

1. Définition et utilité dans notre étude

Le variogramme est un outil usuellement utilisé en géostatistiques. Il permet de rendre compte de la variabilité spatiale au sein d'une image grâce aux structures et variations d'éléments.

Cet outil permettrait de connaître la résolution spatiale de l'image en pixels, à défaut de connaître la résolution spatiale réelle en cm ou m, dépendant de plusieurs paramètres dont l'objectif, la focale et donc différente pour chaque jeu de données.

1.1 Description du protocole

Le variogramme, à partir de la distance entre deux points de l'image, mesure la variabilité des valeurs entre ces points. Plus ceux-ci sont proches, plus la variabilité (resp. covariance) est faible (resp. forte) et donc sont plus susceptibles d'appartenir à un même objet.

En géologie, les points d'observations du sol étudié sont extraits de forage, par mesure de coût élevé, ceux-ci ne peuvent être trop nombreux. Or plus on a de points, plus la mesure de la variabilité est correcte.

Dans notre cas, le coût de forage n'existe pas, nous pouvons prendre autant de points d'observations que nous souhaitons, la seule limite sera le temps de calcul. On pose alors sur la photo (de taille 512x512) une grille de 128x128, soit autant de points d'observations. Ainsi on a les coordonnées (points d'intersections de la grille) et les valeurs des points correspondant à des valeurs de pixels compris entre 0 et 255 (image passée de RGB vers niveaux de gris, pour avoir une seule variance). Nous utiliserons une image test tout au long de cette étude.

À ce stade, nous pouvons représenter la distribution spatiale des individus et visualiser le schéma d'échantillonnage (1/16^{ème} de l'image échantillonné) (Fig.1).

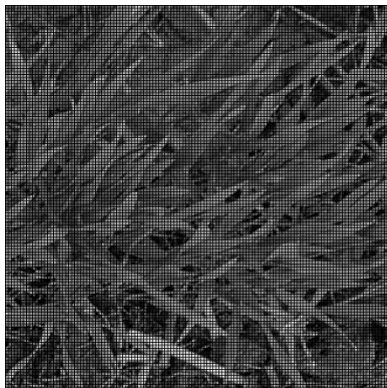


Figure 1 - distribution spatiale des points

1.2 Notions mathématiques

Ces données ponctuelles sont semblables à un échantillonnage d'une variable continue dans l'espace (l'image étudiée) qui peut être décrite comme un champ aléatoire. L'interpolation, estimation des valeurs de points non compris dans l'échantillon, est alors possible, mais n'est utile que dans le domaine de la géostatistique. Ici, dans notre analyse statistique exploratoire des données et notre modélisation des variogrammes, seule la dépendance spatiale nous intéresse, il ne sera pas mention d'estimation de points non mesurés par IDW ou krigeage.

C'est ainsi que la qualité des relations statistiques entre les points mesurés dépend uniquement du nombre de points sur la grille et donc de la mesure des valeurs associées, au dépend du temps de calcul.

Nous nous intéresserons à la partie graphique du variogramme, qui relie une variable dépendante (la variance dépendant de la distance entre points) à une variable indépendante (les coordonnées spatiales). Puis dans un second temps, nous étudierons l'ajustement d'un modèle théorique sur les points mesurés par l'étape précédente.

Calculons d'abord la semi variance/variance grâce à ce qu'on appelle un estimateur, la formule diffère selon la bibliographie. Il sera à adapter aux données étudiées.

Celui-ci est calculé avec les équations suivantes pour toutes les paires de points mesurés, séparés par la distance h.

Les formules impliquent un principe général qui est de calculer la différence au carré entre les valeurs des points mesurés couplés, le tout pondéré.

Voici les deux formules classiques:

Mathéron
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_{i+h}))^2$$

Cressie
$$2\gamma(h) = \frac{\left(\frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} |Z(x_i) - Z(x_{i+h})|^{0.5} \right)^4}{0.457 + \frac{0.494}{N(h)} + \frac{0.045}{N^2(h)}}$$

Ici **h** est une distance appelée lag, **N** le nombre d'observations de paires de points de distance **h**, et **Z** la valeur d'un point de coordonnées **xi** (rappel : valeur du pixel entre 0 et 255).

On s'aperçoit que la variance est calculée pour une distance **h**. Ainsi suivant ce schéma représentatif simplifié (Fig.2), on obtiendra une variance unique, pour l'ensemble des paires de points à une même distance **h**, puis distance **2h** etc...

Ce qu'importe la direction (nous reviendrons sur ce détail, plus tard).

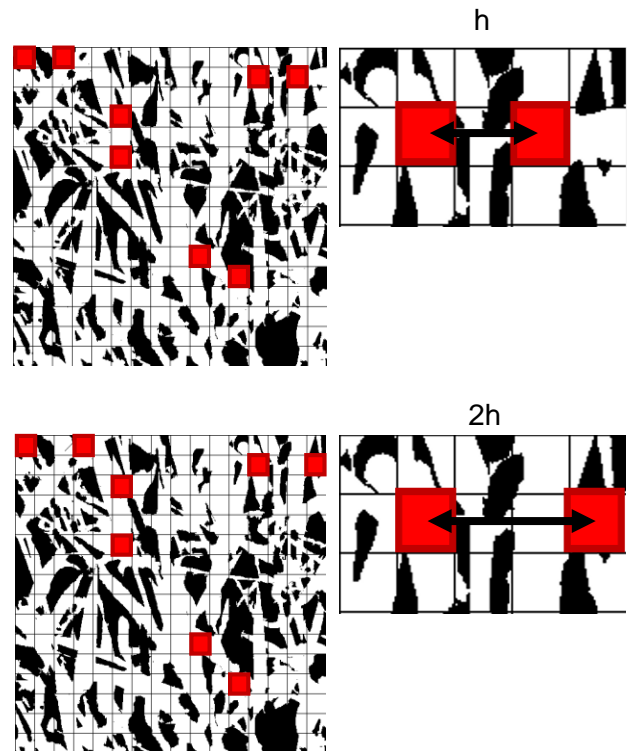


Figure 2 – Notion de distance par paires

Dans notre étude, il semblerait que l'estimateur Cressie réussisse davantage à gérer les valeurs élevées, au vu du modèle théorique en vert (Fig.3).

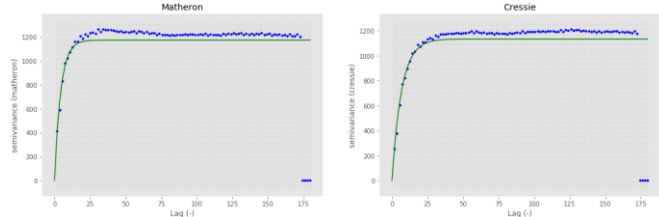


Figure 3 - Estimateurs

Au sujet du modèle théorique, son implémentation est la suivante. Nous définissons une fonction (non linéaire au vu de la forme du variogramme) suivant une équation, puis par la méthode classique des moindres carrés on l'ajuste (point estimé égal à la différence entre le point empirique et prédit élevé au carré).

Il existe alors plusieurs fonctions, deux classiques, sphériques et exponentielles. Le modèle exponentiel est assez semblable au modèle sphérique. Il modélise aussi des valeurs de semi-variance qui augmentent exponentiellement avec la distance, comme le modèle sphérique, mais la principale différence est que cette augmentation n'est pas aussi forte que pour la sphérique. Cela veut dire que la valeur seuil (le plateau) est plus grande pour un modèle exponentiel, théoriquement au-delà du plateau la corrélation entre les points est ne disparaît qu'à une distance infinie tandis que pour le modèle sphérique, au-delà du seuil la corrélation vaut 0. Donc le modèle exponentiel serait plus adapté à de gros objets.

Il est d'usage de ne représenter sur le variogramme que la moitié des distances h , car au-delà la variance n'est plus interprétable à l'échelle des données (Cela est adapter selon la taille des objets de l'image)

Dans notre cas, nos images faisant 512x512, nous décidons de ne représenter que $\frac{1}{4}$ des h totaux car le point d'inflexion du seuil arrive assez tôt sur nos images. De plus nous projetons 100 points (100 premiers couples à une distance h augmentant) pour avoir une courbe bien définie et une estimation de la valeur seuil la plus précise, car elle reflètera la taille des objets dans l'image.

Au vu des tests effectués et des RMSE obtenues, le modèle classique exponentiel semble satisfaire un bon ajustement et un recouvrement du point d'inflexion satisfaisant sur les images étudiées (Fig.4).

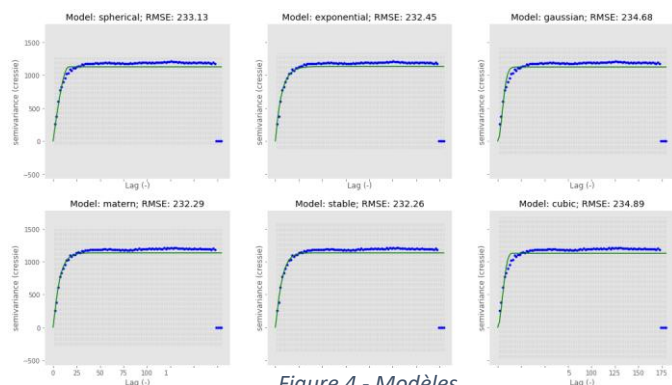


Figure 4 - Modèles

Il existe un compromis dans ces paramètres choisis. Plus nous projetons de points sur le graphique, plus nous introduisons de la précision sur la valeur estimée, mais aussi de la variabilité, et par ce fait, moins l'ajustement est bon.

Concernant l'interprétation plus la valeur seuil est atteinte rapidement (plateau), plus la variance augmente quand les points se séparent, plus vite les points proches ne sont plus corrélés entre eux, et donc plus les objets de l'image ont une faible résolution spatiale (ils sont petits).

2. Résultats

Voici ces mêmes paramètres sur des images de blé (Phenix Lab) à différentes résolutions. La résolution spatiale estimée correspond à la valeur de l'Effective Range (valeur de l'abscisse, la distance h entre paires de points, quand la courbe atteint le plateau) (Fig.5).

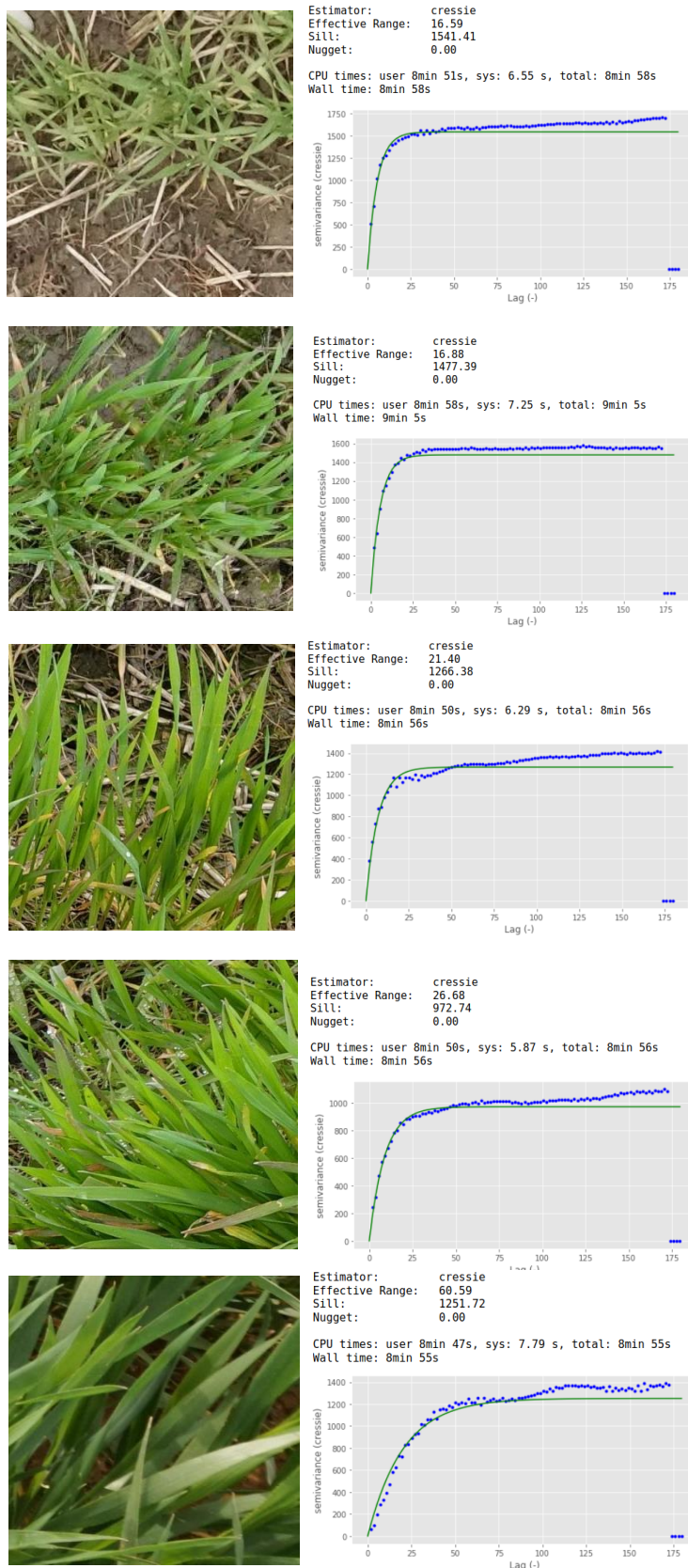


Figure 5 – Images de blé et leurs variogrammes associés

Voici désormais sur d'autres espèces céréalières (respectivement maïs et riz) (Fig.6).

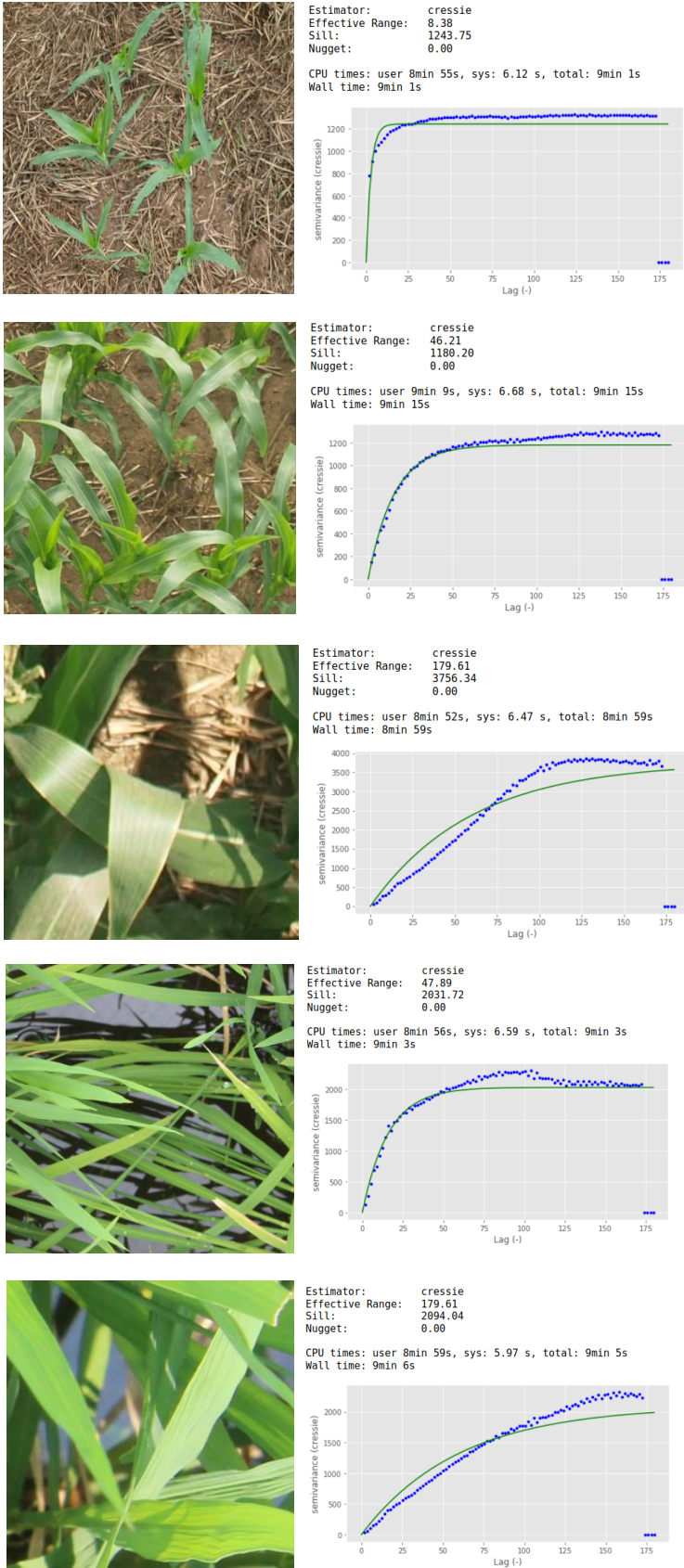


Figure 6 – Images de maïs et de riz (respectivement 3 puis 2) et leurs variogrammes associés

Pour ces dernières images de maïs et de riz, il semble que le palier soit en dehors du cadre, pour cette configuration, agrandissons le cadre, soit $\frac{1}{2}$ des h totaux. Pour les objets imposants l'agrandissement du cadre sera nécessaire (Fig.7).

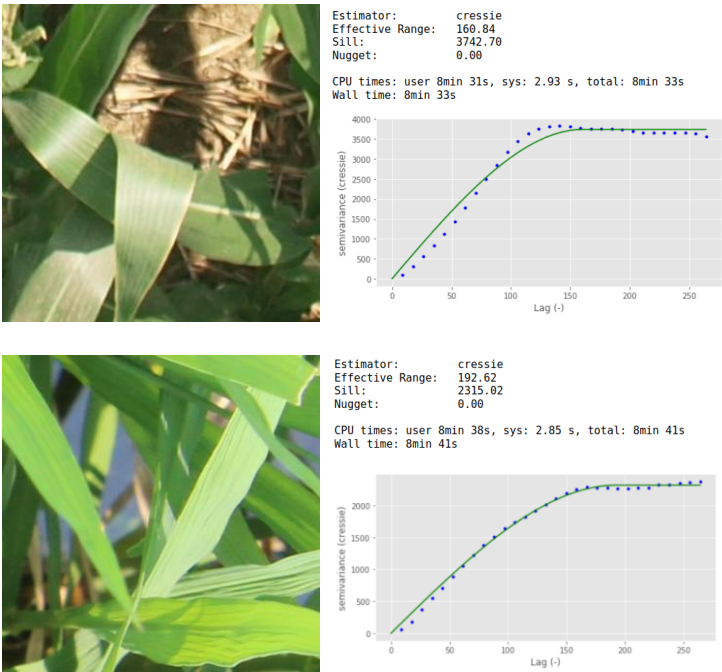


Figure 7 – Images de maïs et de riz (respectivement) et leurs variogrammes ajustés associés

2.1 Dégradation de la résolution

Intéressons-nous désormais à l'influence de la qualité de l'image sur la résolution spatiale. Nous dégradons l'image par downsampling en conservant la dimension de 512x512 initiale (resize). Ainsi notre image se voit dotée d'une résolution spatiale augmentant aussi longtemps que nous dégradons l'image. Nous effectuons cette transformation sur un ratio 8, 64 et 128 (Fig.8).

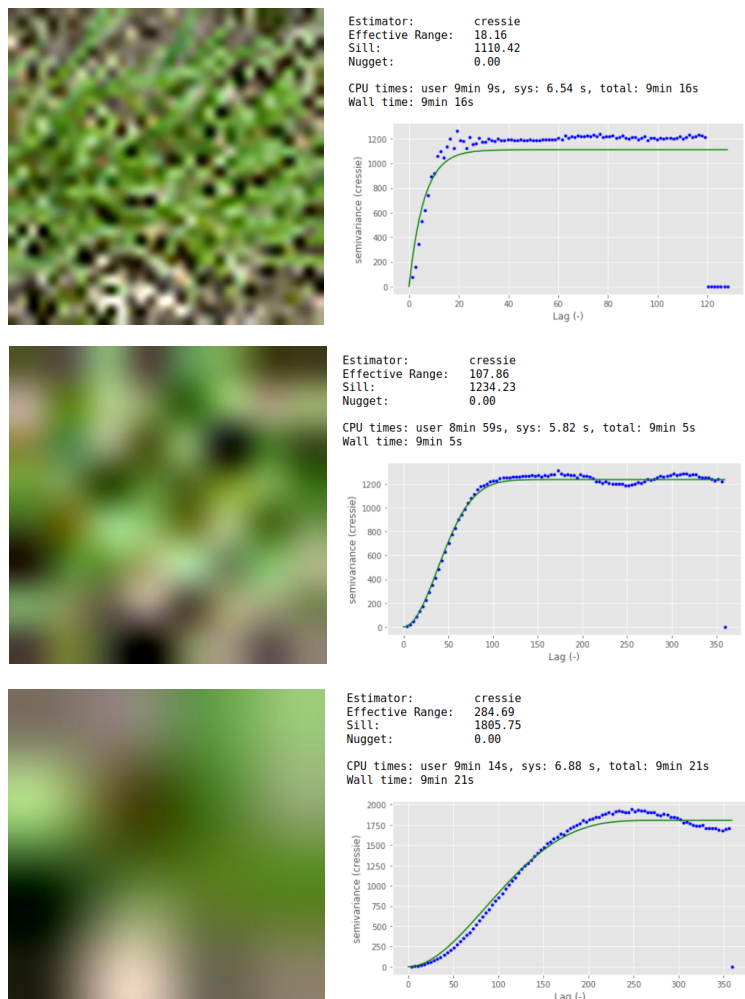


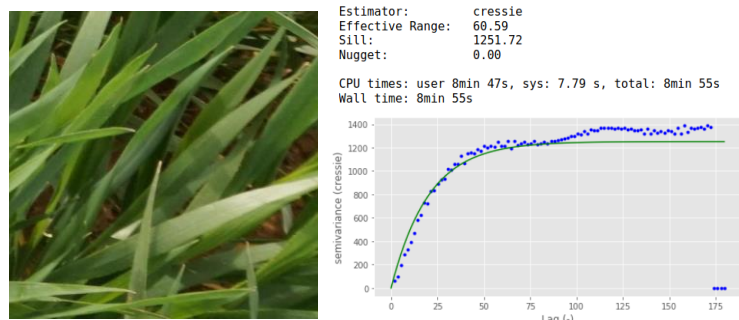
Figure 8 – Image utilisée en test dégradée (ratio de haut en bas : 8,64,128) et leurs variogrammes associés

Pour ces deux dernières images, le modèle choisi n'était plus exponentiel, mais cubic/gaussien qui se rapproche davantage du tracé expérimental.

2.2 Variogramme directionnel

Un aspect non abordé reste en suspens, la direction. Nous avons indiqué que le variogramme effectué était omnidirectionnel, or il est possible de choisir la direction des paires de points de même distance, afin de forcer la variogramme à n'augmenter la distance que sur l'axe directionnel indiqué et donc à augmenter la précision si tous les objets de l'image sont dans ce sens. Cependant la problématique appliquée aux plantes est discutable. Là où en géologie, les strates des sols sont propices à la direction verticale (90°) et horizontale (0°), ici plusieurs facteurs peuvent déplacer les feuilles dans n'importe quelle direction (stade de développement, espèces,...) donc celles-ci ne se retrouvent jamais dans une même direction et de ce fait estimer la résolution spatiale pour un seul élément dans la direction étudiée par exemple, semble peu viable statistiquement. De plus le temps de calcul pour une image, un variogramme, une direction, est d'une heure rendant la classification rapide des images selon leur résolution spatiale impossible.

Pour exemple l'image ci-dessous, en omnidirectionnel, elle possède un niveau de détail acceptable, ayant même un motif cyclique cohérent avec l'agencement des feuilles.



Ci-contre les résultats de l'image, selon plusieurs directions, à noter qu'au vu du temps de calcul, la grille des points utilisée était de 64x64, et nous avons projeté 10 points (Fig.9).

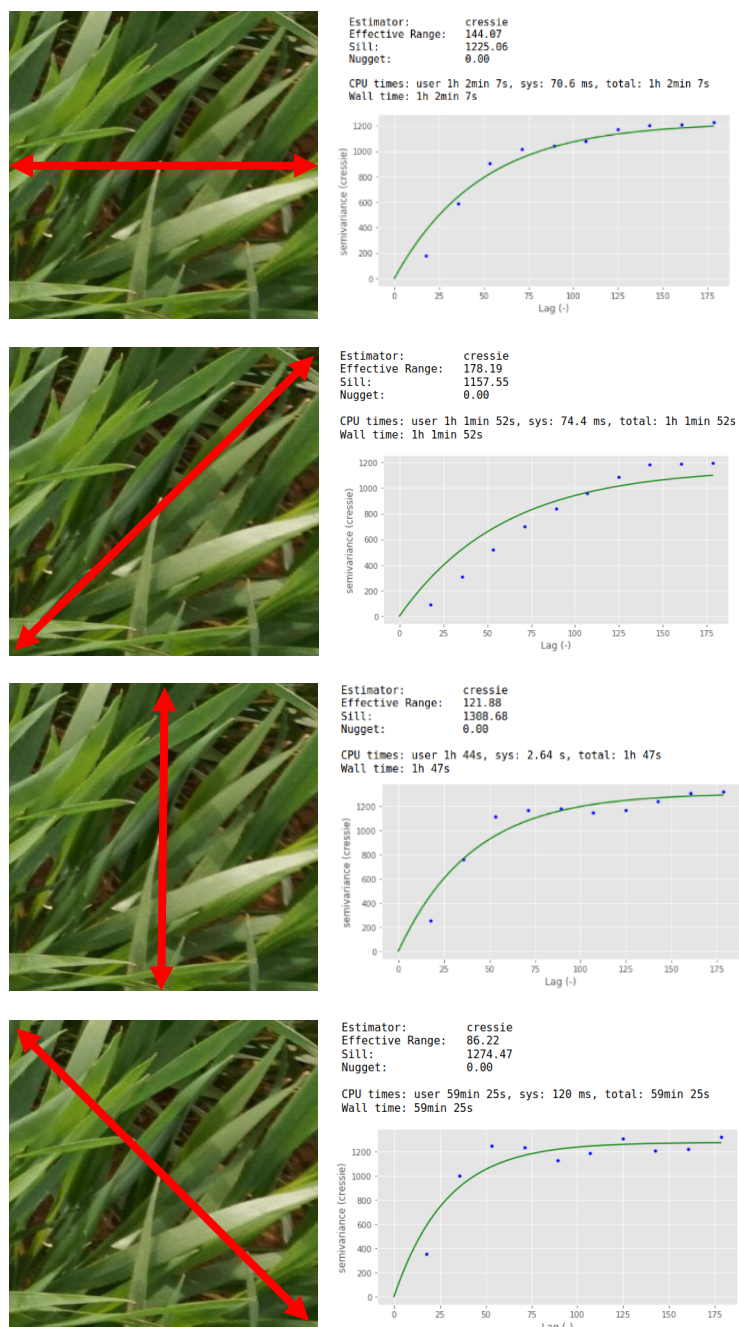


Figure 9 – Images de blé et leurs variogrammes associés selon plusieurs directions (direction en degré de haut en bas : 0, 45, 90, 135)

La taille du cadre 45° n'est pas assez élevée, ce qui est compréhensible au vu des feuilles orientées à 45°, la valeur range estimée équivaut à la longueur des feuilles (de la base à la pointe).

2.3 Ombrages

Une limite a été détectée lors de diverses phases de tests. Quand nous utilisons cet outil sur des images de riz, dans des rizières, tous types d'objets présents dans le champ se reflètent dans l'eau formant ainsi des ombres (Fig.10), faussant alors l'estimation de l'effective range. Dans les images suivantes une grille a été posée, les carrés sont de côtés égaux à l'effective range estimée, afin de se rendre compte de la taille.

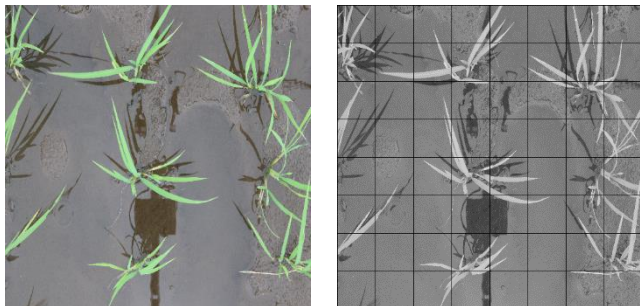


Figure 10 – Le reflet de la caméra dans l'eau fausse l'estimation, ici à 66 px.

De ce fait, pour masquer l'arrière-plan et se focaliser sur les feuilles un masque est apposé. Ce masque est obtenu soit manuellement, d'une segmentation manuelle, ou par ExcessGreen technique rapide permettant d'appliquer à n'importe quelle image le variogramme sans segmentation manuelle. Ajoutons enfin que les valeurs nulles (pixels noirs) sont supprimées dans le protocole de mise en place du variogramme.

Nous obtenons un résultat bien plus satisfaisant (Fig.11).

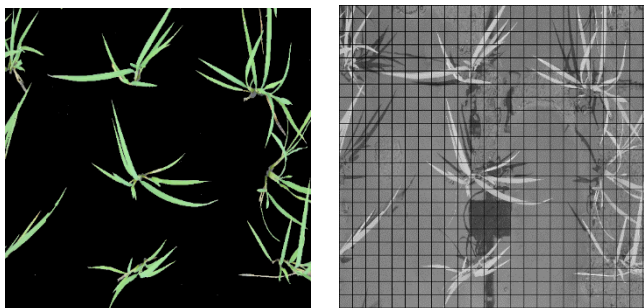


Figure 11 – Sans le reflet de la caméra dans l'eau l'estimation est davantage correcte, ici à 20 px.

2.4 Petits éléments

Précédemment la taille de grille fut fixée à 128, considérée comme efficace sur nos images. Cependant si l'on décide de travailler sur de plus petits éléments, ou sur de plus petites images, cette grille peut s'avérer être trop grossière pour capter les petits objets de l'image et donc pour estimer correctement l'effective range. Ci-après une image volontairement réduite de façon à minimiser l'effective range (Fig.12).

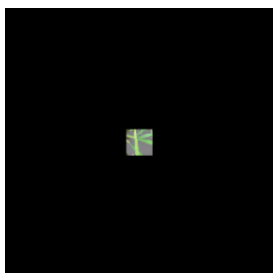


Figure 12 – Image réduite de 512x512 vers 70x70 px.

Puis nous avons fait varier la taille de la grille (Fig.13).

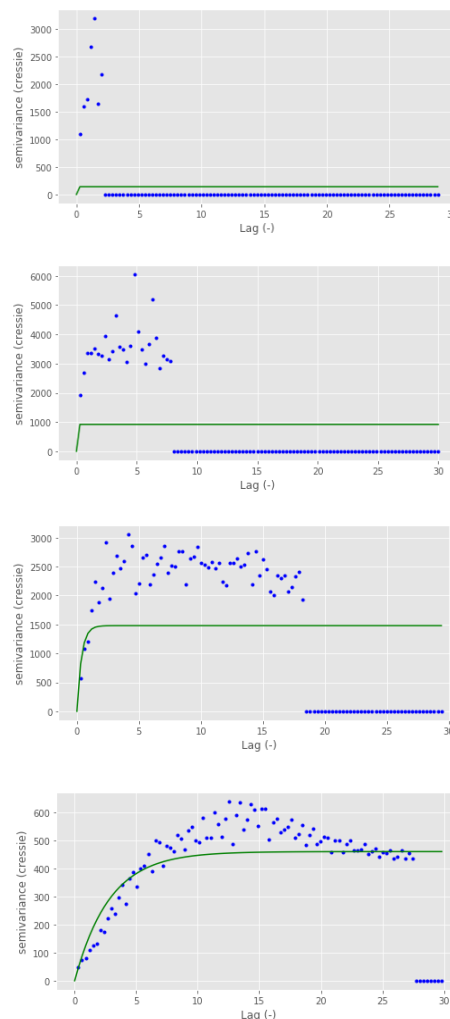


Figure 13 – Les variogrammes de l'image Fig.12 avec une grille, respectivement de 64, 128, 216 et 512

3. Conclusion

En guise de conclusion, chaque image doit être traitée indépendamment, les variogrammes possèdent de nombreux paramètres à définir selon, entre autres, le temps de calcul, la taille originale des éléments de l'image, l'arrière-plan devant être traité avec un masque ou suffisamment uniforme, la direction, la résolution, les estimateurs, les modèles théoriques, etc...

De cette façon, cet outil bien que puissant et précis, est relativement long et nécessite une adaptation humaine, et ne peut être qu'automatisé uniquement via des algorithmes itératifs évolutifs, là encore avec supervision humaine.