



Master 2 ISICG

Projet Géométrie Discrète et Images

COUNTING AND MEASURING GRAINS

Réalisé par :
TRABELSI Ayoub

Enseignante :
Madame Yukiko Kenmochi

Table des matières

1	Introduction	1
2	Étape 1 (Download and observe segmented images)	1
3	Étape 2 (Count grains)	2
4	Étape 3 (Extract digital object boundary)	5
5	Étape 4 (Polygonize digital object boundary)	6
6	Étape 5 (Calculate area)	8
7	Étape 6 (Calculate perimeter)	9
8	Étape 7 (Propose and calculate circularity)	10
9	Conclusion	13
10	Bibliographie	14

1 Introduction

Dans ce TP, les étapes impliquent l'analyse de trois types différents de grains de riz : le riz Basmati, le riz de Camargue et le riz japonais, chacun représenté par des images originales en couleur et leurs images binaires segmentées correspondantes.

Il s'agit de compter les grains, d'extraire les limites des objets numériques, de les polygoniser, et de calculer diverses propriétés telles que la superficie et le périmètre. De plus, il est nécessaire de proposer et de calculer une mesure de circularité, permettant la comparaison des formes des grains entre les différents types de riz.

Ce travail sera réalisé en utilisant la bibliothèque **DGtal** (Digital Geometry Tools and Algorithms Library).

2 Étape 1 (Download and observe segmented images)

Dans cette étape j'ai fait l'installation de la bib DGtal et le téléchargement du fichier **RiceGrains.zip** qui contient 3 images originales en couleur et leurs images segmentées des trois différents types de grains de riz (Basmati rice, Camargue rice et Japanese rice)



FIGURE 1 – RiceGrains.zip

Les grains de riz Basmati sont longs et minces.

Le riz de Camargue a des grains de taille moyenne.

Ils sont courts et trapus par rapport au riz Basmati.

Le riz japonais a des grains courts et ronds.

3 Étape 2 (Count grains)

Après avoir téléchargé le fichier **main.cpp**, j'ai lu les 3 images binaires en utilisant **PGMReader** avec une boucle *for* qui parcourt les chemins des images.

Ensuite j'ai réalisé la conversion des images en "digital set" en format .eps

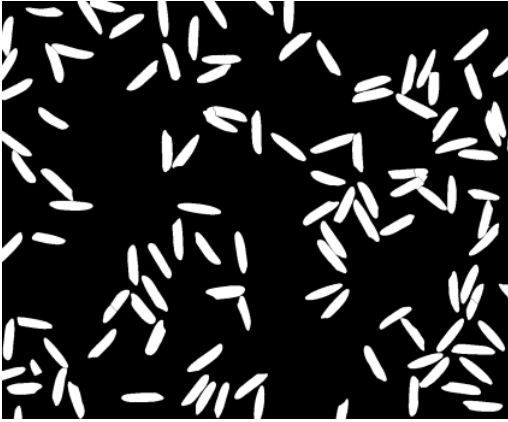


FIGURE 2 – Binaire

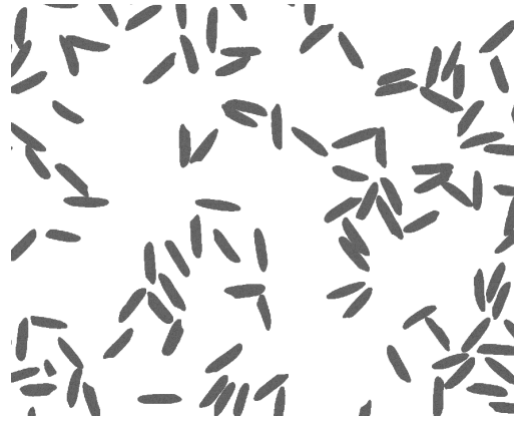


FIGURE 3 – digital set



FIGURE 4 – Binaire

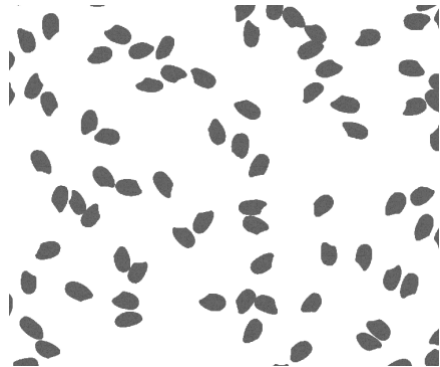


FIGURE 5 – digital set



FIGURE 6 – Binaire



FIGURE 7 – digital set

Après, j'ai choisi l'objet 45 pour les 3 images pour faire la construction de "digital object".

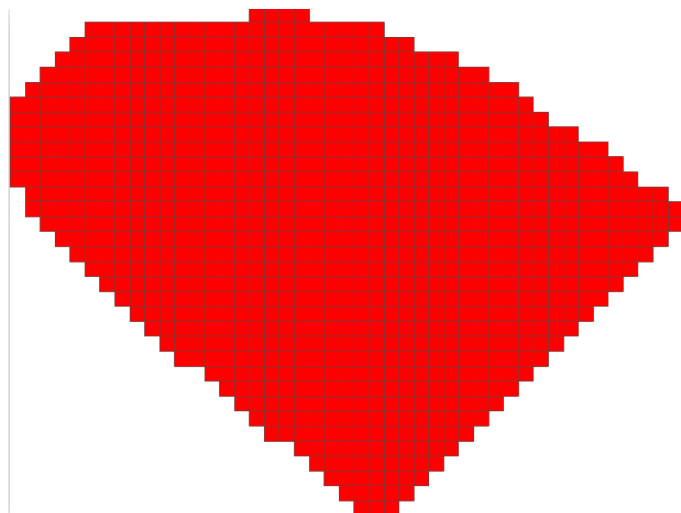


FIGURE 8 – digital set (objet 45) camargue

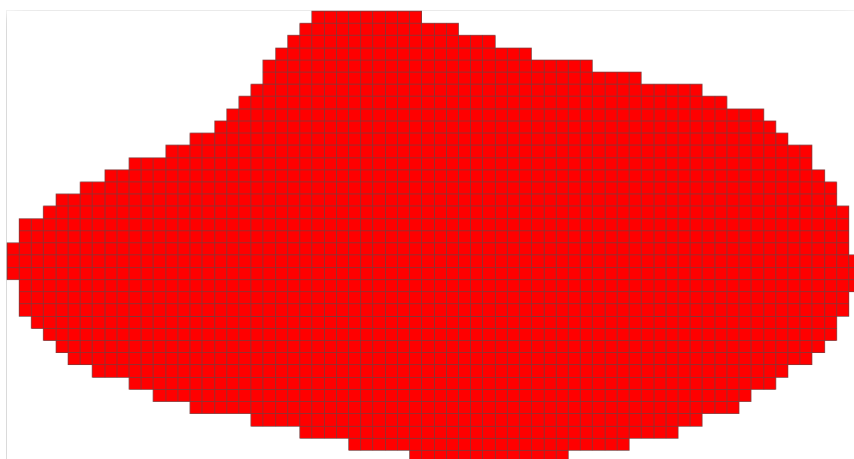


FIGURE 9 – digital set (objet 45) japonais

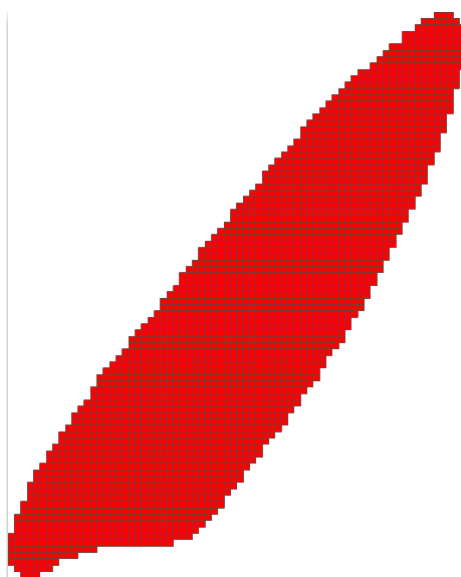


FIGURE 10 – digital set (objet 45) basmati

Ensuite, j'ai calculé le nombre d'objets numériques dans les 3 images avant et après l'élimination des grains dont les corps entiers n'apparaissent pas dans le cadre de l'image.

```
trabelsi4@Linux:~/Desktop/GD$ ./main
=====
|
|===== Image 1 =====
Path= ./RiceGrains/Rice_camargue_seg_bin.pgm
number of components image 1 = 132
number of components after elimination image 1 = 112
=====
|
|===== Image 2 =====
Path= ./RiceGrains/Rice_japonais_seg_bin.pgm
number of components image 2 = 147
number of components after elimination image 2 = 138
=====
|
|===== Image 3 =====
Path= ./RiceGrains/Rice_basmati_seg_bin.pgm
number of components image 3 = 141
number of components after elimination image 3 = 124
```

FIGURE 11 – 3 images

4 Étape 3 (Extract digital object boundary)

Dans cette étape j'ai fait l'extraction des contours pour l'objet 45 aussi pour les 3 images.

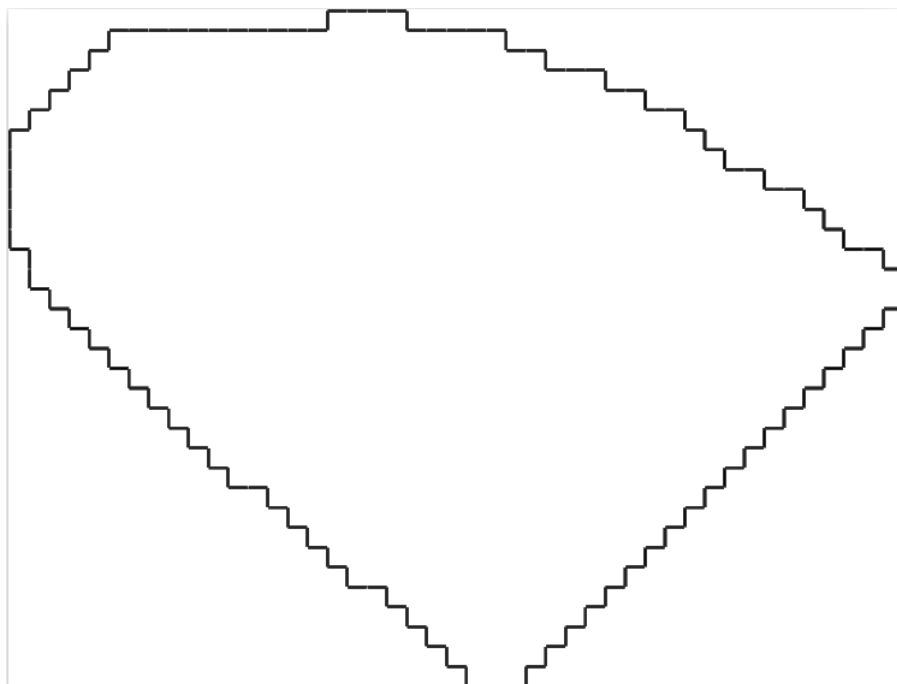


FIGURE 12 – digital object boundary (objet 45) camargue

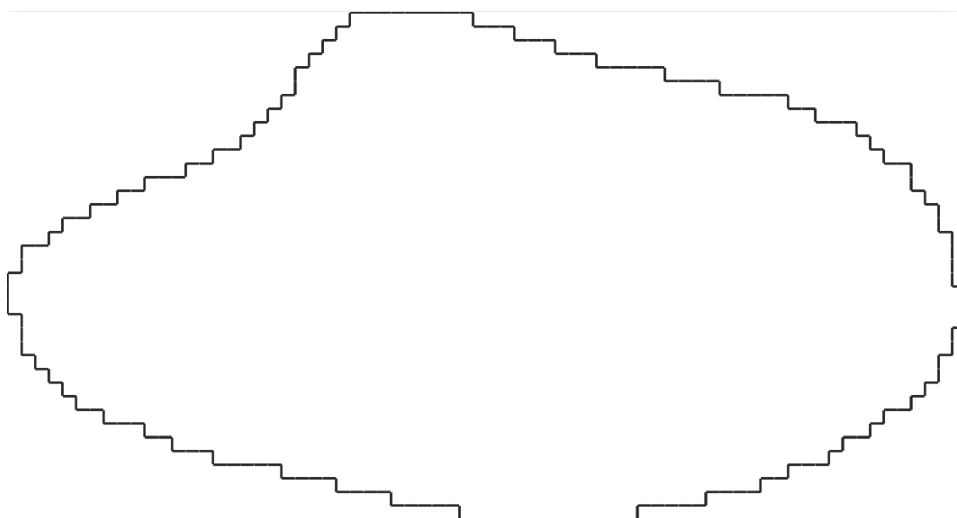


FIGURE 13 – digital object boundary (objet 45) japonais

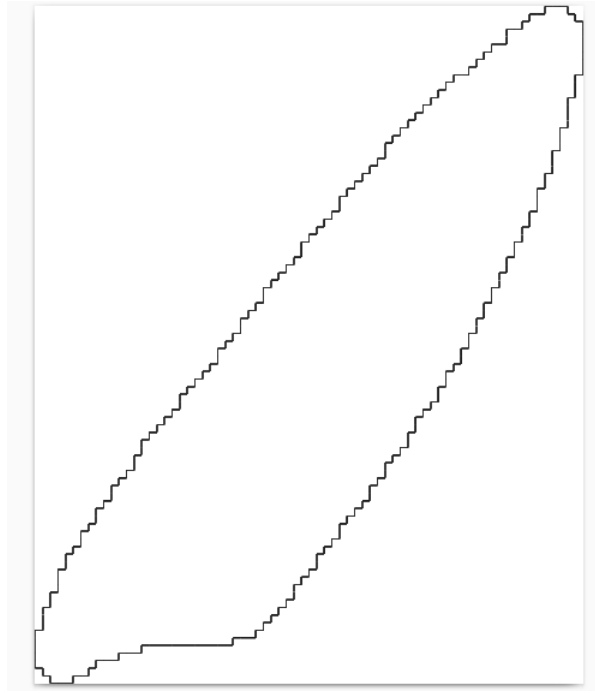


FIGURE 14 – digital object boundary (objet 45) basmati

5 Étape 4 (Polygonize digital object boundary)

Dans l'étape 4, j'ai fait la polygonisation de la limite des objets numériques (objet 45) de 3 images.

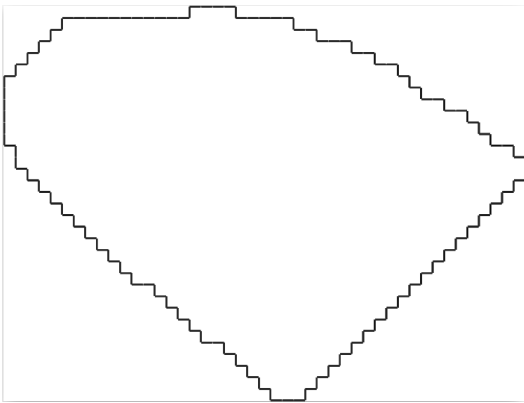


FIGURE 15 – Boudary

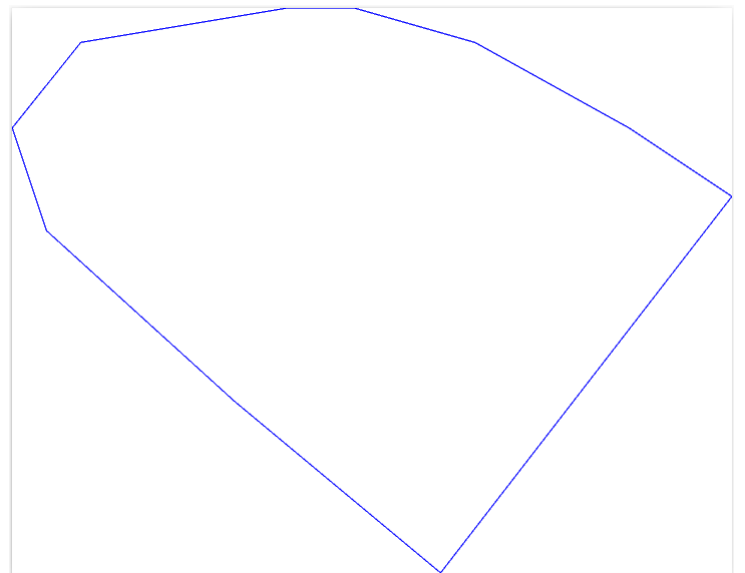


FIGURE 16 – Polygonisation

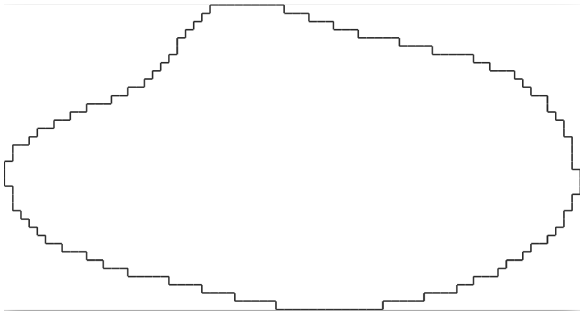


FIGURE 17 – Boudary

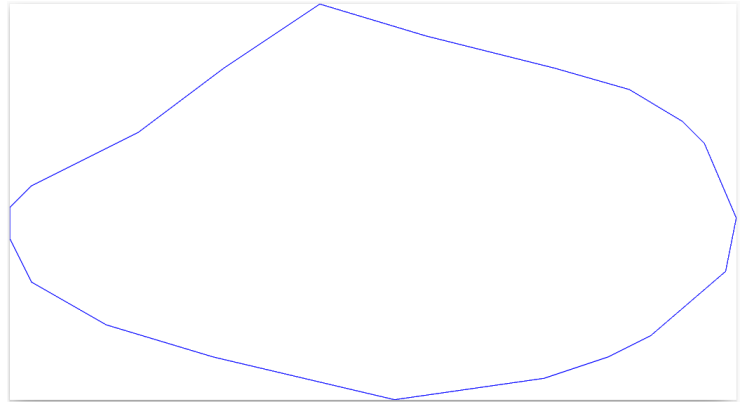


FIGURE 18 – Polygonisation

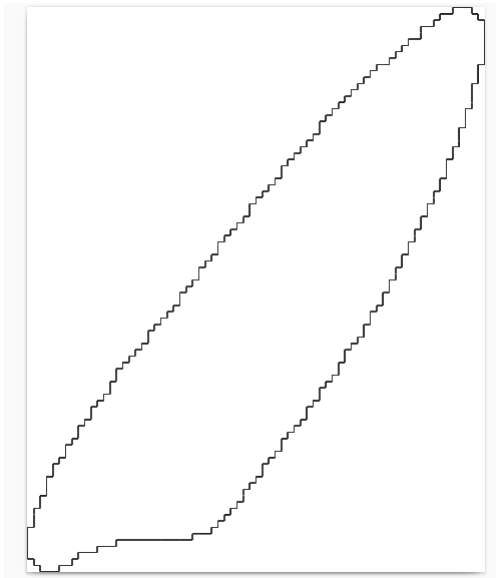


FIGURE 19 – Boudary

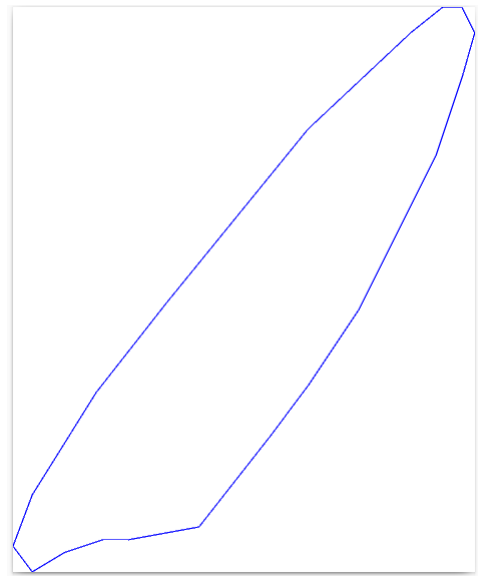
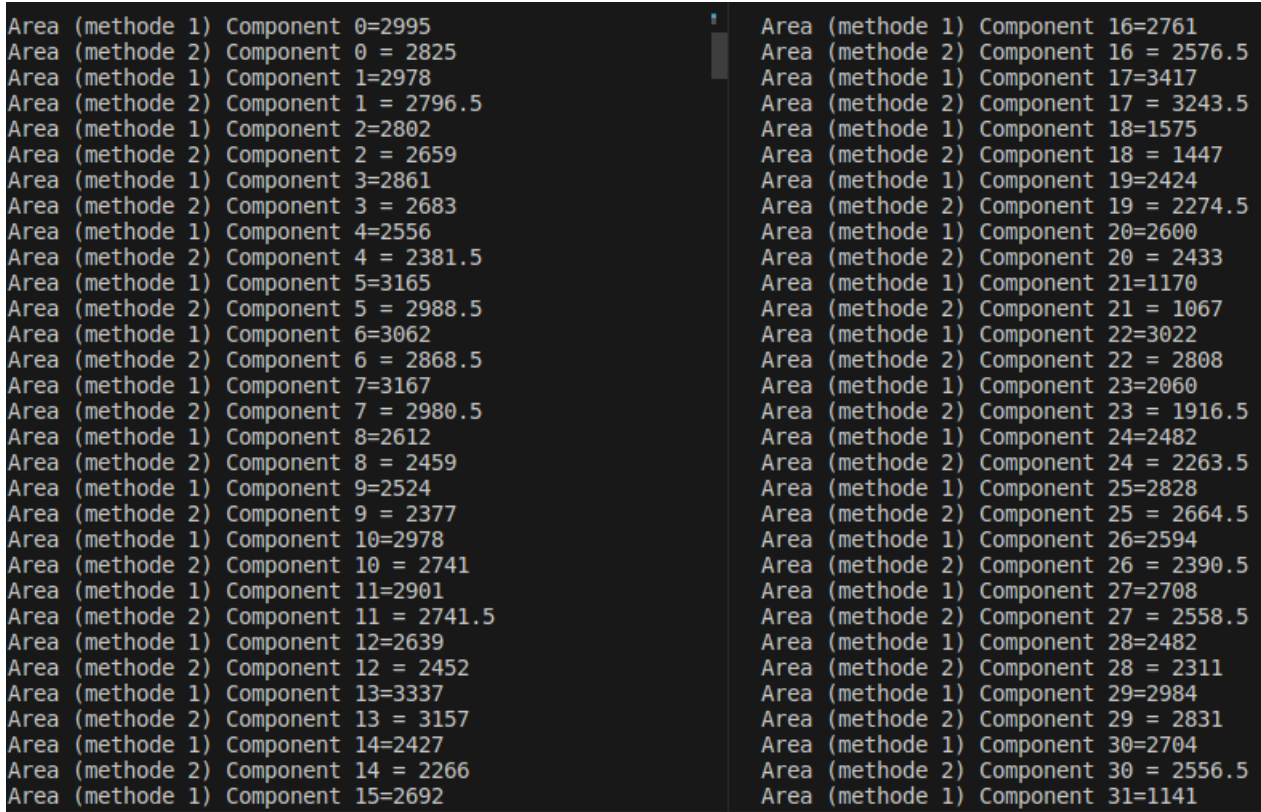


FIGURE 20 – Polygonisation

6 Étape 5 (Calculate area)



```
Area (methode 1) Component 0=2995
Area (methode 2) Component 0 = 2825
Area (methode 1) Component 1=2978
Area (methode 2) Component 1 = 2796.5
Area (methode 1) Component 2=2802
Area (methode 2) Component 2 = 2659
Area (methode 1) Component 3=2861
Area (methode 2) Component 3 = 2683
Area (methode 1) Component 4=2556
Area (methode 2) Component 4 = 2381.5
Area (methode 1) Component 5=3165
Area (methode 2) Component 5 = 2988.5
Area (methode 1) Component 6=3062
Area (methode 2) Component 6 = 2868.5
Area (methode 1) Component 7=3167
Area (methode 2) Component 7 = 2980.5
Area (methode 1) Component 8=2612
Area (methode 2) Component 8 = 2459
Area (methode 1) Component 9=2524
Area (methode 2) Component 9 = 2377
Area (methode 1) Component 10=2978
Area (methode 2) Component 10 = 2741
Area (methode 1) Component 11=2901
Area (methode 2) Component 11 = 2741.5
Area (methode 1) Component 12=2639
Area (methode 2) Component 12 = 2452
Area (methode 1) Component 13=3337
Area (methode 2) Component 13 = 3157
Area (methode 1) Component 14=2427
Area (methode 2) Component 14 = 2266
Area (methode 1) Component 15=2692
Area (methode 1) Component 16=2761
Area (methode 2) Component 16 = 2576.5
Area (methode 1) Component 17=3417
Area (methode 2) Component 17 = 3243.5
Area (methode 1) Component 18=1575
Area (methode 2) Component 18 = 1447
Area (methode 1) Component 19=2424
Area (methode 2) Component 19 = 2274.5
Area (methode 1) Component 20=2600
Area (methode 2) Component 20 = 2433
Area (methode 1) Component 21=1170
Area (methode 2) Component 21 = 1067
Area (methode 1) Component 22=3022
Area (methode 2) Component 22 = 2808
Area (methode 1) Component 23=2060
Area (methode 2) Component 23 = 1916.5
Area (methode 1) Component 24=2482
Area (methode 2) Component 24 = 2263.5
Area (methode 1) Component 25=2828
Area (methode 2) Component 25 = 2664.5
Area (methode 1) Component 26=2594
Area (methode 2) Component 26 = 2390.5
Area (methode 1) Component 27=2708
Area (methode 2) Component 27 = 2558.5
Area (methode 1) Component 28=2482
Area (methode 2) Component 28 = 2311
Area (methode 1) Component 29=2984
Area (methode 2) Component 29 = 2831
Area (methode 1) Component 30=2704
Area (methode 2) Component 30 = 2556.5
Area (methode 1) Component 31=1141
```

FIGURE 21 – Area avec 2 méthodes

Quand on examine les résultats en calculant l'Area en utilisant la méthode 1, on constate qu'elle ne maintient pas la convergence multigrille en raison de la grande différence de valeur de la superficie entre les grains de riz. Lorsque on examine les résultats en calculant l'Area avec la méthode 2, nous constatons qu'elle maintient la convergence multigrille en raison de la faible différence de valeur de la superficie entre les grains de riz. Pour visualiser les résultats de cette étape, vous pouvez décommenter les lignes 240 à 249.

7 Étape 6 (Calculate perimeter)

Perimetres (methode 1/2 image : 2	
Perimetre Component 0(méthode 1) =	302
Perimetre Component 0(méthode 2) =	226.757
Perimetre Component 1(méthode 1) =	280
Perimetre Component 1(méthode 2) =	213.076
Perimetre Component 2(méthode 1) =	274
Perimetre Component 2(méthode 2) =	207.604
Perimetre Component 3(méthode 1) =	280
Perimetre Component 3(méthode 2) =	208.608
Perimetre Component 4(méthode 1) =	274
Perimetre Component 4(méthode 2) =	211.07
Perimetre Component 5(méthode 1) =	294
Perimetre Component 5(méthode 2) =	223.698
Perimetre Component 6(méthode 1) =	300
Perimetre Component 6(méthode 2) =	220.162
Perimetre Component 7(méthode 1) =	304
Perimetre Component 7(méthode 2) =	225.634
Perimetre Component 8(méthode 1) =	266
Perimetre Component 8(méthode 2) =	203.348
Perimetre Component 9(méthode 1) =	284
Perimetre Component 9(méthode 2) =	215.844
Perimetre Component 10(méthode 1) =	270
Perimetre Component 10(méthode 2) =	217.162
Perimetre Component 11(méthode 1) =	282
Perimetre Component 11(méthode 2) =	211.524
Perimetre Component 12(méthode 1) =	274
Perimetre Component 12(méthode 2) =	206.997
Perimetre Component 13(méthode 1) =	292
Perimetre Component 13(méthode 2) =	233.875
Perimetre Component 14(méthode 1) =	264
Perimetre Component 14(méthode 2) =	195.844
Perimetre Component 14(méthode 2) =	195.844
Perimetre Component 15(méthode 1) =	264
Perimetre Component 15(méthode 2) =	210.729
Perimetre Component 16(méthode 1) =	298
Perimetre Component 16(méthode 2) =	221.114
Perimetre Component 17(méthode 1) =	296
Perimetre Component 17(méthode 2) =	233.349
Perimetre Component 18(méthode 1) =	198
Perimetre Component 18(méthode 2) =	146.092
Perimetre Component 19(méthode 1) =	242
Perimetre Component 19(méthode 2) =	201.068
Perimetre Component 20(méthode 1) =	270
Perimetre Component 20(méthode 2) =	206.227
Perimetre Component 21(méthode 1) =	158
Perimetre Component 21(méthode 2) =	122.365
Perimetre Component 22(méthode 1) =	290
Perimetre Component 22(méthode 2) =	216.652
Perimetre Component 23(méthode 1) =	244
Perimetre Component 23(méthode 2) =	179.711
Perimetre Component 24(méthode 1) =	260
Perimetre Component 24(méthode 2) =	197.317
Perimetre Component 25(méthode 1) =	288
Perimetre Component 25(méthode 2) =	213.948
Perimetre Component 26(méthode 1) =	284
Perimetre Component 26(méthode 2) =	211.014
Perimetre Component 27(méthode 1) =	254
Perimetre Component 27(méthode 2) =	208.492
Perimetre Component 28(méthode 1) =	282
Perimetre Component 28(méthode 2) =	208.886
Perimetre Component 29(méthode 1) =	278
Perimetre Component 29(méthode 2) =	217.265

FIGURE 22 – Perimetre avec 2 méthodes

Lorsque on examine les résultats en calculant le périmètre avec la méthode 1, on constate qu'elle ne maintient pas la convergence multigrille en raison de la grande différence de valeur du périmètre entre les grains de riz. Lorsque on examine les résultats en calculant le périmètre avec la méthode 2, on constate qu'elle maintient la convergence multigrille en raison de la faible différence de valeur du périmètre entre les grains de riz. Pour visualiser les résultats de cette étape, vous pouvez décommenter les lignes 251 à 259.

8 Étape 7 (Propose and calculate circularity)

La Circularity C égale à

$$C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Avec A=Aire et P=Perimetre comme mentionné dans le site

(<https://sciencing.com/calculate-circularity-5138742.html>)

Pour visualiser les résultats de cette étape, vous pouvez décommenter les lignes 261 à 268.

```
CIRCULARITY Component 0 = 0.690282
CIRCULARITY Component 1 = 0.773879
CIRCULARITY Component 2 = 0.775131
CIRCULARITY Component 3 = 0.774613
CIRCULARITY Component 4 = 0.671621
CIRCULARITY Component 5 = 0.750338
CIRCULARITY Component 6 = 0.743526
CIRCULARITY Component 7 = 0.735541
CIRCULARITY Component 8 = 0.747151
CIRCULARITY Component 9 = 0.641026
CIRCULARITY Component 10 = 0.730248
CIRCULARITY Component 11 = 0.769834
CIRCULARITY Component 12 = 0.718983
CIRCULARITY Component 13 = 0.725161
CIRCULARITY Component 14 = 0.742278
CIRCULARITY Component 15 = 0.714115
CIRCULARITY Component 16 = 0.662102
CIRCULARITY Component 17 = 0.748393
CIRCULARITY Component 18 = 0.851815
CIRCULARITY Component 19 = 0.706852
CIRCULARITY Component 20 = 0.718751
CIRCULARITY Component 21 = 0.89532
CIRCULARITY Component 22 = 0.751623
CIRCULARITY Component 23 = 0.74557
CIRCULARITY Component 24 = 0.73043
CIRCULARITY Component 25 = 0.731353
CIRCULARITY Component 26 = 0.674518
CIRCULARITY Component 27 = 0.739492
CIRCULARITY Component 28 = 0.665442
CIRCULARITY Component 29 = 0.753507
CIRCULARITY Component 30 = 0.688129
CIRCULARITY Component 31 = 0.887952
CIRCULARITY Component 32 = 0.733598
CIRCULARITY Component 33 = 0.744423
CIRCULARITY Component 34 = 0.72564
CIRCULARITY Component 35 = 0.658831
CIRCULARITY Component 36 = 0.694369
CIRCULARITY Component 37 = 0.726713
CIRCULARITY Component 38 = 0.663445
CIRCULARITY Component 39 = 0.719887
CIRCULARITY Component 40 = 0.69408
CIRCULARITY Component 41 = 0.753499
CIRCULARITY Component 42 = 0.734683
CIRCULARITY Component 43 = 0.843976
CIRCULARITY Component 44 = 0.657456
CIRCULARITY Component 45 = 0.798205
CIRCULARITY Component 46 = 0.824152
CIRCULARITY Component 47 = 0.742741
CIRCULARITY Component 48 = 0.609925
CIRCULARITY Component 49 = 0.715222
CIRCULARITY Component 50 = 0.670269
CIRCULARITY Component 51 = 0.765461
CIRCULARITY Component 52 = 0.728078
CIRCULARITY Component 53 = 0.756093
CIRCULARITY Component 54 = 0.686455
CIRCULARITY Component 55 = 0.701013
CIRCULARITY Component 56 = 0.725339
CIRCULARITY Component 57 = 0.71662
CIRCULARITY Component 58 = 0.682954
CIRCULARITY Component 59 = 0.738956
CIRCULARITY Component 60 = 0.739823
CIRCULARITY Component 61 = 0.730084
```

Ln 268, Col 8 Spaces: 4 UTF-8 LF

FIGURE 23 – Circularity camargue

```

Path= ./RiceGrains/Rice_japonais_seg_bin.pgm
number of components image 2 = 147
number of components after elimination image 2 = 138
CIRCULARITY Components
CIRCULARITY Component 0 = 0.897181
CIRCULARITY Component 1 = 0.870346
CIRCULARITY Component 2 = 0.866162
CIRCULARITY Component 3 = 0.864573
CIRCULARITY Component 4 = 0.85813
CIRCULARITY Component 5 = 0.874107
CIRCULARITY Component 6 = 0.839016
CIRCULARITY Component 7 = 0.831521
CIRCULARITY Component 8 = 0.855347
CIRCULARITY Component 9 = 0.849173
CIRCULARITY Component 10 = 0.871667
CIRCULARITY Component 11 = 0.858362
CIRCULARITY Component 12 = 0.877276
CIRCULARITY Component 13 = 0.87306
CIRCULARITY Component 14 = 0.874271
CIRCULARITY Component 15 = 0.857281
CIRCULARITY Component 16 = 0.861833
CIRCULARITY Component 17 = 0.865022
CIRCULARITY Component 18 = 0.850071
CIRCULARITY Component 19 = 0.839366
CIRCULARITY Component 20 = 0.856048
CIRCULARITY Component 21 = 0.85127
CIRCULARITY Component 22 = 0.880444
CIRCULARITY Component 23 = 0.874303
CIRCULARITY Component 24 = 0.873136
CIRCULARITY Component 25 = 0.840668
CIRCULARITY Component 26 = 0.800555
CIRCULARITY Component 25 = 0.840668
CIRCULARITY Component 26 = 0.800555
CIRCULARITY Component 27 = 0.869666
CIRCULARITY Component 28 = 0.85162
CIRCULARITY Component 29 = 0.839655
CIRCULARITY Component 30 = 0.861857
CIRCULARITY Component 31 = 0.824229
CIRCULARITY Component 32 = 0.852886
CIRCULARITY Component 33 = 0.862872
CIRCULARITY Component 34 = 0.87112
CIRCULARITY Component 35 = 0.860535
CIRCULARITY Component 36 = 0.887742
CIRCULARITY Component 37 = 0.834587
CIRCULARITY Component 38 = 0.857447
CIRCULARITY Component 39 = 0.868854
CIRCULARITY Component 40 = 0.837837
CIRCULARITY Component 41 = 0.848817
CIRCULARITY Component 42 = 0.837808
CIRCULARITY Component 43 = 0.822413
CIRCULARITY Component 44 = 0.881975
CIRCULARITY Component 45 = 0.790313
CIRCULARITY Component 46 = 0.847549
CIRCULARITY Component 47 = 0.827327
CIRCULARITY Component 48 = 0.826068
CIRCULARITY Component 49 = 0.861578
CIRCULARITY Component 50 = 0.867024
CIRCULARITY Component 51 = 0.863262
CIRCULARITY Component 52 = 0.86232
CIRCULARITY Component 53 = 0.830372
CIRCULARITY Component 54 = 0.852164
CIRCULARITY Component 55 = 0.849748
Ln 260, Col 5 Spaces: 4 UTF-8 LF

```

FIGURE 24 – Circularity japonais

```

===== Image 3 =====
=====
Path= ./RiceGrains/Rice_basmati_seg_bin.pgm
number of components image 3 = 141
number of components after elimination image 3 = 124
CIRCULARITY Components
CIRCULARITY Component 0 = 0.52603
CIRCULARITY Component 1 = 0.513248
CIRCULARITY Component 2 = 0.470747
CIRCULARITY Component 3 = 0.45714
CIRCULARITY Component 4 = 0.564694
CIRCULARITY Component 5 = 0.483491
CIRCULARITY Component 6 = 0.453388
CIRCULARITY Component 7 = 0.523185
CIRCULARITY Component 8 = 0.475336
CIRCULARITY Component 9 = 0.525139
CIRCULARITY Component 10 = 0.517521
CIRCULARITY Component 11 = 0.491177
CIRCULARITY Component 12 = 0.511399
CIRCULARITY Component 13 = 0.482324
CIRCULARITY Component 14 = 0.495138
CIRCULARITY Component 15 = 0.549516
CIRCULARITY Component 16 = 0.506273
CIRCULARITY Component 17 = 0.479094
CIRCULARITY Component 18 = 0.511367
CIRCULARITY Component 19 = 0.455227
CIRCULARITY Component 20 = 0.423009
CIRCULARITY Component 21 = 0.497486
CIRCULARITY Component 22 = 0.505703
CIRCULARITY Component 23 = 0.492938
CIRCULARITY Component 24 = 0.493421
CIRCULARITY Component 24 = 0.493421
CIRCULARITY Component 25 = 0.568349
CIRCULARITY Component 26 = 0.545989
CIRCULARITY Component 27 = 0.622991
CIRCULARITY Component 28 = 0.532948
CIRCULARITY Component 29 = 0.491871
CIRCULARITY Component 30 = 0.506426
CIRCULARITY Component 31 = 0.49723
CIRCULARITY Component 32 = 0.49582
CIRCULARITY Component 33 = 0.495138
CIRCULARITY Component 34 = 0.558574
CIRCULARITY Component 35 = 0.480237
CIRCULARITY Component 36 = 0.495502
CIRCULARITY Component 37 = 0.539087
CIRCULARITY Component 38 = 0.478233
CIRCULARITY Component 39 = 0.441962
CIRCULARITY Component 40 = 0.523705
CIRCULARITY Component 41 = 0.523688
CIRCULARITY Component 42 = 0.473427
CIRCULARITY Component 43 = 0.667429
CIRCULARITY Component 44 = 0.455193
CIRCULARITY Component 45 = 0.47607
CIRCULARITY Component 46 = 0.461941
CIRCULARITY Component 47 = 0.529528
CIRCULARITY Component 48 = 0.478058
CIRCULARITY Component 49 = 0.515941
CIRCULARITY Component 50 = 0.526494
CIRCULARITY Component 51 = 0.455486
CIRCULARITY Component 52 = 0.468841
CIRCULARITY Component 53 = 0.439163
CIRCULARITY Component 54 = 0.517067
Ln 260, Col 5 Spaces: 4 UTF-8 LF

```

FIGURE 25 – Circularity basmati

La caractérisation des formes des grains de riz à l'aide du mesure de circularité a révélé des différences significatives entre les trois types de riz étudiés :

Pour le Riz Camargue, on observe une gamme de valeurs de circularité allant de 0,600 à 0,895. Certaines valeurs de circularité dépassent 0,800, ce qui indique que certains grains se rapprochent de la forme circulaire. En revanche, le Riz Japonais présente des valeurs de circularité plus élevées, montrant une forme globalement

plus régulière et plus circulaire. Les valeurs de circularité varient de 0,787 à 0,923, ce qui suggère que la forme des grains de riz japonais est plus uniforme et circulaire par rapport au riz Camargue. Le riz Basmati, il montre les valeurs de circularité les plus basses, avec des valeurs de circularité variant de 0,422 à 0,758, indiquant une forme irrégulière avec des grains plus allongés.

9 Conclusion

Grâce à ce projet, j'ai acquis de nombreuses compétences en géométrie discrète en utilisant la bibliothèque DGTal. Je tiens à m'excuser pour le retard pris dans la réalisation du travail, comme cela avait été mentionné lors de nos précédentes sessions, en raison de problèmes techniques liés à mon ordinateur.

10 Bibliographie

Ci-dessous une collection de références vers les différentes ressources nous ayant servi lors de la réalisation de ce projet.

Références

<https://dgtal.org/>
<https://github.com/DGtal-team/DGtal>
<https://dgtal.org/doc/stable/moduleIO.html#imagereaders>
[-https://dgtal.org/doc/stable/tutoImageGridCurveExtraction.html#step1](https://dgtal.org/doc/stable/tutoImageGridCurveExtraction.html#step1)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec3_digital_object](https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec3_digital_object)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec2_digital_topology](https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec2_digital_topology)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec3_4](https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalTopology.html#dgtal_topology_sec3_4)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleCellularTopology.html](https://dgtal.org/doc/stable/moduleCellularTopology.html)
https://dgtal.org/doc/stable/moduleDigitalSurfaceHelpers.html#dgtal_helpsurf_sec1
[-https://dgtal.org/doc/stable/classDGtal_1_1Surfaces.html#a48e3a0e7c4728f6a6f23ec6f468a41b8](https://dgtal.org/doc/stable/classDGtal_1_1Surfaces.html#a48e3a0e7c4728f6a6f23ec6f468a41b8)
<https://dgtal.org/doc/stable/moduleBoard2D.html>
[-https://dgtal.org/doc/stable/tutoImageGridCurveEstimator.html#secttutoImageGridCurveEstimator2](https://dgtal.org/doc/stable/tutoImageGridCurveEstimator.html#secttutoImageGridCurveEstimator2)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleArithDSSReco.html](https://dgtal.org/doc/stable/moduleArithDSSReco.html)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleGridCurveAnalysis.html#geometryGreedyDecomposition](https://dgtal.org/doc/stable/moduleGridCurveAnalysis.html#geometryGreedyDecomposition)
[-https://dgtal.org/doc/stable/geometry_2curves_2greedy-dss-decomposition_8cpp-example.html](https://dgtal.org/doc/stable/geometry_2curves_2greedy-dss-decomposition_8cpp-example.html)
[-https://dgtal.org/doc/stable/classLibBoard_1_1Board.html#a64cfaa0d8e99ffe65b99c7be040fbbc5](https://dgtal.org/doc/stable/classLibBoard_1_1Board.html#a64cfaa0d8e99ffe65b99c7be040fbbc5)
[-https://dgtal.org/doc/stable/classLibBoard_1_1Board.html#a3245e1702f8cbcdf86802c01b0c02235](https://dgtal.org/doc/stable/classLibBoard_1_1Board.html#a3245e1702f8cbcdf86802c01b0c02235)
[-https://dgtal.org/doc/stable/geometry_2curves_2greedy-dss-decomposition_8cpp-example.html](https://dgtal.org/doc/stable/geometry_2curves_2greedy-dss-decomposition_8cpp-example.html)
[-https://en.wikipedia.org/wiki/Shoelace_formula](https://en.wikipedia.org/wiki/Shoelace_formula)
[-https://dgtal.org/doc/stable/moduleArithDSSReco.html](https://dgtal.org/doc/stable/moduleArithDSSReco.html)
[-https://sciencing.com/calculate-circularity-5138742.html](https://sciencing.com/calculate-circularity-5138742.html)