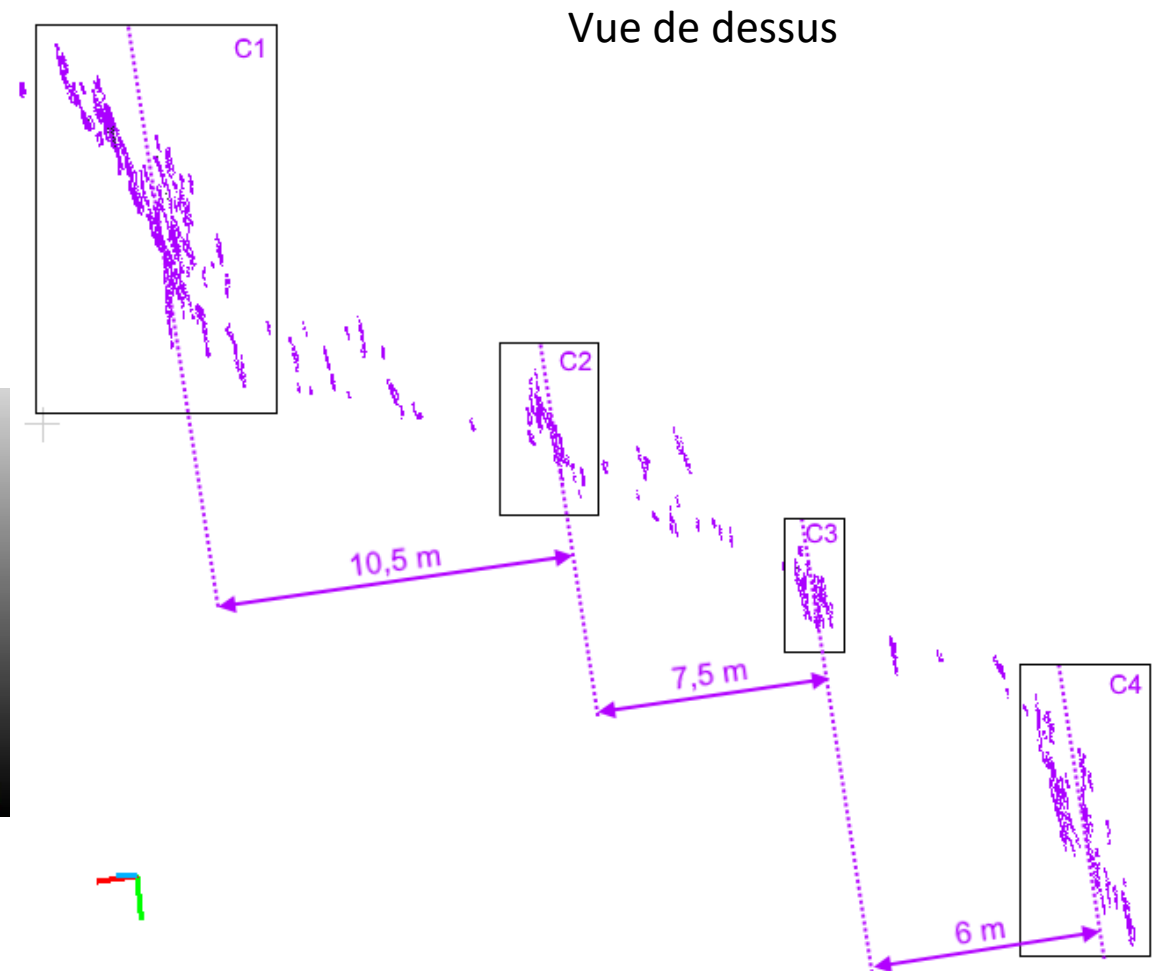
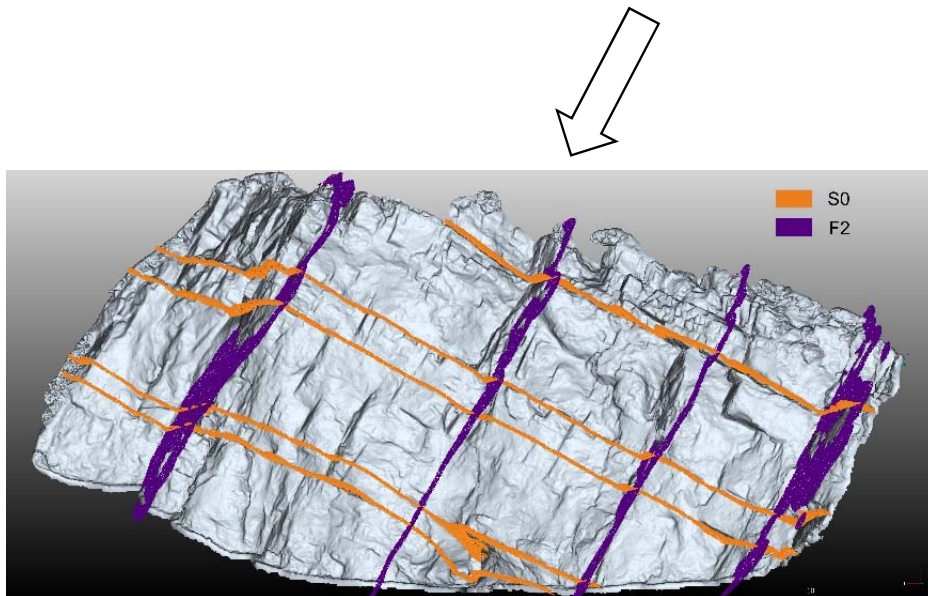


DiscontinuityLab : analyse de la discontinuité C6



Espacement de
1,42 m entre
C6 et C7.

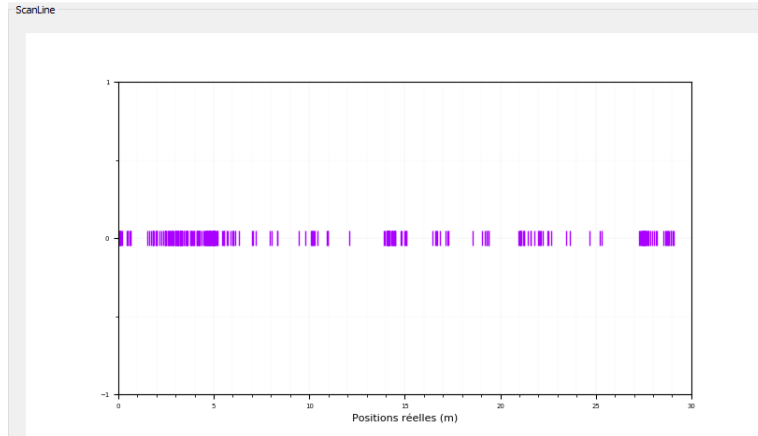
Famille F2



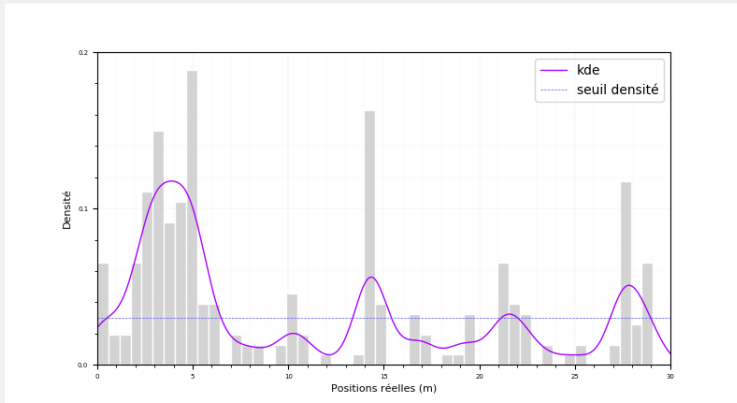
DiscontinuityLab : couloirs de fracturation (F2)

DiscontinuityApp - D:/Travail/logiciels/DiscontinuityLab/Sauges/facets/F2.h5*

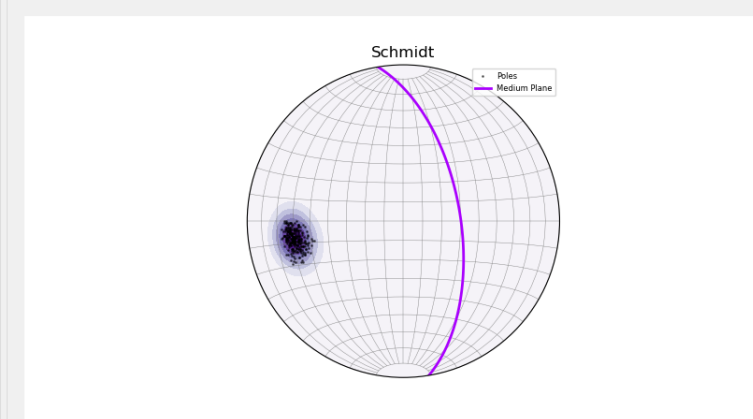
Fichiers Edit ?



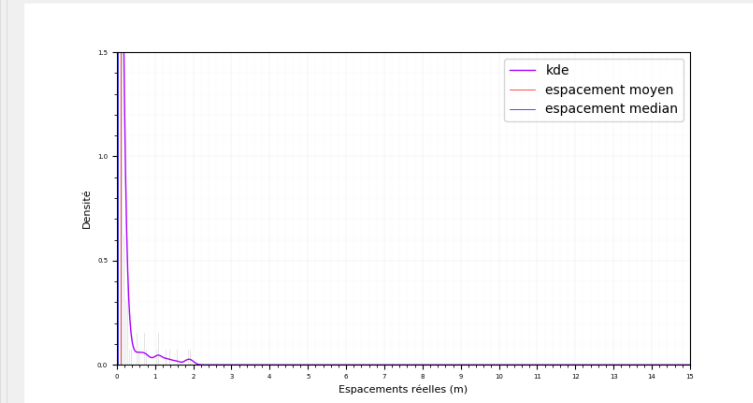
Densité position



Stéréonet



Densité espacement



Résultats sans filtre

Plan (dip/dip dir) :	
moyen :	60.1/80.6
moyen pondéré :	60.1/81.8
proposé :	-/-
median :	61.0/81.0
Distance apparente réelle (m) :	0.11
Fréquence apparente réelle :	9.091
Discontinuités :	
nombre :	254
surface (m²) :	69.8046
taux recouvrement (%) :	6.98
RMS (rugosité) :	
moyen (m) :	0.00645
distribution :	Afficher

3- Labélisation des discontinuités filtrées

2- Segmentation en couleurs

1- Filtrage des pics de densité de discontinuités

Seuil de densité min

0,030 ☐ Appliquer

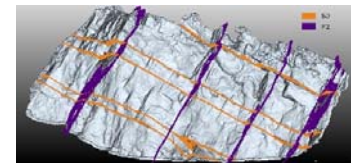
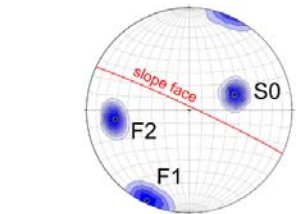
Filtrage Initialisation

Résultats après filtrage

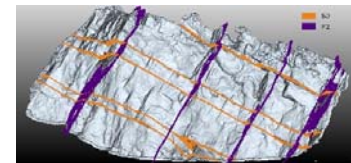
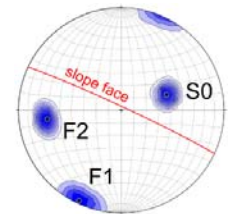
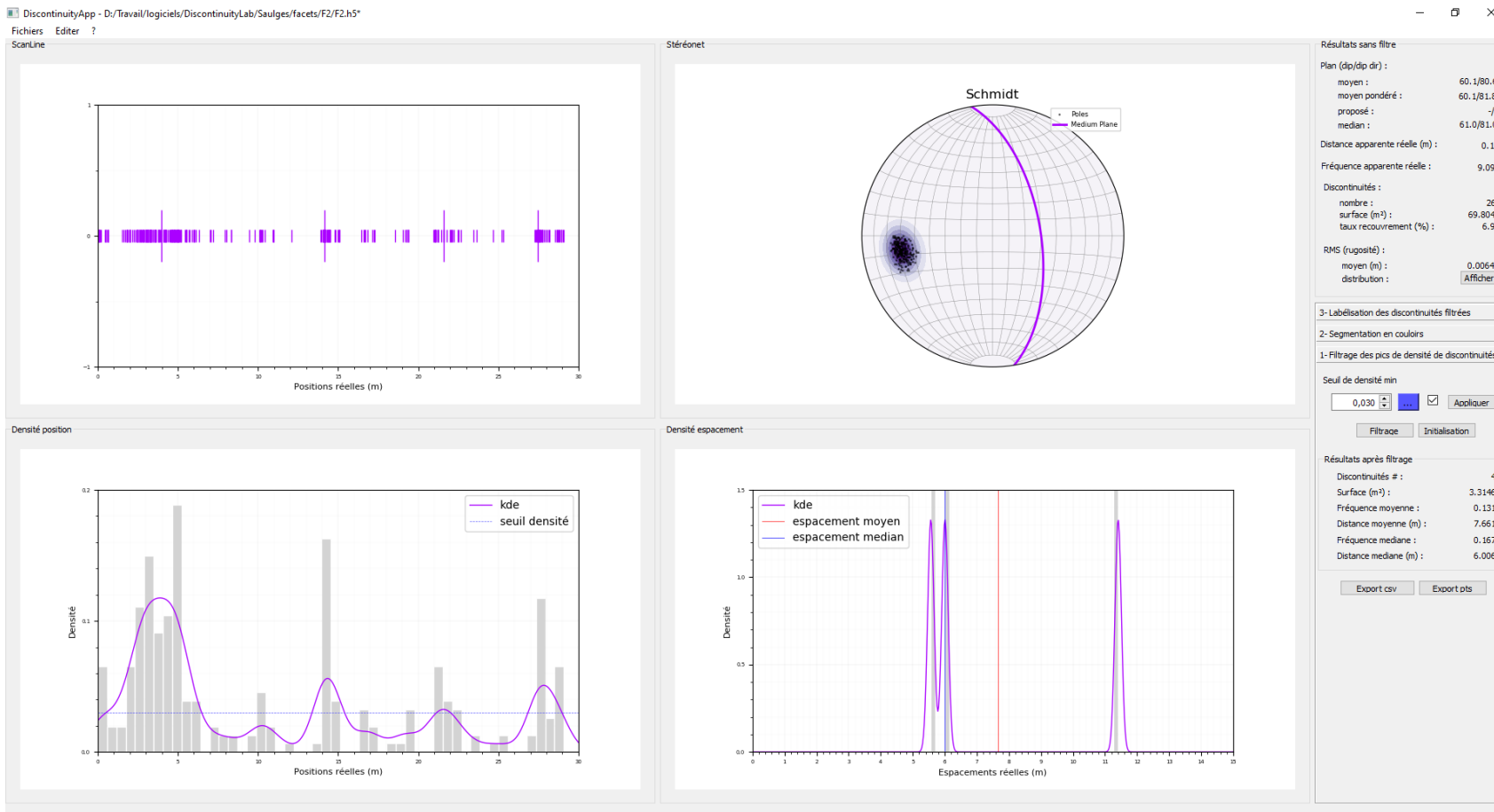
Discontinuités # :	-
Surface (m²) :	-
Fréquence moyenne :	-
Distance moyenne (m) :	-
Fréquence médiane :	-
Distance médiane (m) :	-

Export csv

Export pts



DiscontinuityLab : couloirs de fracturation (F2)



Distances :

C1-C2 : 11,2 m (10,5 m)

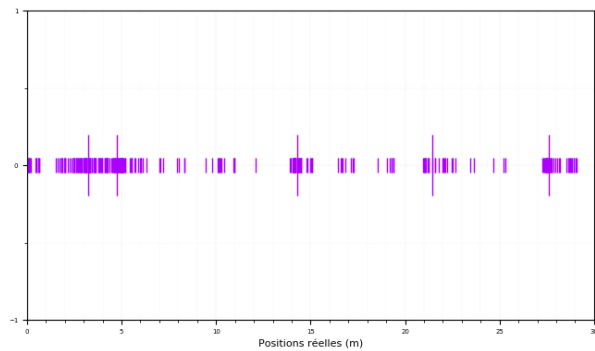
C2-C3 : 6,1 m (7,5 m)

C3-C4 : 5,6 m (6,0 m)

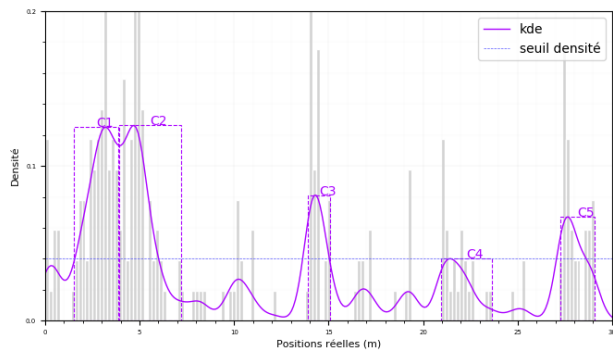
DiscontinuityLab : couloirs de fracturation (F2)

DiscontinuityApp - D:\Travail\logiciels\DiscontinuityLab\Saugles\facets\F2\F2.h5*

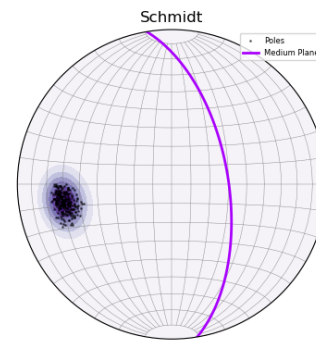
Fichiers Editer ?
ScanLine



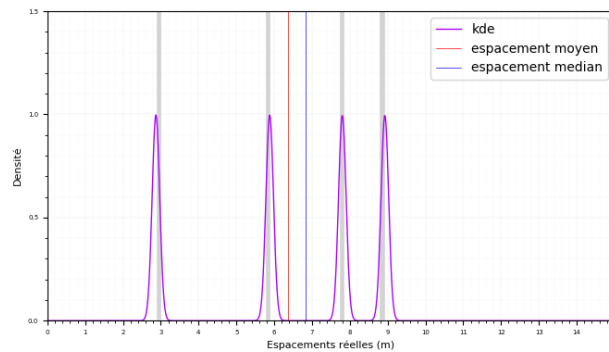
Densité position



Stéréonet



Densité espacement



Résultats sans filtre

Plan (dip/dip dir) :
moyen : 60.1/80.6
moyen pondéré : 60.1/81.8
proposé : -/-
median : 61.0/81.0
Distance apparente réelle (m) : 0.11
Fréquence apparente réelle : 9.091
Discontinuités :
nombre : 264
surface (m²) : 69.8046
taux recouvrement (%) : 6.98
RMS (rugosité) :
moyen (m) : 0.00645
distribution : Afficher

3- Labélisation des discontinuités filtrées

2- Segmentation en couloirs

Mise en forme et affichage des couloirs :

0,8 ☒ Afficher

Résultats spécifiques aux couloirs

Couleur id : C3

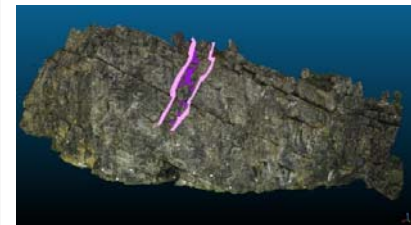
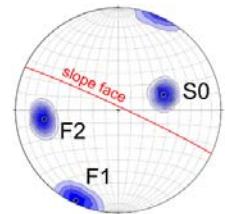
Résultats :

Discontinuités internes # : 32
Surface totale interne (m²) : 7.94
Largeur de la fenêtre (m) : 1.161
Limite min (m) : 13.912
Limite max (m) : 15.073
Distance interne moy. (m) : 0.037
Fréquence interne : 27.027

Export csv

Export pts

1- Filtrage des pics de densité de discontinuités



Conclusion

Conclusion

- Affleurements virtuels de plus en plus faciles à utiliser
- L'imagerie 3D offre de nouvelles possibilités de mesures
- De nombreux papiers comparent les mesures de terrain et sur affleurements virtuels -> des ajustements restent à faire

Conclusion

- L'intérêt de détecter les couloirs de fracturation :
 - Couloirs de circulation d'eau
 - Zones propices à la présence de minéraux indésirables (calcite, pyrite, actinolyte)

Références

- Dewez, T., Girardeau-Montaut, D., Allanic, C., and Rohmer, J., FACETS : a cloudCompare plugin to extract geological planes from unstructured 3D point cloud, in Proceedings XXIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, 2016-07-12 2016, Volume XLI-B5, p. 799-804.
- Girardeau-Montaut, D., 2014, CloudCompare : v2.11.alpha, 64 bits, 3D point cloud and mesh processing free software. EDF R&D, Telecom ParisTech. Available at : <http://www.cloudcompare.org>. Access date Oct. 2019.
- Gordon, P., and Charles, T., 2008, Introduction to Laser Ranging, Profiling, and Scanning, Topographic Laser Ranging and Scanning, CRC Press, p. 1-27.
- Jaboyedoff, M., Metzger, R., Oppikofer, T., Couture, R., Derron, M.-H., Locat, J., and Turmel, D., 2007, New insight techniques to analyze rock-slope relief using DEM and 3D-imaging cloud points: COLTOP-3D software, Volume 1, p. 61-68.
- Lowe, D. G., 1999, Object recognition from local scale-invariant features, Volume 2, Proceedings of the 7th IEEE international conference on Computer Vision, p. 1150-1157.
- Lowe, D. G., 2004, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints: International Journal of Computer Vision, v. 60, no. 2, p. 91-110.
- Silverman, B., 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Chapman & Hall/ CRC Monographs on Statistics & Applied Probability, Taylor & Francis (URL: [http:// books.google.es/books?id=e-xsrjsL7WkC](http://books.google.es/books?id=e-xsrjsL7WkC)).
- Slob, S., 2010, Automated rock mass characterisation using 3-D terrestrial laser scanning.
- Snavely, N., 2008, Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections, PhD: University of Washington, USA, 210 p.
- Snavely, N., Seitz, S., and Szeliski, R., 2008, Modeling the world from internet photo collections: International Journal of Computer Vision, v. 80, p. 189-210.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., and Reynolds, J. M., 2012, 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications: Geomorphology, v. 179, p. 300-314.

Merci de votre attention