

VALIDATION DE LA PRISE DE TOPOGRAPHIES PAR U.A.V. POUR LA RÉALISATION DE PLANS DE NIVELLEMENT ET DE DRAINAGE

Réalisé pour :

MAPAQ

a/s Olivier Marois-Mainguy
177 rue St-Joseph, local 201
Ste-Martine, QC
J0S 1V0

15 mars 2017

Réalisé par : Jean-Christophe Hébert, agr.

Table des matières

1. Introduction	4
2. Méthodologie	5
3. Données	7
3.1 Modèles Numériques de Terrain	7
3.2 Différence entre les MNT	7
3.3 Analyse des cibles	8
3.4 Plans nivellement.....	9
4. Discussion	10
5. Conclusion	14
Annexe 1 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #47	
Annexe 2 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #48	
Annexe 3 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #16	
Annexe 4 - Différence entre les MNTs de la parcelle #47	
Annexe 5 - Différence entre les MNTs de la parcelle #48	
Annexe 6 - Différence entre les MNTs de la parcelle #16	
Annexe 7 - Profils d'élévation de la parcelle #47	
Annexe 8 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #47	
Annexe 9 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #48	
Annexe 10 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #16	

Liste des figures

Figure 1 : Statistiques concernant les différences d'élévation entre les MNT drone et GPS	7
Figure 2 : Statistiques concernant la différence d'élévation des cibles relevées	8
Figure 3 : Comparatif des plans de nivellement	9

Liste des photos

Photo 1 : Drone Ebee RTK de Sensefly	5
--	---

1. Introduction

L'acquisition de données topographiques précises est essentielle pour la réalisation de plans de drainage et de nivellement. Les méthodes d'acquisition de données topographiques évoluent dans le temps grâce au développement de nouvelles technologies. C'est ainsi que la prise de topographie par drone ou U.A.V. (Unmanned Aerial Vehicle) offre de nouvelles possibilités par rapport à la technologie GPS actuellement utilisée. Cette technologie repose en partie sur la technique de photogrammétrie qui consiste à produire un modèle 3D d'un terrain à partir de la superposition d'images planes de ce terrain, perçues sous des angles différents. Cette technique est abondamment utilisée dans les domaines du génie civil, de l'exploitation minière et de la foresterie qui exigent parfois la prise de relevés topographiques dans des conditions difficiles ou impossibles pour des méthodes d'arpentage plus traditionnelles comme des relevés au GPS ou avec une station totale. Un des principaux avantages de l'utilisation de drones pour la prise de relevés est la rapidité d'acquisition des données. À titre comparatif, un relevé topographique utilisé pour faire des plans de nivellement s'effectue habituellement à un rythme de 6 hectares à l'heure et requiert des équipements dispendieux: antennes GPS RTK, VTT, remorque ou camionnette (pickup). La technologie drone offre une alternative moins demandante en termes d'équipements et plus rapide. Selon certaines données, il est possible de relever 30 hectares à l'heure avec un drone et cette technologie ne nécessite pas d'autre équipement spécialisé puisque tout le matériel nécessaire est intégré à bord de l'appareil. Ainsi, si la prise de relevés topographiques par drone s'avère aussi précise que la technologie GPS, il y a un potentiel de gain en productivité et de réduction de coût.

La précision des systèmes GPS RTK avancée par l'industrie est de l'ordre de 1cm en horizontal et 2cm en vertical. Plusieurs facteurs affectent cependant la précision de cette technologie : nombre de satellites visibles, masque d'élévation, interférence radio, erreurs multi-trajets, réfraction dans l'ionosphère, réfraction dans la troposphère distance par rapport à la base... Concrètement sur le terrain, il n'est pas inhabituel de voir la précision horizontale varier de 1-2.5cm, ce qui affecte nécessairement la précision verticale qui variera ainsi de 2 à 5cm. Le drone Ebee RTK de marque Sensefly affiche officiellement une précision qui atteint 3cm en horizontal et 5cm en vertical, ce qui rejoint la précision du GPS. Cependant, la précision du drone varie elle aussi selon différents facteurs : altitude de vol, pourcentage de recouvrement des photos, luminosité, vents, nature de la surface à relever... La question se pose donc de savoir si le drone peut, en conditions de champ, être aussi précis que la technologie GPS pour effectuer des relevés terrain.

Canopée Imagerie Aérienne S.E.N.C. et Logiag inc ont convenu de mener des tests afin de valider la précision de relevés topographiques par drone par rapport à celle de relevés faits de manière conventionnelle avec un système GPS RTK. Le projet vise également à se familiariser avec la technologie drone et à bien en cerner les possibilités et limitations.

2. Méthodologie

Logiag inc était responsable des relevés GPS. Ceux-ci ont été effectués à l'aide d'un système GPS RTK Geomax Zenith 25 dont la précision alléguée est de 1cm en horizontal et 2cm en élévation. Les relevés ont été acquis en VTT avec des passages successifs espacés d'environ 7 mètres (22 pieds) et à une vitesse cible de 25 km/h. Sur un même passage, les points étaient distants d'environ 7m, ce qui donne une densité de collecte de données d'environ 1 point par 50m². Une douzaine de cibles au sol ont été disposées aux extrémités et à l'intérieur de chaque parcelle. Ces cibles ont été relevées au GPS avec une canne d'arpentage afin de pouvoir effectuer des validations ponctuelles. Canopée Imagerie Aérienne S.E.N.C. a procédé quant à elle aux vols de drone. Le modèle utilisé pour mener les tests était un eBee RTK de marque Sensefly (photo). Le manufacturier allègue que la précision peut atteindre 3cm en horizontal et 5cm en vertical. Les paramètres de vol prévus au projet étaient de 80m d'altitude, 80% de recouvrement entre les photos et 70% de recouvrement latéral. Ces paramètres ont été retenus dans le but d'optimiser le niveau de précision des données acquises par drone. Les vols de drone ont permis de relever le relief des parcelles et les cibles en une seule opération par champ. Les données drone fournies étaient des MNT en format .tif avec une résolution de 10-25cm/pixel générés avec le logiciel Pix4D.



Photo 1 : Drone Ebee RTK de Sensefly

Suite aux relevés terrain, les données acquises par drone et par GPS ont été traitées sur le logiciel Quantum GIS qui intègre des fonctionnalités de SAGA GIS et Grass GIS. Des Modèles Numériques de Terrain(MNT) ont été produits pour chaque relevé. Les modèles

produits étaient des réseaux de triangulation irréguliers (TIN) à une résolution de 1m. Pour chaque parcelle, l'outil «Calculatrice Raster» a été utilisé pour calculer la différence entre le MNT drone et le MNT GPS correspondant. Ce calcul a permis d'évaluer le niveau d'écart des données entre les 2 méthodes et de sortir des statistiques de dispersion des écarts calculés. Ensuite, pour chaque parcelle, l'outil «point sampling tool» a été utilisé pour interroger le MNT drone et extraire les données d'élévation correspondant aux coordonnées GPS des cibles relevées avec la canne d'arpentage. Cette procédure a permis de faire une validation ponctuelle des données drone par rapport aux données GPS en utilisant des données mesurées réellement plutôt qu'interpolées. La précision d'une antenne GPS fluctue généralement de 1-2.5cm en horizontal selon le moment de la journée et la conformation de la constellation des satellites. La précision en élévation est 2 fois moindre qu'en horizontal, ce qui donne une marge d'erreur de $\pm 5\text{cm}$ en élévation. L'intervalle de précision du GPS retenu dans le cadre du présent projet pour comparer les MNT est donc de 10cm. Finalement, pour chaque parcelle, un plan de nivellement de type «laser» a été produit sur le logiciel Agform3D en utilisant les données des relevés drone et GPS. Pour chaque parcelle, les mêmes critères de conception ont été appliqués aux plans réalisés à partir des données drone et GPS. Ces plans, de par les différences dans les cartes de remblais/déblais, permettent de comparer les différences entre les 2 méthodes de relevé terrain.

Trois parcelles ont été sélectionnées pour mener à bien l'essai comparatif. Deux parcelles, soit les #47 et #48, sont cultivées par Agri-Fusion 2000 inc. Elles sont situées à St-Clet sur le chemin de la cité des jeunes. En 2016, ces parcelles étaient cultivées en blé. Ainsi, Le 11 mai 2016, les parcelles #47 et 48 ont été arpentées au GPS et par drone. Les paramètres de vol utilisés étaient de 75m d'altitude, 80% de recouvrement entre les photos et 70% de recouvrement entre les passages. La journée des tests, la météo était bonne : ciel dégagé, peu de vent et forte luminosité. Le terrain à relever avait été travaillé, mais non semé. Le sol était un loam sablonneux bien émiétté, présentant un aspect homogène peu motteux et sans résidus.

La troisième parcelle sélectionnée, la #16, est cultivée par Ferme Roland et Sylvain Pion inc dans la municipalité de Bedford. Celle-ci était cultivée en soya sous régie de semis direct en 2016. Le 9 novembre, la parcelle #16 a été arpentée par drone. À la suggestion du fournisseur de drone, Jean-François Dionne de Ukko Canada inc, les paramètres de vol ont été modifiés à 90m d'altitude et 80% de recouvrement entre les photos et entre les passages. Cette modification a été apportée au protocole d'essai en raison de la qualité dégradée des données lors des 2 premiers vols. En raison d'un problème technique, le relevé GPS a été réalisé dans un 2^e temps le 14 novembre avec des antennes GPS RTK Hemisphere S321. La journée des tests, la météo était bonne : ciel couvert d'un faible voile nuageux, absence de précipitations, peu de vent et bonne luminosité.

3. Données

3.1 Modèles Numériques de Terrain

Les modèles numériques de terrain produits pour chaque parcelle avec les relevés GPS et drone sont joints aux annexes 1 à 3. Des courbes de niveaux espacées aux 20-30cm ont été ajoutées pour améliorer le rendu visuel.

3.2 Différence entre les MNT

Voici les données statistiques concernant la différence entre les MNT drone et GPS des 3 parcelles utilisées pour faire les tests :

Paramètres		Différence (m)		
# parcelle		#47	#48	#16
Min		-0.14	-0.31	-0.14
Max		0.64	0.35	1.27
Moyenne		0.083	0.055	0.058
Distribution	Écart type	0.051	0.045	0.056
	68%	±0.05	±0.05	±0.06
	95%	±0.10	±0.09	±0.11
	99.7%	±0.15	±0.14	±0.17

Figure 1 : Statistiques concernant les différences d'élévation entre les MNT drone et GPS

Les représentations graphiques de la différence entre les MNTs drone et les MNTs GPS des parcelles #47, #48 et #16 se trouvent aux annexes 4, 5 et 6 respectivement. Des agrandissements pour chaque parcelle ont été ajoutés afin de mieux illustrer l'étendue et la distribution spatiale des écarts entre les MNTs. En annexe 7, trois profils comparant le MNT drone et le MNT GPS de la parcelle #47 présentent visuellement l'écart entre ceux-ci.

3.3 Analyse des cibles

Voici les données statistiques concernant la différence d'élévation entre les MNTs drone et les coordonnées GPS des cibles pour les 3 parcelles utilisées lors des tests :

CIBLE #	Différence (m)		
	#47	#48	#16
1	-0.06	0.04	0.04
2	-0.02	0.06	0.02
3	0.00	0.02	0.01
4	-0.01	-0.03	0.01
5	0.02	0.01	0.03
6	0.05	-0.02	0.04
7	0.09	0.00	0.00
8	0.05	-0.04	0.02
9	0.01	-0.01	0.01
10	0.04	0.00	-0.01
11	0.04	-0.01	0.01
12	0.03	ND	ND
13	0.07	ND	ND
Moyenne	0.02	0.00	0.02
Écart type	0.04	0.03	0.02
68%	0.04	0.03	0.02
95%	0.08	0.06	0.03
99.7%	0.12	0.09	0.05

Figure 2 : Statistiques concernant la différence d'élévation des cibles

3.4 Plans nivellement

Les tableaux ci-bas présentent les données pertinentes des plans de nivellement réalisés à partir des données GPS et des données drone pour chaque parcelle en utilisant des designs «laser» identiques :

Champ #47

Paramètres	GPS	Drone	Différence	Différence (%)
Déblais maximum (m)	0.23	0.68	0.45	196%
Remblais maximum (m)	0.23	0.84	0.61	262%
Cubage moyen (m ³ /ha)	179	243	64	36%

Champ #48

Paramètres	GPS	Drone	Différence	Différence (%)
Déblais maximum (m)	0.37	0.54	0.17	46%
Remblais maximum (m)	0.37	0.42	0.06	16%
Cubage moyen (m ³ /ha)	260	308	48	18%

Champ #16

Paramètres	GPS	Drone	Différence	Différence (%)	Section
Déblais maximum (m)	3.53	3.56	0.04	1%	1
Remblais maximum (m)	2.88	2.94	0.06	2%	
Cubage moyen (m ³ /ha)	4714	4758	44	1%	
Déblais maximum (m)	2.12	2.15	0.03	1%	2
Remblais maximum (m)	3.67	3.55	-0.12	-3%	
Cubage moyen (m ³ /ha)	4862	4881	19	0.4%	

Figure 3 : Comparatif des plans de nivellement

Pour la parcelle #47, le champ au complet a été traité avec un design de type «laser» pour créer un plan se conformant à une contrainte de pente sur la longueur de 0.1% et de 0.03% latéralement.

Pour la parcelle #48, le champ au complet a été traité avec un design de type «laser» pour créer un plan se conformant à une contrainte de pente sur la longueur de 0.07% et de 0.05% latéralement.

La parcelle #16 a été scindée en 2 sections pour tenir compte de la crête située au milieu du champ qui divise celui-ci en plans s'égouttant dans des directions opposées. Chacune des 2 sections a été traitée avec un design de type «laser». Ainsi, la section 1 utilise des pentes longitudinale et latérales de 2.2% et de 0.25% respectivement. La section 2 quant à elle utilise des pentes longitudinale et latérale de 0.25% et de 1.15% respectivement.

4. Discussion

L'observation des MNTs drone et GPS de chaque parcelle, présentés aux annexes 1, 2 et 3, permet de constater que pour l'essentiel, les 2 techniques de collecte de données topographiques produisent des reliefs qui se ressemblent. On observe grosso modo les mêmes tendances dans le terrain : les butons et les dépressions sont aux mêmes endroits et ont sensiblement les mêmes dimensions. On remarque cependant que les MNTs drone produisent un relief plus fin et plus détaillé que ceux produits à partir d'un relevé GPS, même si les MNT ont tous été ramenés à une grille de points de 1m x 1m. Ceci s'explique par le fait que la plus grande résolution initiale des données drone permet de capter plus de données, ce qui peut permettre de mieux représenter la variabilité du relief. Toutefois, les données drones, bien que plus denses, ne sont pas forcément de meilleure qualité que celles du GPS. Ceci est particulièrement évident quand on examine les MNT drone des champs #47 et #48 (annexes 1 et 2). La présence de petites taches noires à plusieurs endroits sur les cartes de relief indique des variations de 20cm en élévation, ce qui apparaît improbable pour du terrain agricole relativement plat et travaillé en prévision des semis. Ce phénomène est particulièrement évident quand on examine des profils longitudinaux d'élévation comparant les MNT drone et GPS dans le champ #47 (annexe 7). Les profils 1 et 2 montrent une grande variabilité des données drone, avec des pics et des creux dont les écarts vont de 10 à 30cm par rapport au GPS. Tel qu'indiqué plus tôt, de tels écarts d'élévation ne sont pas le reflet du relief terrain, mais plutôt d'une qualité de données dégradée. À titre comparatif, le profil 3 présente une variabilité des données d'élévation beaucoup moindre, qui reste dans la marge d'erreur des données GPS et qui colle mieux au relief relativement plat du terrain. Les données drones peuvent donc être «bruitées» lorsque l'acquisition de données s'effectue dans de mauvaises conditions. Heureusement, le rapport de vol, fourni lors du post-traitement des données, permet de savoir quand cela se produit.

Les données présentées dans le tableau de la figure 2 indiquent les écarts de mesures entre les données du MNT drone et les données acquises au GPS avec une canne d'arpentage pour les cibles au sol. La validation des données drone s'effectue ici en se basant sur des données GPS mesurées plutôt qu'extrapolées. On remarque que l'écart moyen entre les données drone et GPS est très bas et varie entre 0 et 2cm. La moyenne, bien qu'intéressante comme mesure statistique, est toutefois d'une utilité limitée lorsqu'utilisée seule pour évaluer la précision des données. C'est pourquoi on doit la combiner à l'écart type. Cette mesure statistique mesure la variabilité des données par rapport à la moyenne et permet ainsi de mieux jauger l'étendue des écarts selon la loi normale de distribution. Les écarts types mesurés pour les parcelles #47, #48 et #16 sont respectivement de 4cm, 3cm et de 0.016cm. Selon la loi normale de distribution, cela veut dire que pour le champ #47, 95% des écarts mesurés sont à l'intérieur de l'intervalle de précision du GPS. Pour les champs #48 et #16, 99.7% des écarts d'élévation entre les mesures GPS des cibles et celles du drone sont compris à l'intérieur de l'intervalle de précision du GPS. Si on se fie à ces résultats, la précision des relevés par drone est équivalente à celles des mesures par GPS. On remarque toutefois, que la précision varie d'un champ à l'autre et qu'elle est nettement meilleure pour le champ #16.

Les données présentées dans le tableau de la figure 1 indiquent les écarts d'élévation entre les MNTs drone et GPS. La comparaison des données s'effectue ici en se basant sur des données GPS mesurées et extrapolées lors de la création des MNT. On remarque que les MNTs drone des champs #47, #48 et #16 sont respectivement 8cm, 6cm et 6cm plus élevés que leur MNT GPS respectif, même si leur géo-référencement est calé sur les cibles relevées au GPS. Au niveau des écarts types, on obtient des valeurs de 5cm, 4.5cm et 5.6cm pour les champs #47, #48 et #16 respectivement. Selon la loi normale de distribution, cela veut dire que pour le champ #47, près de 50% des écarts d'élévation entre les MNT drone et GPS sont compris à l'intérieur de l'intervalle de précision du GPS. C'est donc dire qu'il existe un écart de plus de 10cm entre le MNT drone et le MNT GPS sur environ 50% de la superficie relevée du champ #47. La qualité des données drone est donc questionnable. Pour les champs #48 et #16, près de 84% des écarts d'élévation entre les MNT drone et GPS sont compris à l'intérieur de l'intervalle de précision du GPS. Il subsiste une proportion de 16% d'écarts d'élévation à expliquer pour juger de la qualité des données drone. À la lumière de ces résultats, on remarque que le niveau de précision à l'échelle du champ semble inférieur à ce qui a été obtenu en comparant les données d'élévation des cibles.

Les représentations graphiques des écarts entre les MNT drone et GPS présentées aux annexes 4, 5 et 6 sont très utiles pour évaluer l'amplitude et l'étendue des écarts qui existent. On remarque dans le champ #47 (annexe4) des zones relativement étendues où le MNT drone est systématiquement plus élevé de 10 à 30cm par rapport au MNT GPS. Tel qu'indiqué précédemment, les profils d'élévation #1 et #2 présentés à l'annexe 7 illustrent bien la différence qui existe entre les 2 MNT à ces endroits précis. Cette différence ne peut s'expliquer autrement que par une mauvaise qualité des données drone

localement. Jean-François Dionne de Ukko Canada inc a d'ailleurs confirmé qu'un phénomène de réverbération de la lumière sur le sol sablonneux avait ébloui la caméra lors du 1^{er} vol. Ceci a eu pour effet d'altérer la qualité des images prises par le drone et donc de nuire à la qualité des données d'élévation. Sinon, on remarque, sur le côté sud-ouest de la parcelle #47 une zone d'écart important entre les 2 MNTs, située entre 2 passages de 4 roues. L'écart est important entre les passages, mais nul vis-à-vis des points relevés au GPS. On peut en déduire que le drone, à cet endroit, produit un relief qui suit les mesures d'élévation du GPS à l'exception de la zone entre les points GPS. Ceci semble donc indiquer que la différence vient de l'interpolation faite pour créer le MNT GPS. Le relief du terrain change brusquement en bordure de champ. Le relevé drone avec sa résolution aux 1m capte ce changement alors que le relevé GPS l'atténue en reliant les points GPS de façon linéaire. En dehors de ces zones, on remarque peu d'écart entre les 2 MNT de la parcelle #47.

Pour ce qui est de la parcelle #48, on observe le même phénomène, quoique dans une moindre mesure. Effectivement, tel qu'indiqué précédemment, seulement 16% des écarts mesurés dépassent l'intervalle de précision du GPS.

La carte présentée à l'annexe 6 montre la différence d'élévation entre le MNT drone et le MNT GPS pour la parcelle #16. Contrairement aux cartes des champs #47 et #48, on remarque ici que la matrice de fond est essentiellement verte avec quelques petites zones rouges réparties dans le champ. Ceci revient à dire que le MNT drone correspond essentiellement au MNT GPS sauf à quelques endroits. L'agrandissement de la carte permet de voir que les écarts entre les MNT drone et GPS sont en grande majorité situés entre des passages de 4 roues ou entre 2 points GPS d'un même passage. Ceci semble donc démontrer que la différence s'explique par l'interpolation qui est faite lors de la création du MNT pour relier les points du relevé GPS. Comme le relief du champ #16 est fortement vallonné, il existe des changements brusques et non-linéaires dans le relief que le GPS ne capte pas avec une grille de points relevés aux 7m. Dans ce cas-ci, la qualité des données drone n'est pas en cause. Par ailleurs, de petites zones restreintes situées en bordure de champ ressortent plus hautes sur le MNT drone que sur le MNT GPS. Cette différence s'explique par la présence de végétation: touffe de soya non-récolté, présence de phragmites en bord de champ, amas de rejets de battage, présence de maïs grain dans la parcelle voisine surplombant la bordure de la parcelle. Dans ce cas-ci, les données drones apparaissent plus élevées que les données GPS parce que le drone a mesuré les élévations sur la végétation plutôt qu'au sol. Les données drones se trouvent donc à être faussées par rapport à la réalité. Il ne s'agit pas toutefois d'un manque de précision ou d'une erreur dans les données, c'est plutôt une question de limitation liée à la prise de topographie par drone. En effet, la photogrammétrie permet de bâtir un modèle 3D du terrain à partir d'images, le sol doit donc être visible pour pouvoir créer un MNT représentatif du relief réel.

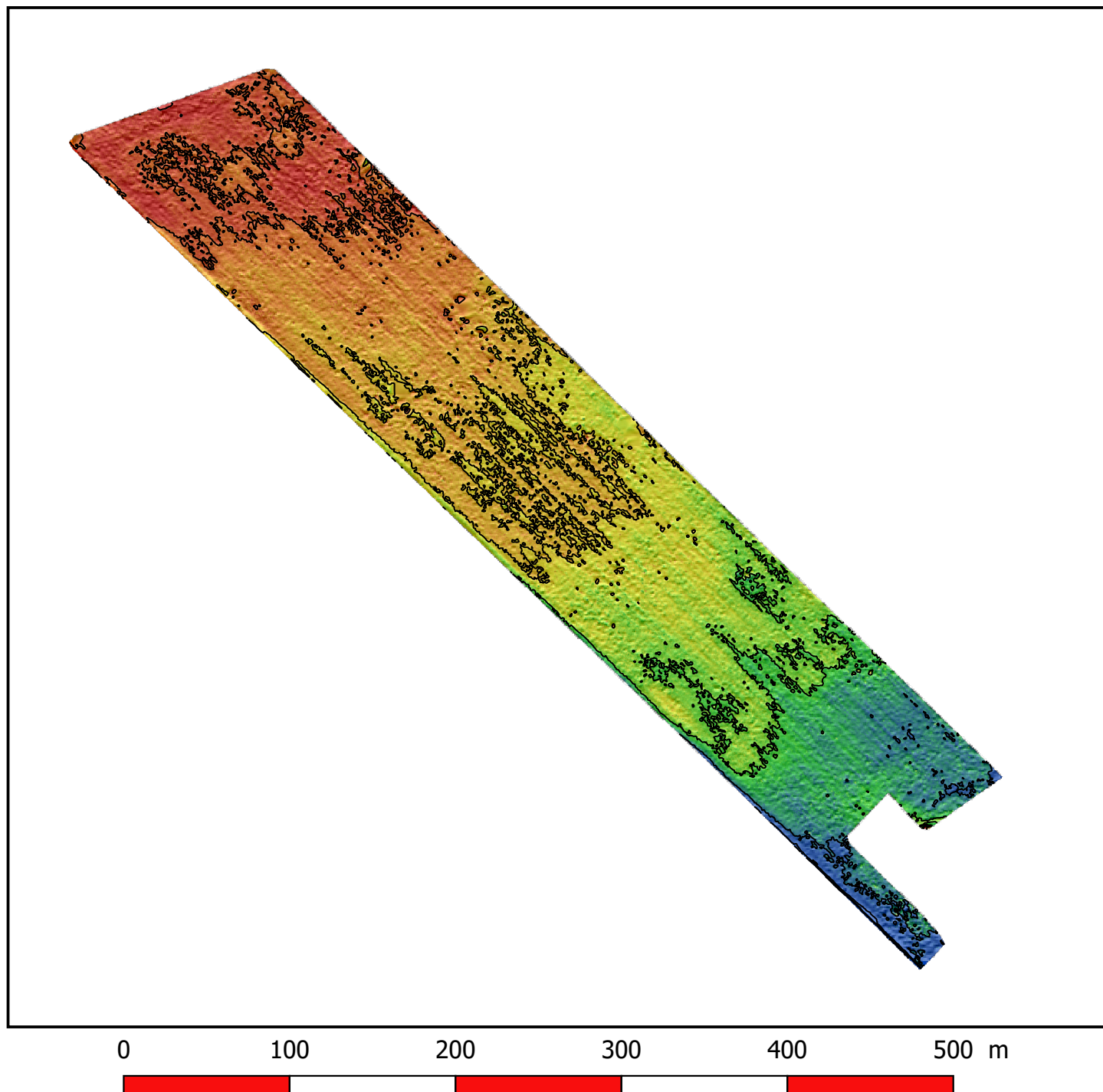
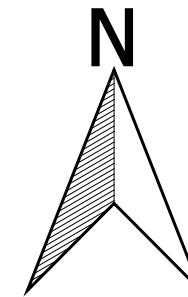
Les plans de nivellement réalisés à partir des données GPS et drone donnent aussi un bon aperçu du degré de similitude des données topographiques. En utilisant une approche de nivellement au laser qui produit une surface parfaitement plane, on obtient une base de comparaison fixe pour comparer les 2 techniques d'acquisition de topographies. Les différences dans les données de relief ressortent nécessairement dans les cartes de remblais/déblais que le logiciel de nivellement produit. Celles-ci sont présentées aux annexes 8, 9 et 10 pour les champs #47, #48 et #16 respectivement. Les tableaux de la figure 3 présentent quant à eux des données permettant de comparer l'ampleur des travaux de nivellement pour chaque plan produit. En examinant les données du champ #47, on se rend compte que le plan de nivellement produit avec les données drone déplace $64\text{m}^3/\text{ha}$ plus de terre que celui produit à partir du relevé GPS. Il s'agit d'une différence de 36%, ce qui est considérable. On remarque aussi de grandes différences au niveau des remblais et déblais maximum. Ainsi, le relevé drone a produit un MNT avec des dépressions plus creuses et des butes plus élevées que le relevé GPS. L'amplitude de la variation des remblais/déblais maximum reflète le bruitage des données drone lors du 1^{er} vol. Pour la parcelle #48, le plan de nivellement produit avec les données drone déplace $48\text{m}^3/\text{ha}$ plus de terre que celui produit à partir du relevé GPS. Il s'agit d'une différence de 18%, ce qui demeure significatif. On remarque que le déblai maximum est 46% plus élevé pour le relevé drone que pour le relevé GPS. L'écart au niveau des remblais maximum est moindre, quoique significatif. Encore une fois, le relevé drone a produit un MNT dont l'amplitude des dépressions et des butes est exagérée par rapport au relevé GPS, bien que dans une moindre mesure par rapport au champ #47. Pour ce qui est du champ #16, les plans de nivellement ont été divisés en 2 sections pour tenir compte d'un bouton situé au milieu de la parcelle. Contrairement aux 2 parcelles précédentes, on observe peu d'écart dans les déplacements de terre. La différence dans les volumes de sol déplacés n'est que de $\leq 1\%$. Ce faible écart se confirme au niveau des remblais/déblais maximum où on observe des écarts non-significatifs de 1 à 3%. Ainsi, les données acquises lors du 3^e vol semblent avoir produit un MNT relativement identique à celui produit à partir du relevé GPS.

5. Conclusion

En conclusion, les données présentées dans le cadre du présent projet nous ont permis de voir les possibilités et les limites de la prise de relevés topographiques par drones. L'examen des différences entre les MNTs drone et GPS, la validation ponctuelle de la précision à l'aide de cibles et la réalisation de plans de nivellement ont permis de vérifier la validité des données topographiques acquises par drone. La précision des données peut être équivalente à celles d'un relevé GPS si les paramètres de vol sont optimisés et que les conditions météorologiques sont favorables. La présence de vent, de végétation, d'une trop forte luminosité, de l'angle du soleil par rapport au sol, la nature du sol etc... sont autant de facteurs à prendre en compte lors de la planification d'un relevé par drone. Les 2 premiers vols du présent projet ont bien démontré l'impact qu'une mauvaise planification peut avoir sur la qualité des données topographiques. L'arpentage au GPS se révèle plus flexible de ce côté. Par ailleurs, le drone possède l'avantage d'avoir une densité de point nettement supérieure au GPS, ce qui permet de mieux représenter le relief d'un champ. À titre d'exemple, un champ de 10 hectares avec une densité de points de $1/m^2$, donne un relevé de 100 000 points. Les logiciels utilisés pour planifier des travaux de nivellement ou de drainage n'ont pas la capacité de gérer autant de données. On doit donc réduire la densité des relevés à un point aux $10-50m^2$ selon la grosseur des champs, ce qui revient à peu près à ce que l'on produit actuellement avec un arpentage au GPS. Au final, l'avantage principal du drone est la possibilité de pouvoir relever des superficies beaucoup plus rapidement qu'au GPS et avec moins d'équipement. Il y a donc une réelle possibilité de gain de productivité. Ceci s'avère particulièrement utile lors de périodes de forte demande en relevés topographiques. Ultimement, l'adoption de cette technologie à grande échelle dépend des coûts. La tarification doit être compétitive par rapport à ce qui est offert sur le marché pour en justifier l'utilisation.

Annexe 1 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #47

MNT Drone - Agri-Fusion #47



Légende

Élévation (m)

■ 49.57

■ 49.75

■ 49.94

■ 50.12

■ 50.30

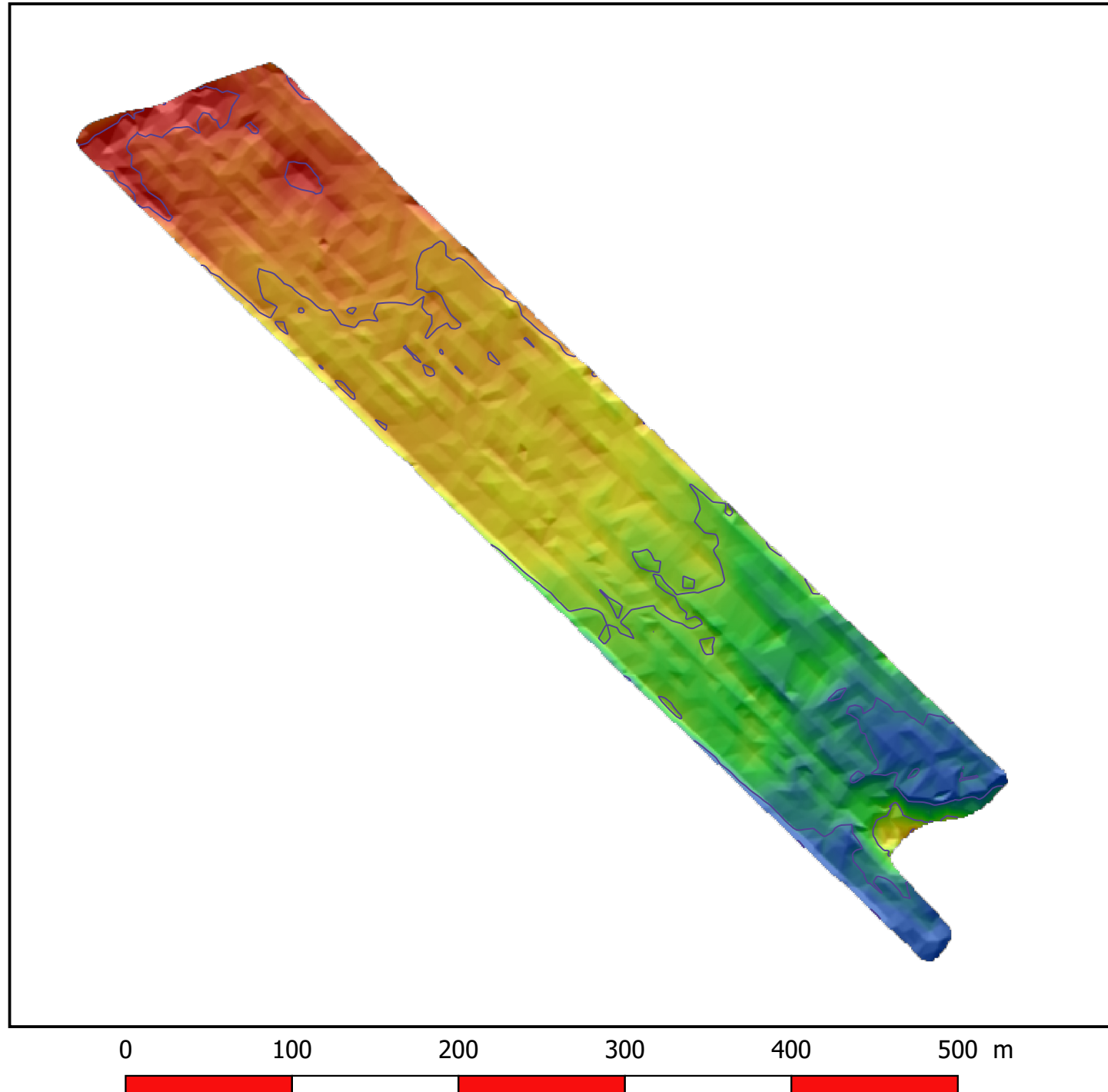
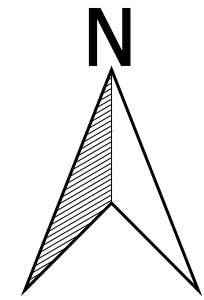
— Isolignes (20cm)

Échelle: 1:3500



LOGIAG

MNT GPS - Agrifusion #47



Légende

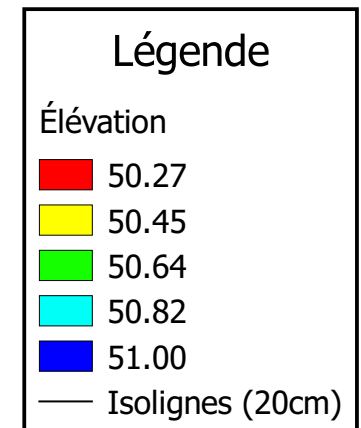
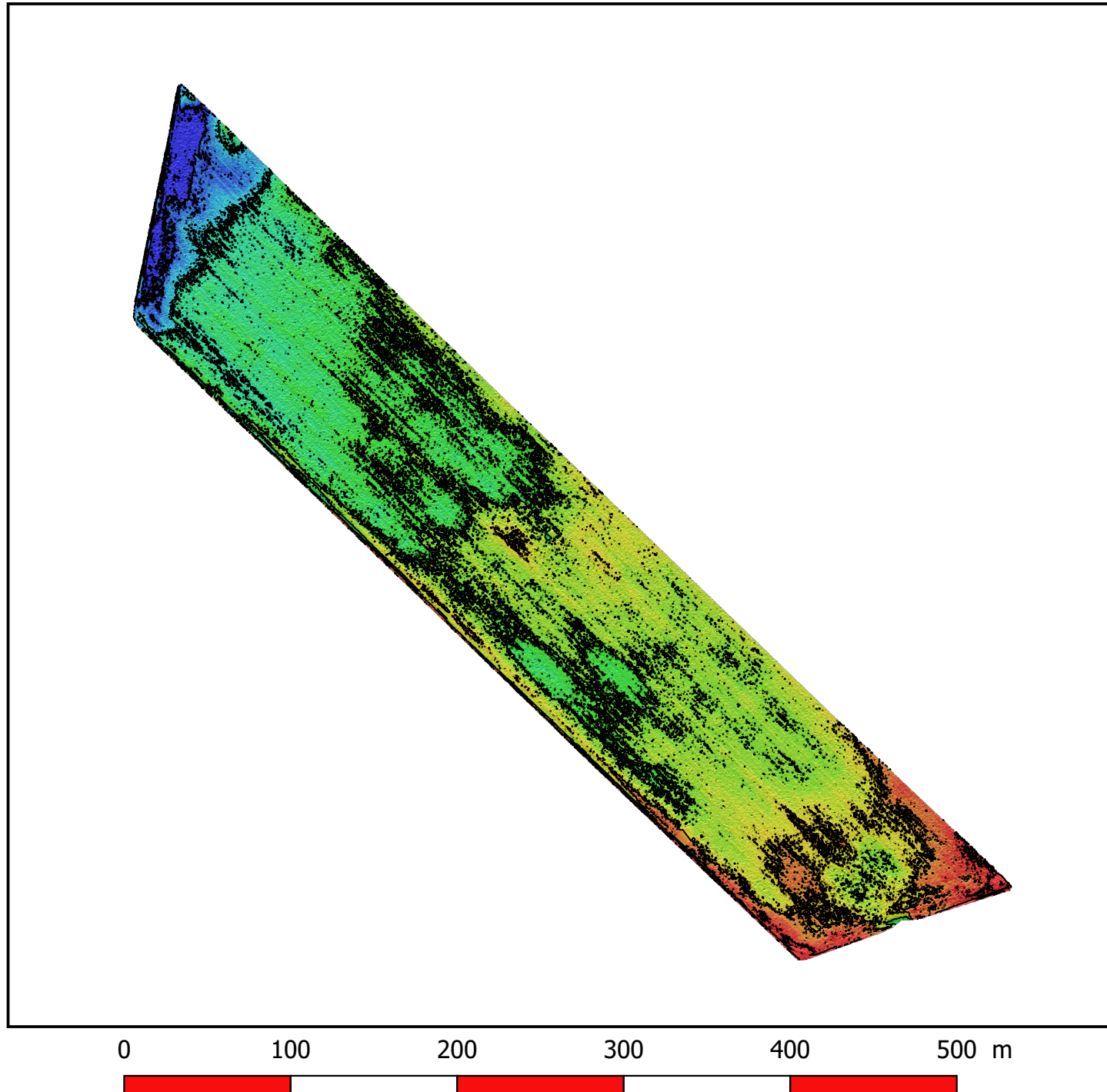
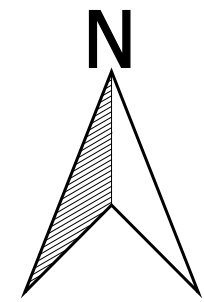
Élévation (m)

- 49.55
- 49.72
- 49.89
- 50.06
- 50.23
- Isolignes (20cm)

Échelle: 1:3500

Annexe 2 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #48

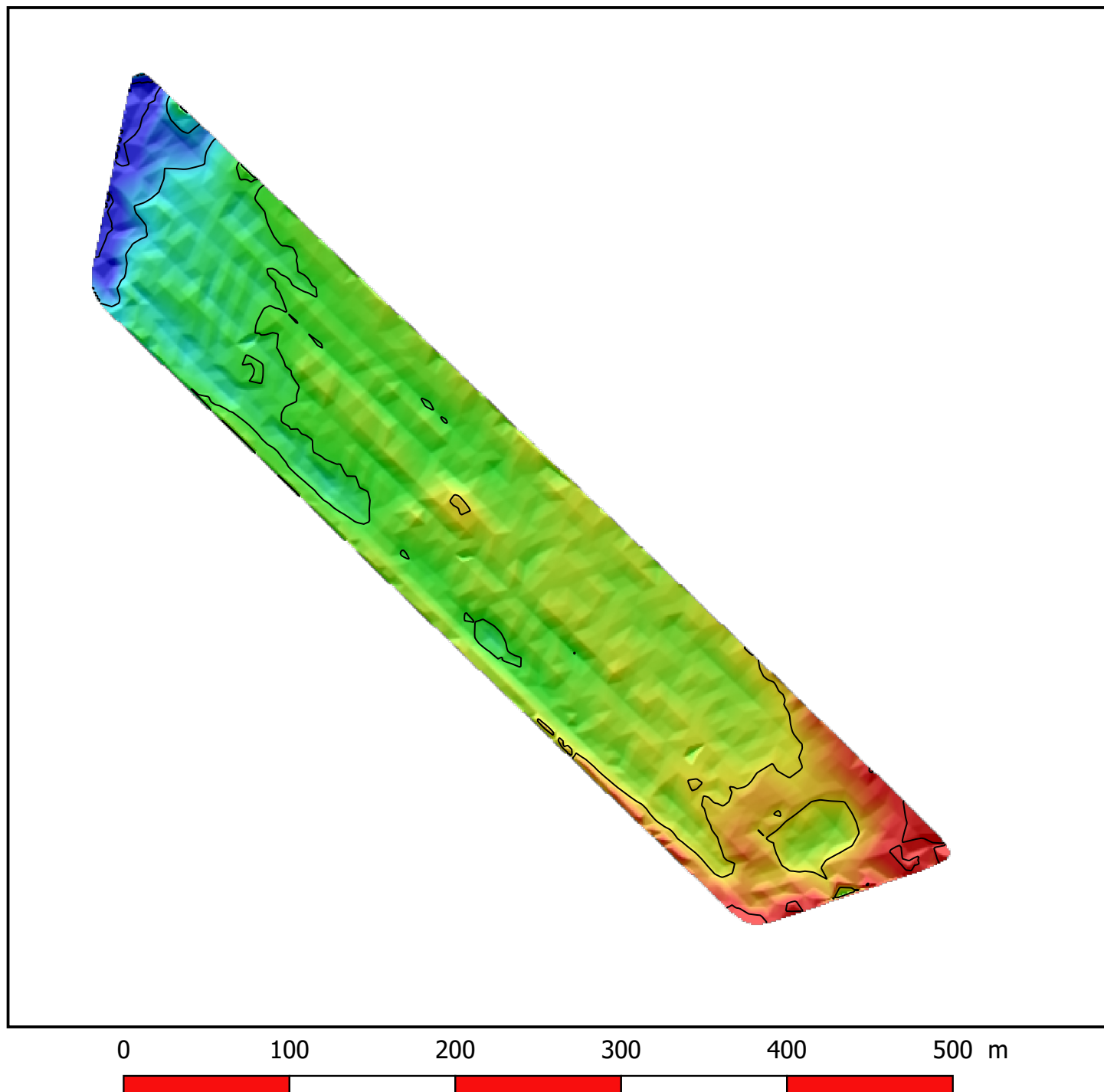
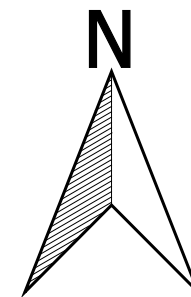
MNT Drone - Agrifusion #48



Échelle: 1:3500



MNT GPS - Agrifusion #48



Légende

Élévation (m)

50.24

50.41

50.59

50.76

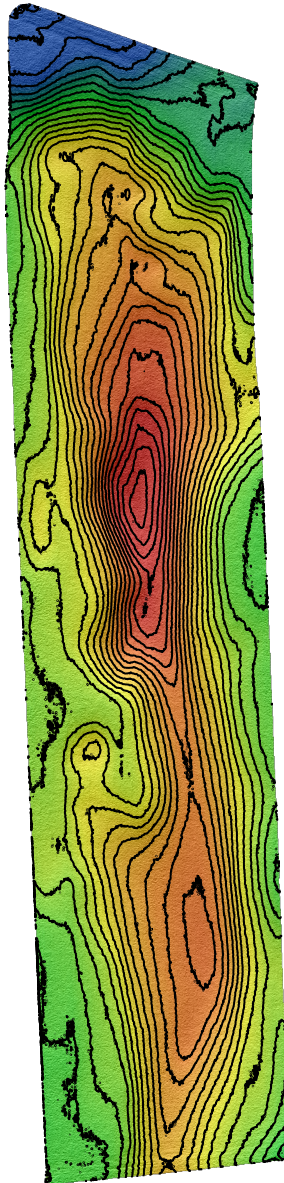
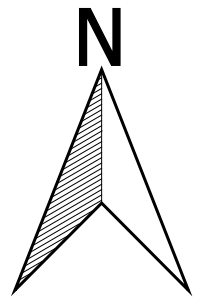
50.94

Isolignes (20cm)

Échelle: 1:3500

Annexe 3 - Modèles Numériques de Terrain pour la parcelle #16

MNT Drone - Pion #16



Légende

Élévation (m)

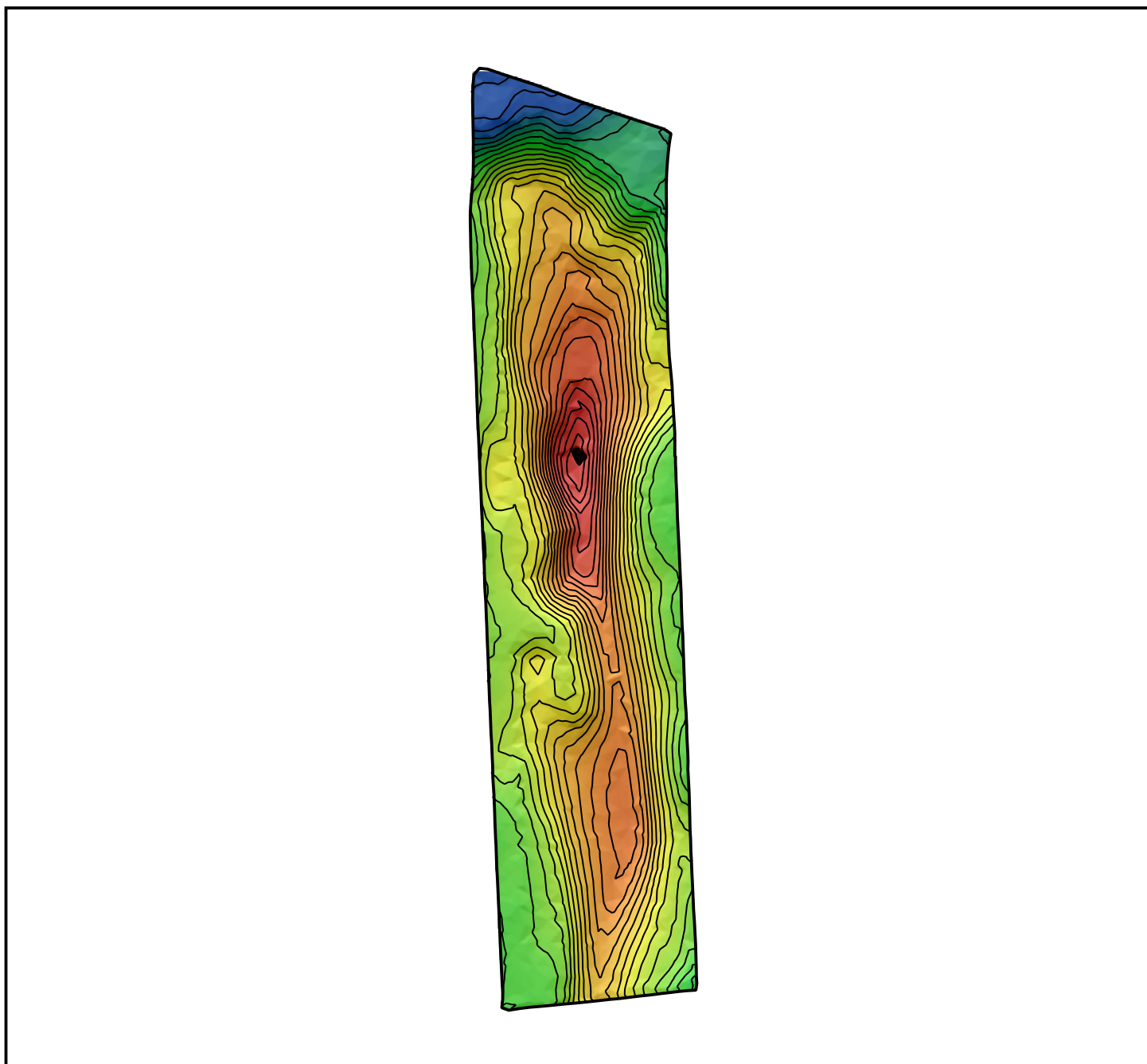
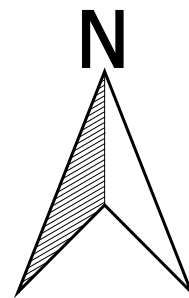
- 30.19
- 31.81
- 33.43
- 35.05
- 36.67

— Isolignes (30cm)

Échelle: 1:4500



MNT GPS - Pion #16



Légende

Élévation (m)

60.27

61.90

63.52

65.15

66.77

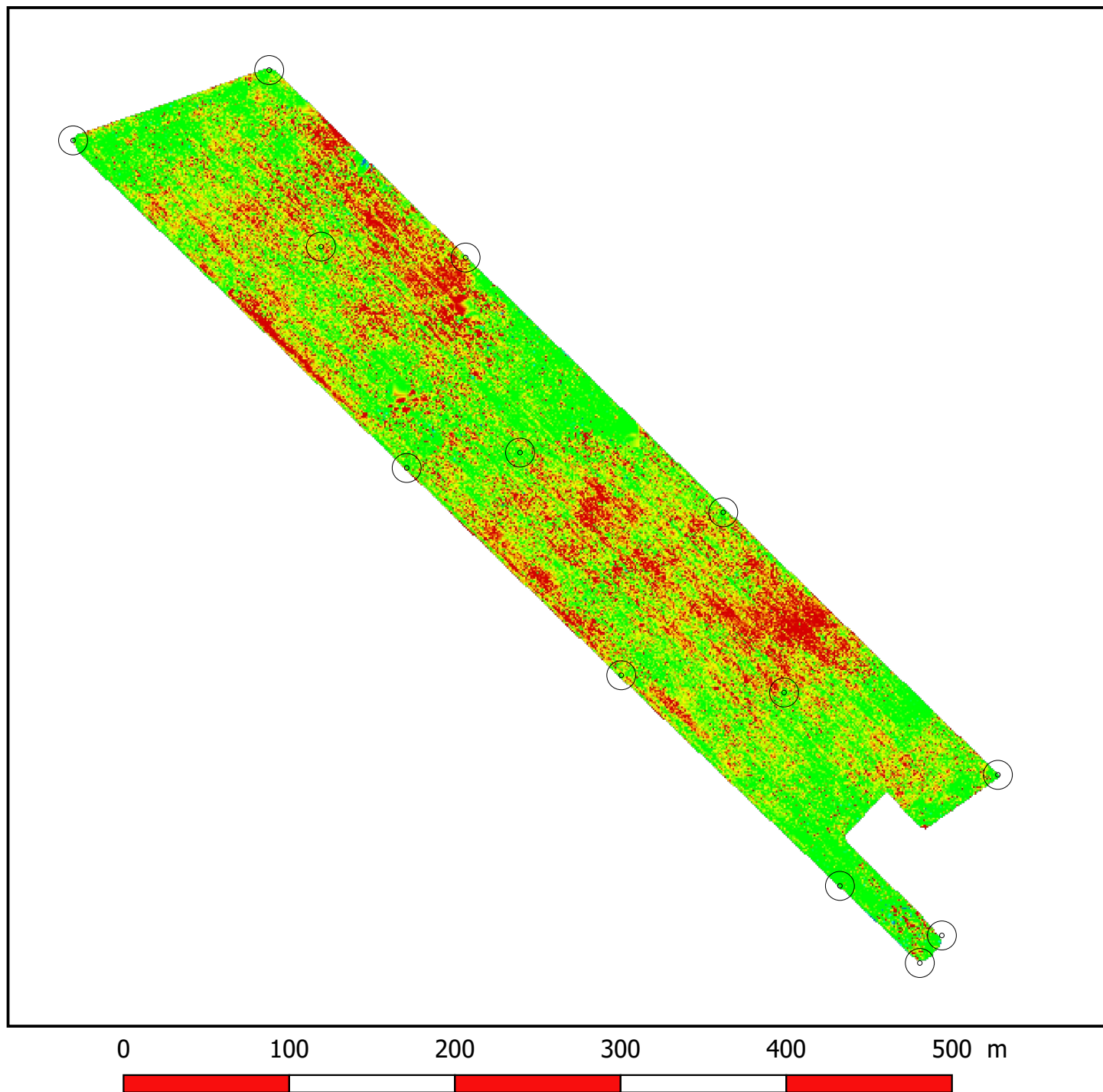
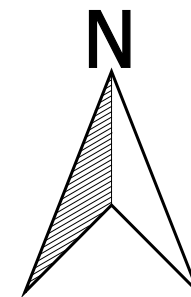
Isolignes (30cm)

Échelle: 1:4500



Annexe 4 - Différence entre les MNTs de la parcelle #47

Différence entre les MNT Drone et GPS - Agrifusion #47



Légende

Différence entre les MNT

■ <-15cm

■ -10cm

■ -5cm

■ 0

■ +5cm

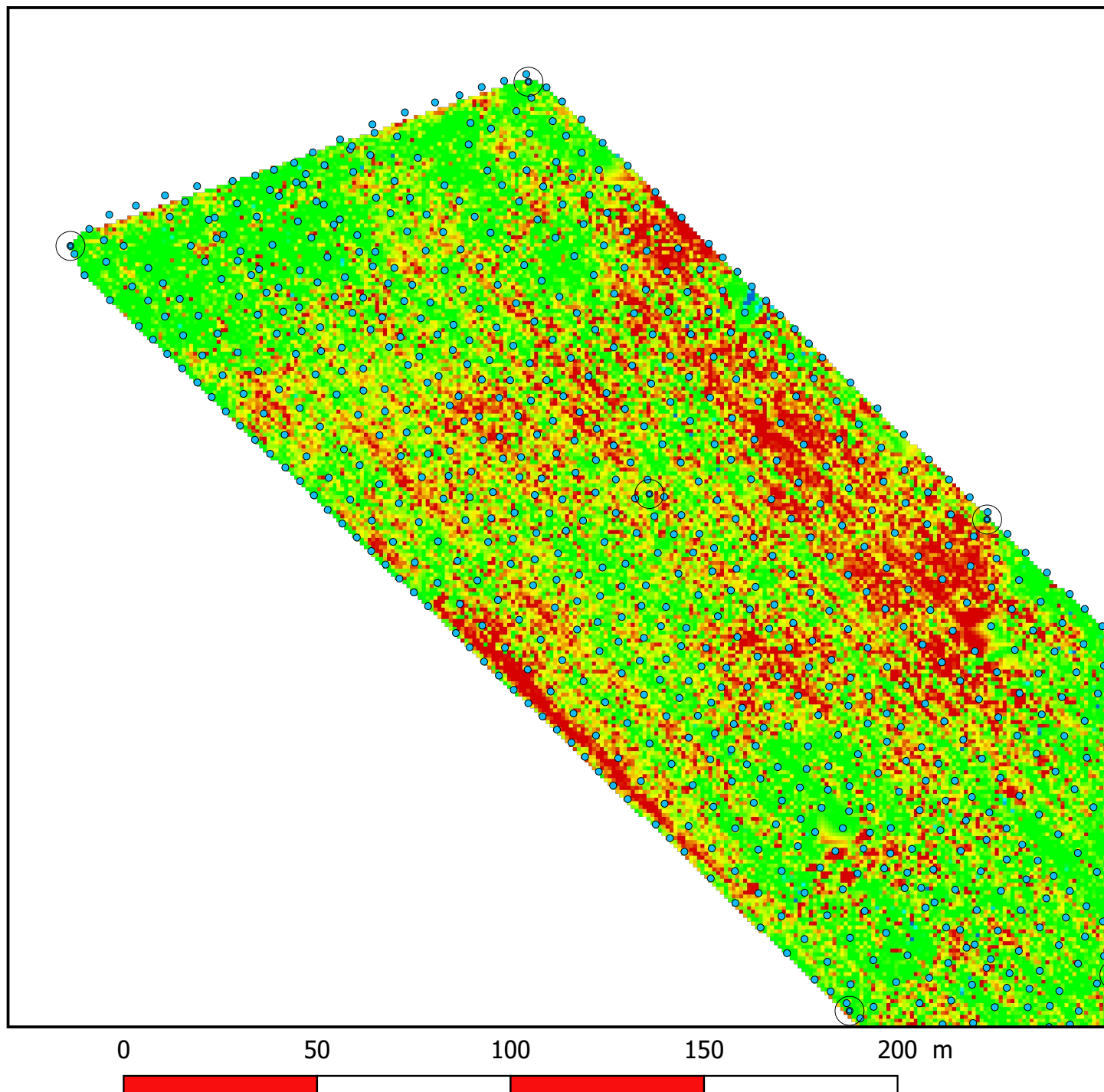
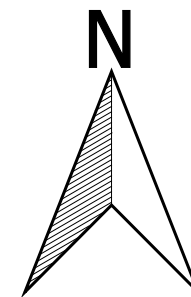
■ +10cm

■ >+15cm

○ Cibles

Échelle: 1:3500

Différence entre les MNT Drone et GPS - Agrifusion #47



Légende

Différence entre les MNT

■ <-15cm

■ -10cm

■ -5cm

■ 0

■ +5cm

■ +10cm

■ >+15cm

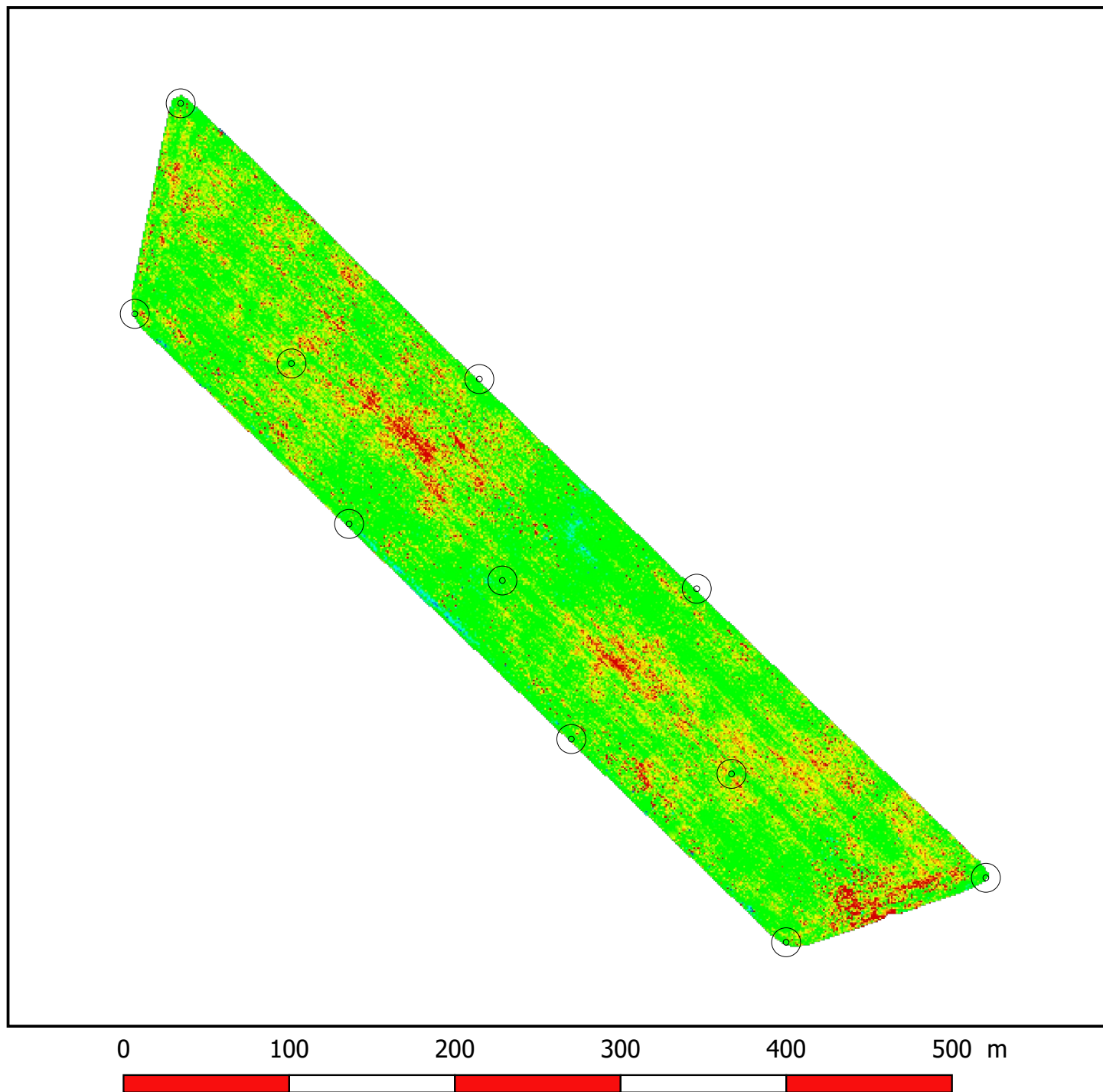
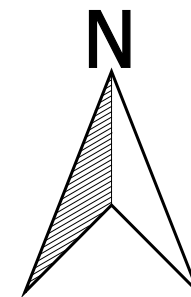
○ Cibles

● Points relevé GPS

Échelle: 1:1500

Annexe 5 - Différence entre les MNTs de la parcelle #48

Différence entre les MNT Drone et GPS - Agrifusion #48



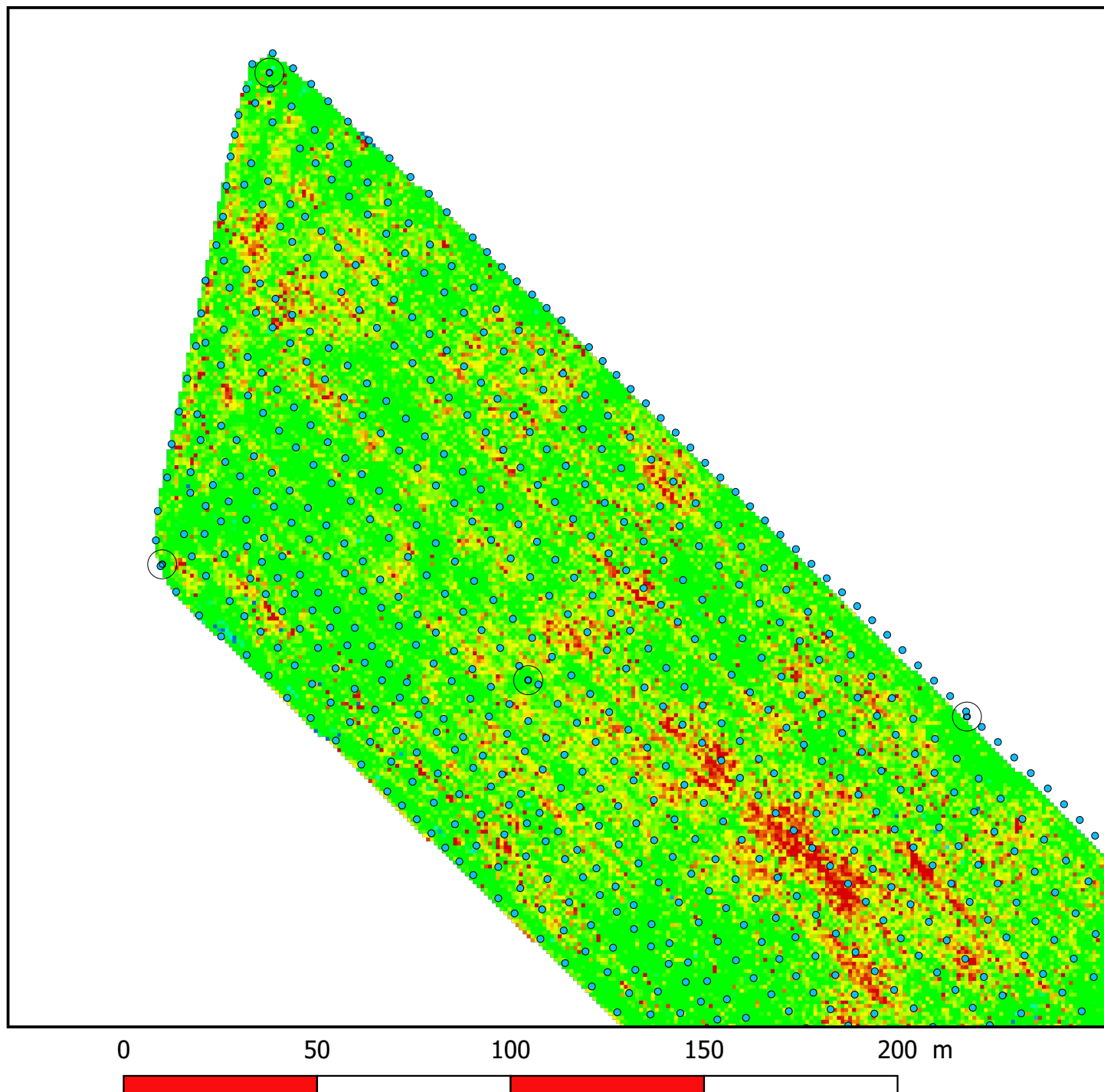
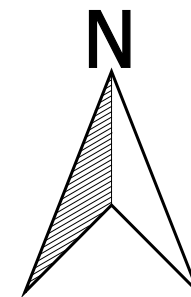
Légende

Différence entre les MNT

- <-15cm
- 10cm
- 5cm
- 0
- +5cm
- +10cm
- >+15cm
- Cibles

Échelle: 1:3500

Différence entre les MNT Drone et GPS - Agrifusion #48



Légende

Différence entre les MNT

■ <-15cm

■ -10cm

■ -5cm

■ 0

■ +5cm

■ +10cm

■ >+15cm

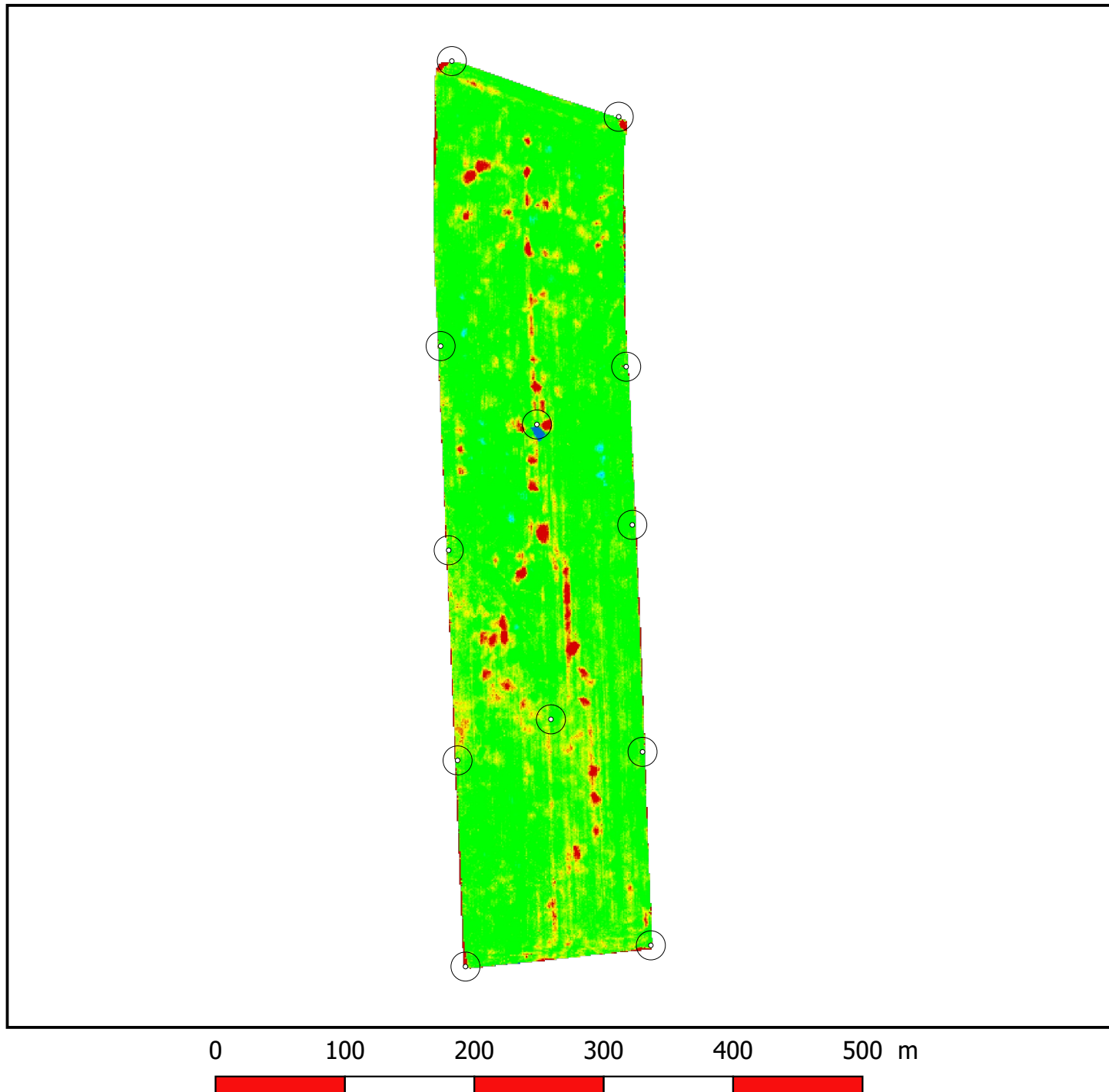
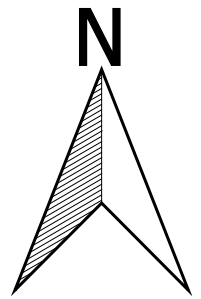
○ Cibles

● Points du relevé GPS

Échelle: 1:1500

Annexe 6 - Différence entre les MNTs de la parcelle #16

Différence entre les MNT drone et GPS - Pion #16



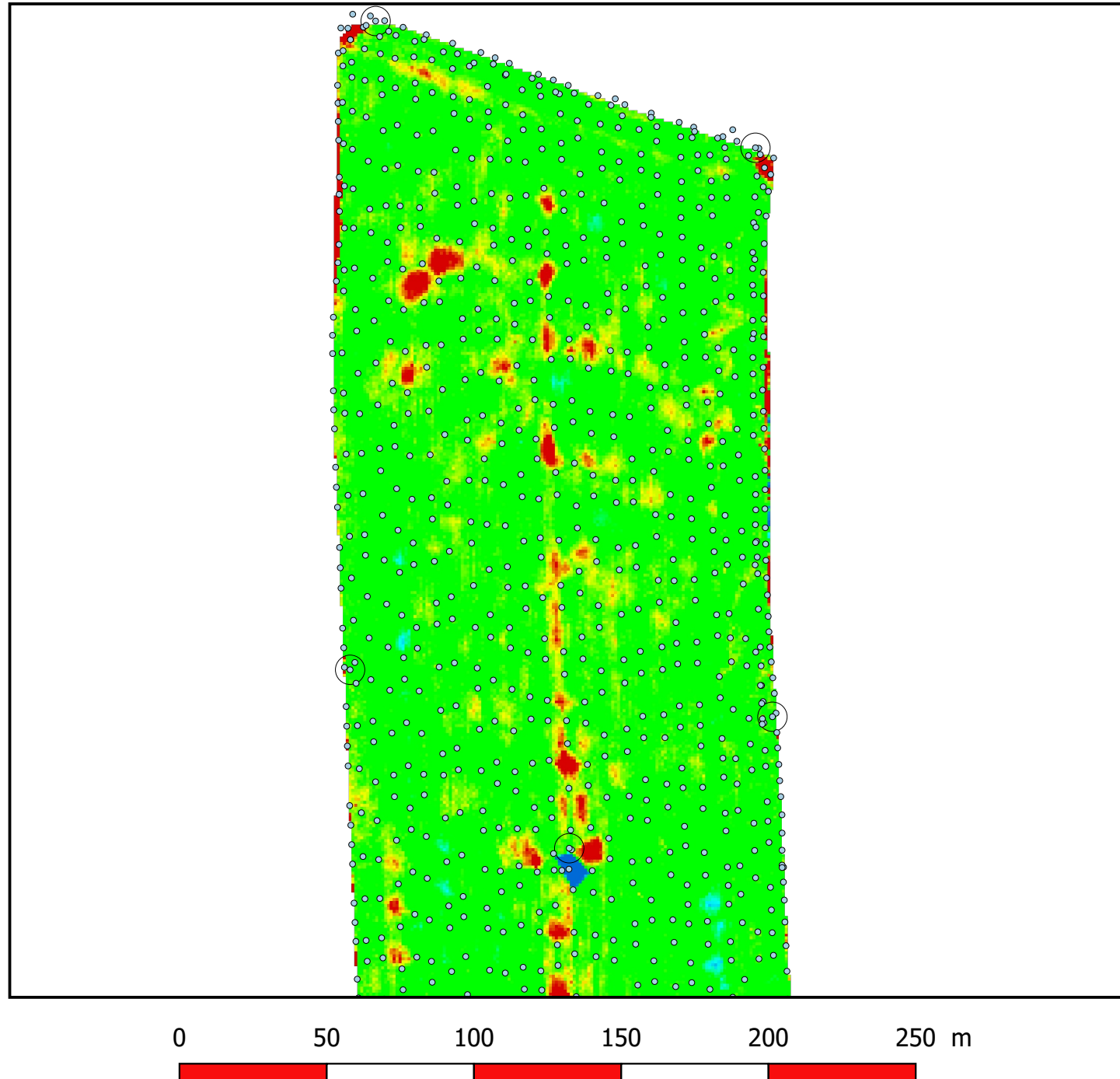
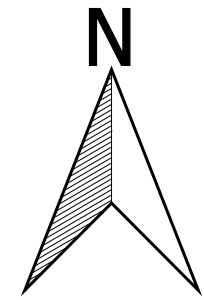
Légende

Différence entre les MNT

- <-15cm
- 10cm
- 5cm
- 0cm
- +5cm
- +10cm
- >+10cm
- Cibles

Échelle: 1:4500

Différence entre les MNT Drone et GPS - Pion #16



Légende

Différence entre les MNT

■ <-15cm

■ -10cm

■ -5cm

■ 0

■ +5cm

■ +10cm

■ >+15cm

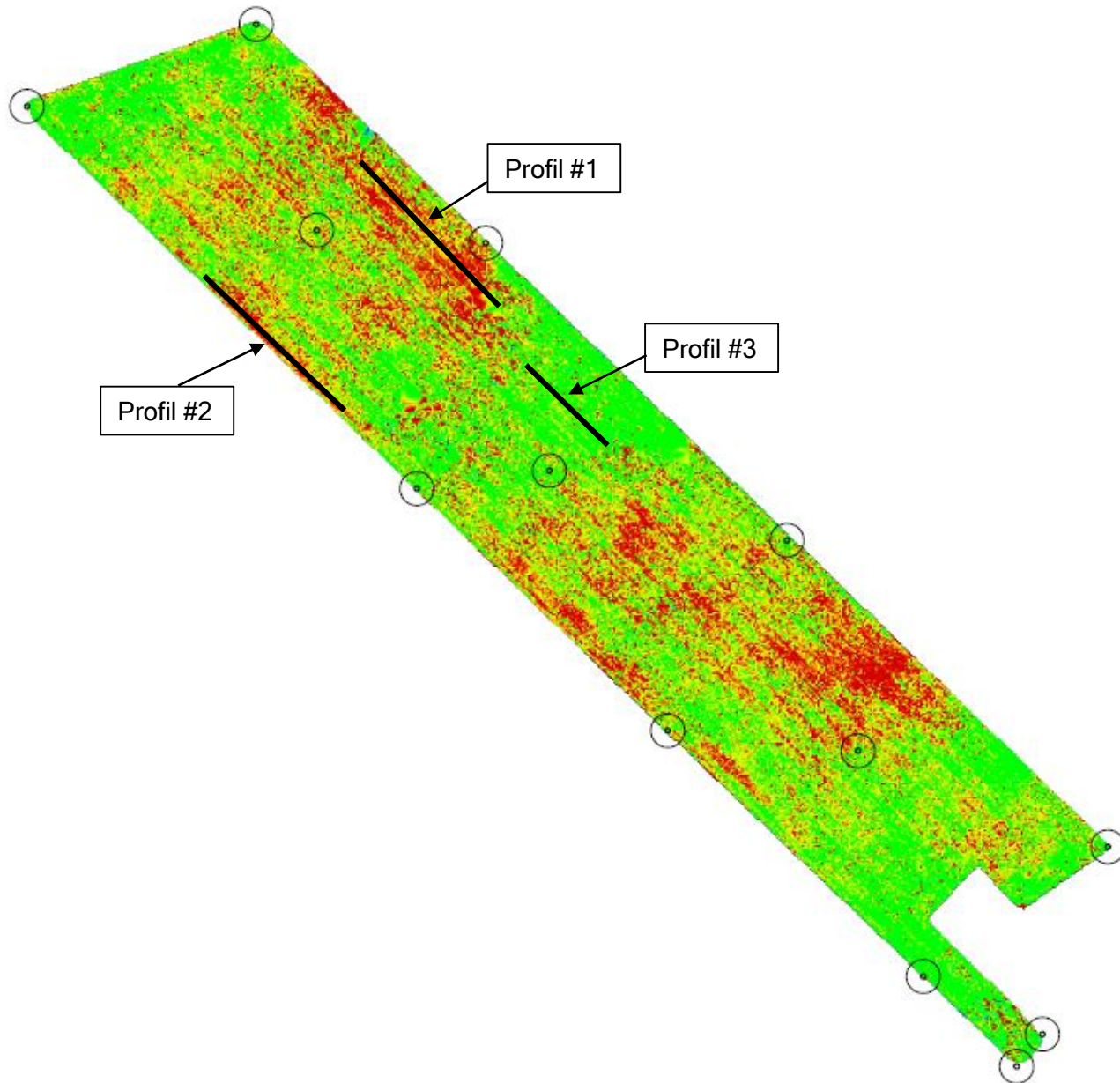
○ Cibles

• Points du relevé GPS

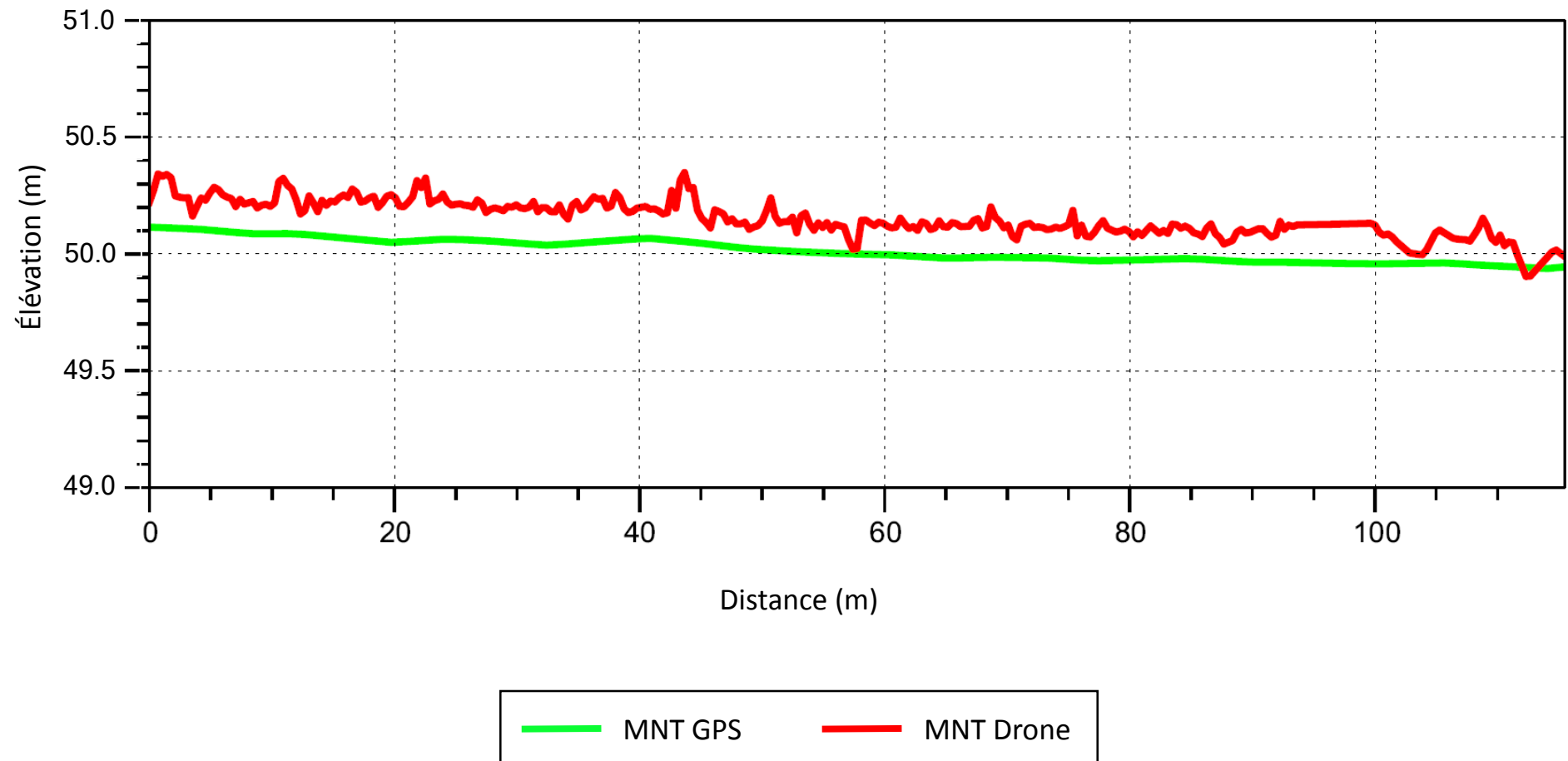
Échelle: 1:2000

Annexe 7 - Profils d'élévation de la parcelle #47

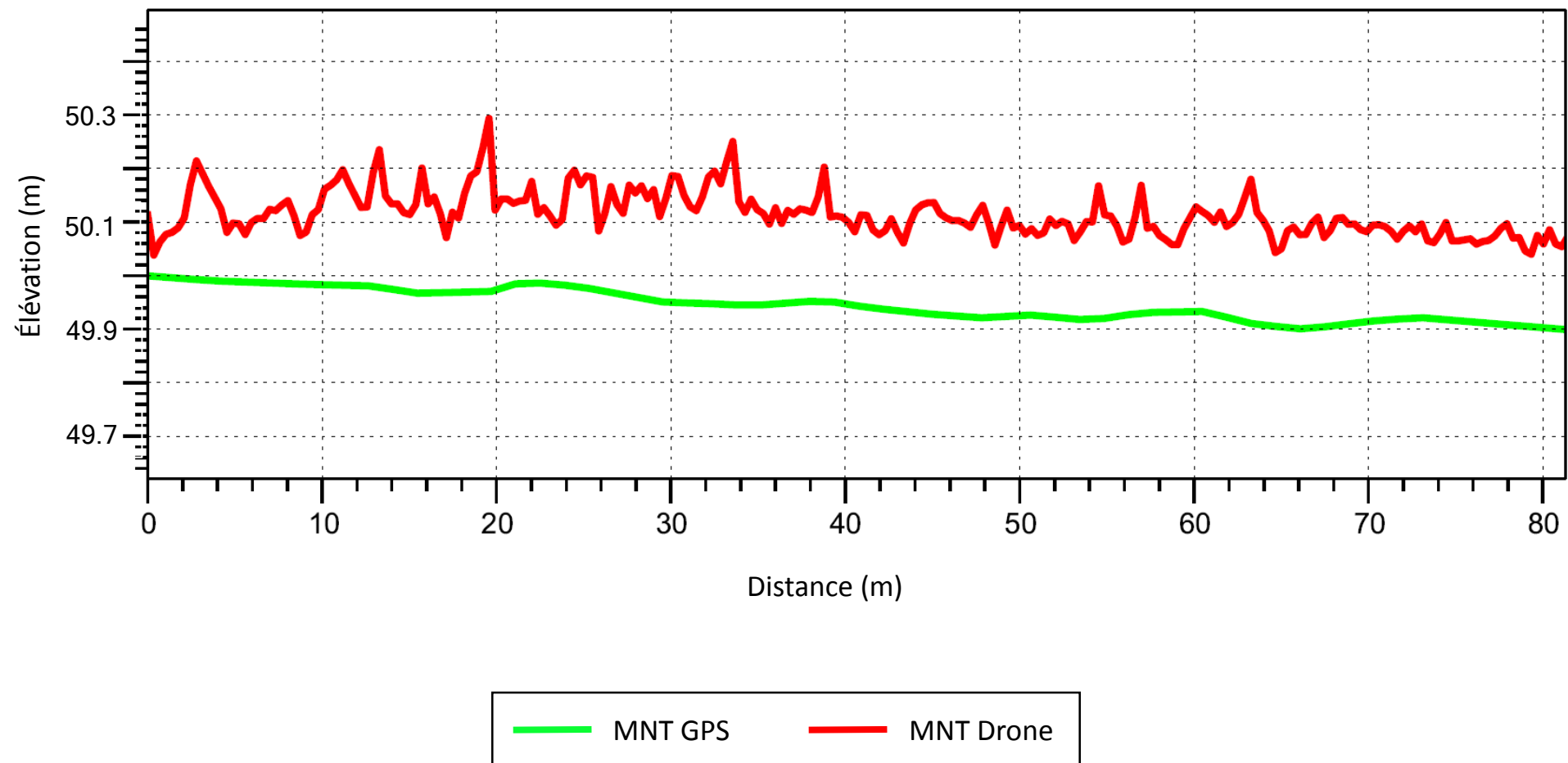
Localisation des profils de la parcelle #47



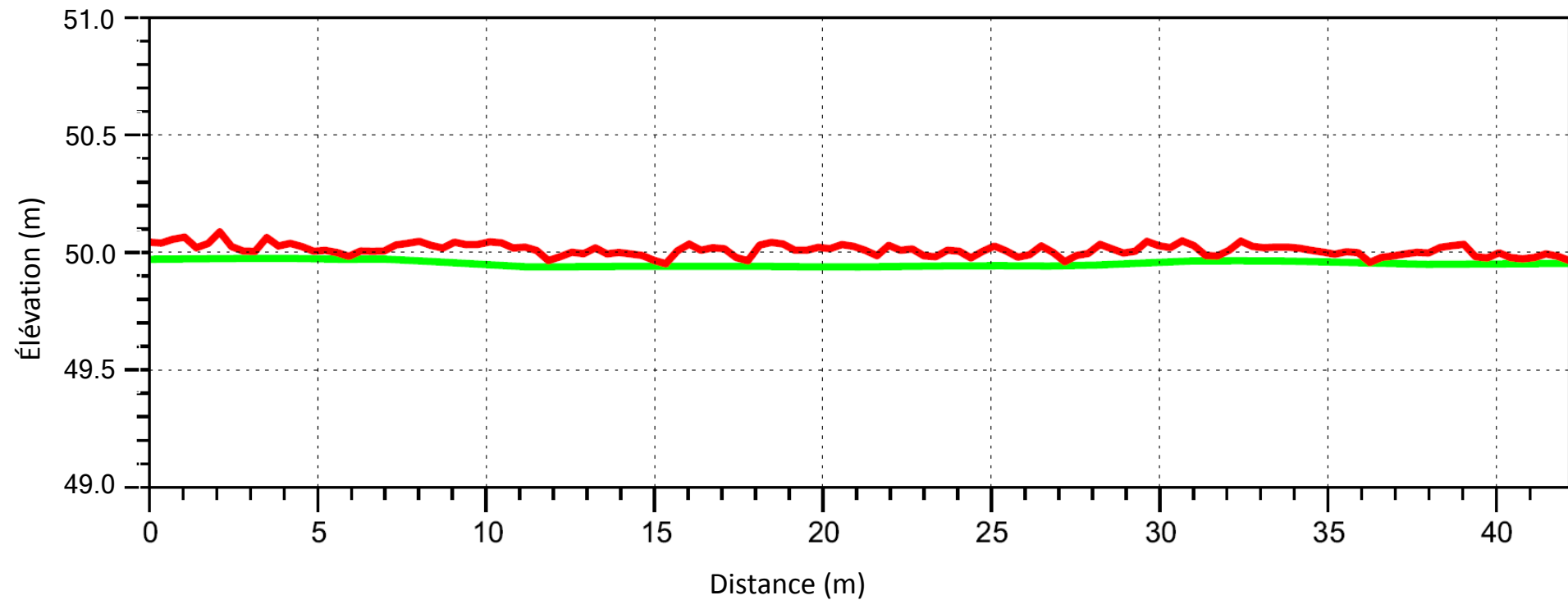
Profil #1



Profil #2



Profil #3



MNT GPS

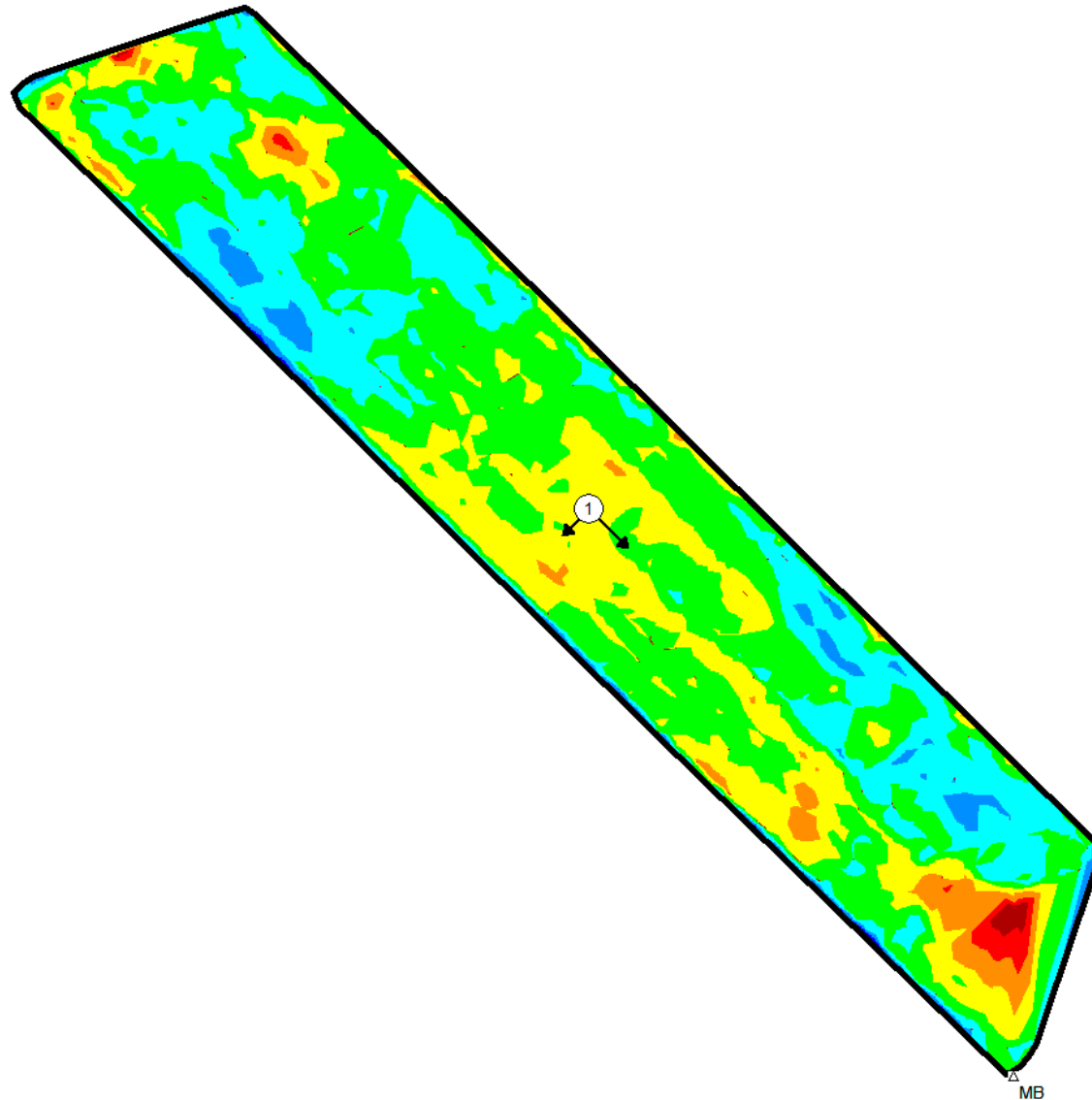


MNT Drone

Annexe 8 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #47

Carte remblais/déblais champ #47 – relevé GPS

82m

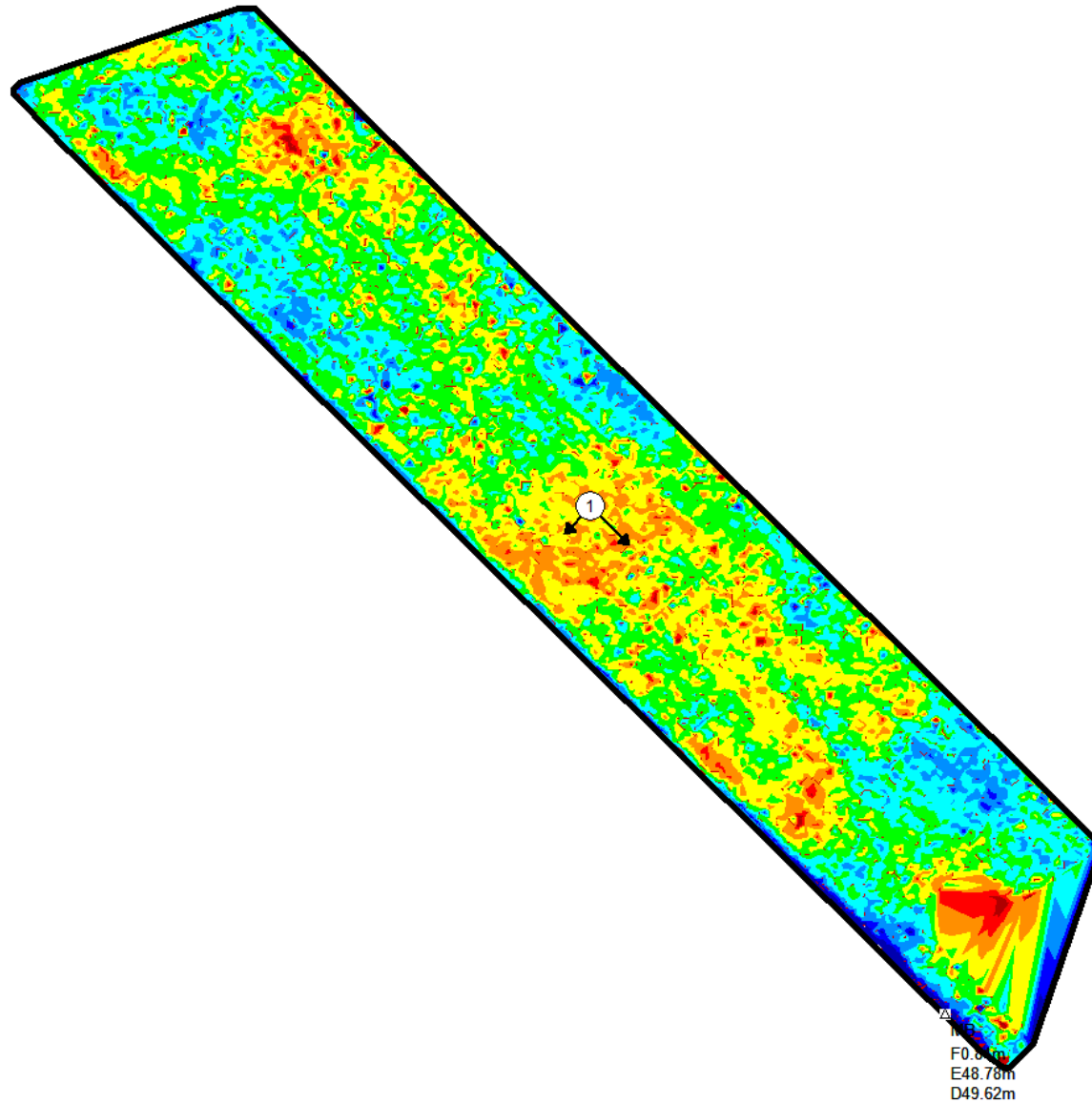


Remblais/déblais

>= 0.20m Cut
0.15m Cut
0.10m Cut
0.05m Cut
0.00m
0.05m Fill
0.10m Fill
0.15m Fill
>= 0.20m Fill

Carte remblais/déblais champ #47 – relevé Drone

81m



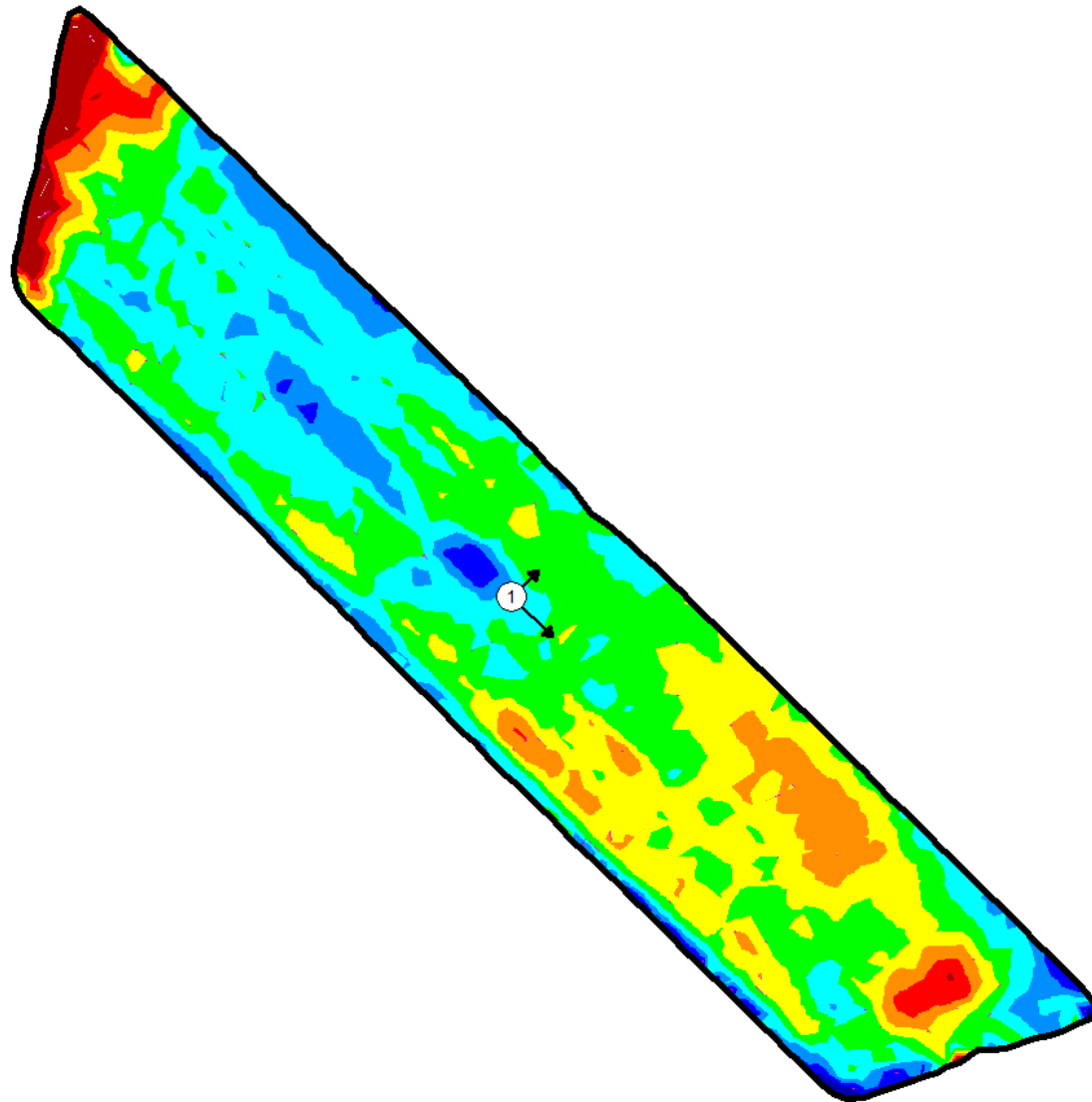
Remblais/déblais



Annexe 9 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #48

Carte remblais/déblais champ #48 – relevé GPS

78m

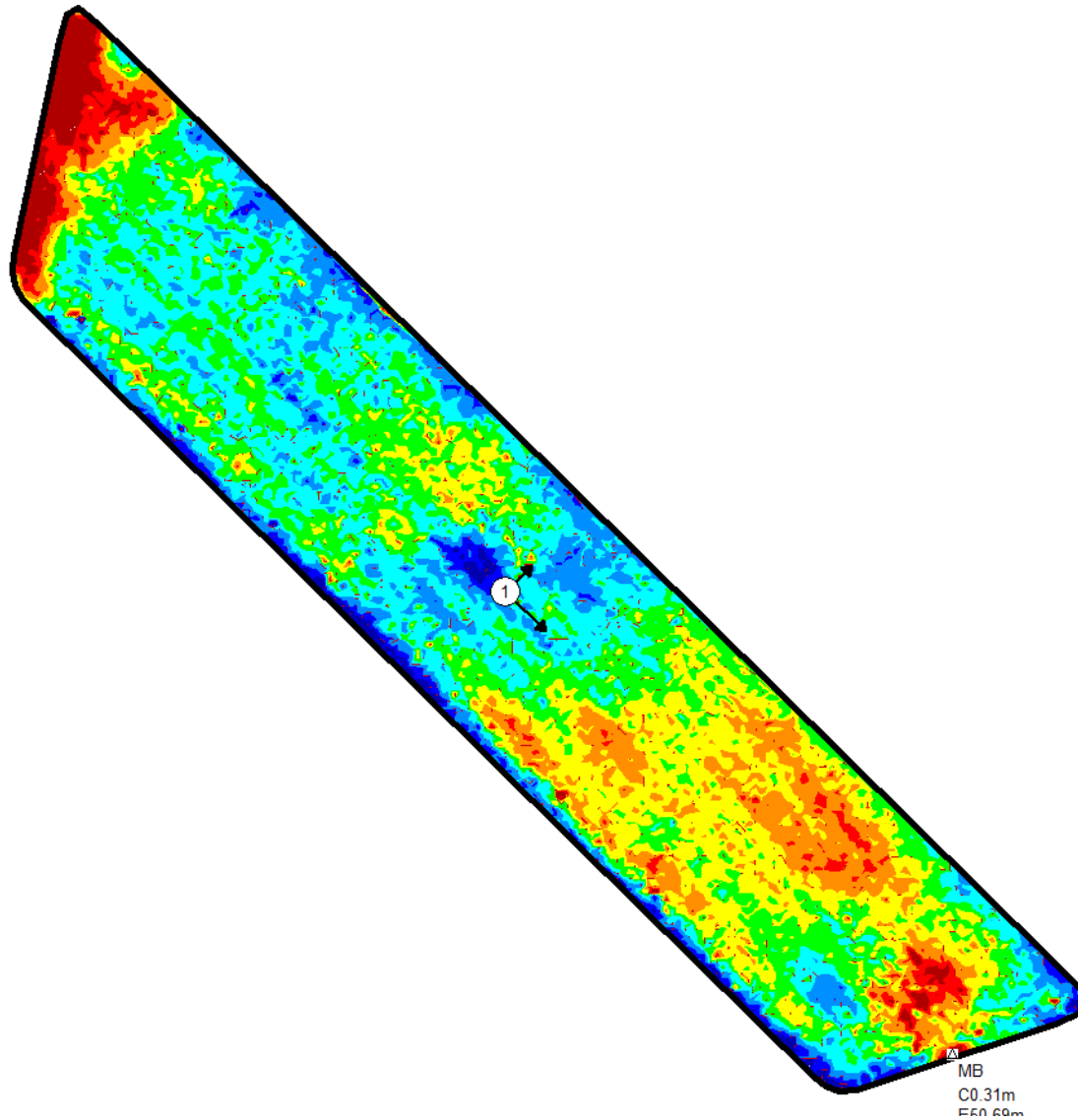


Remblais/déblais



Carte remblais/déblais champ #48 – relevé Drone

77m

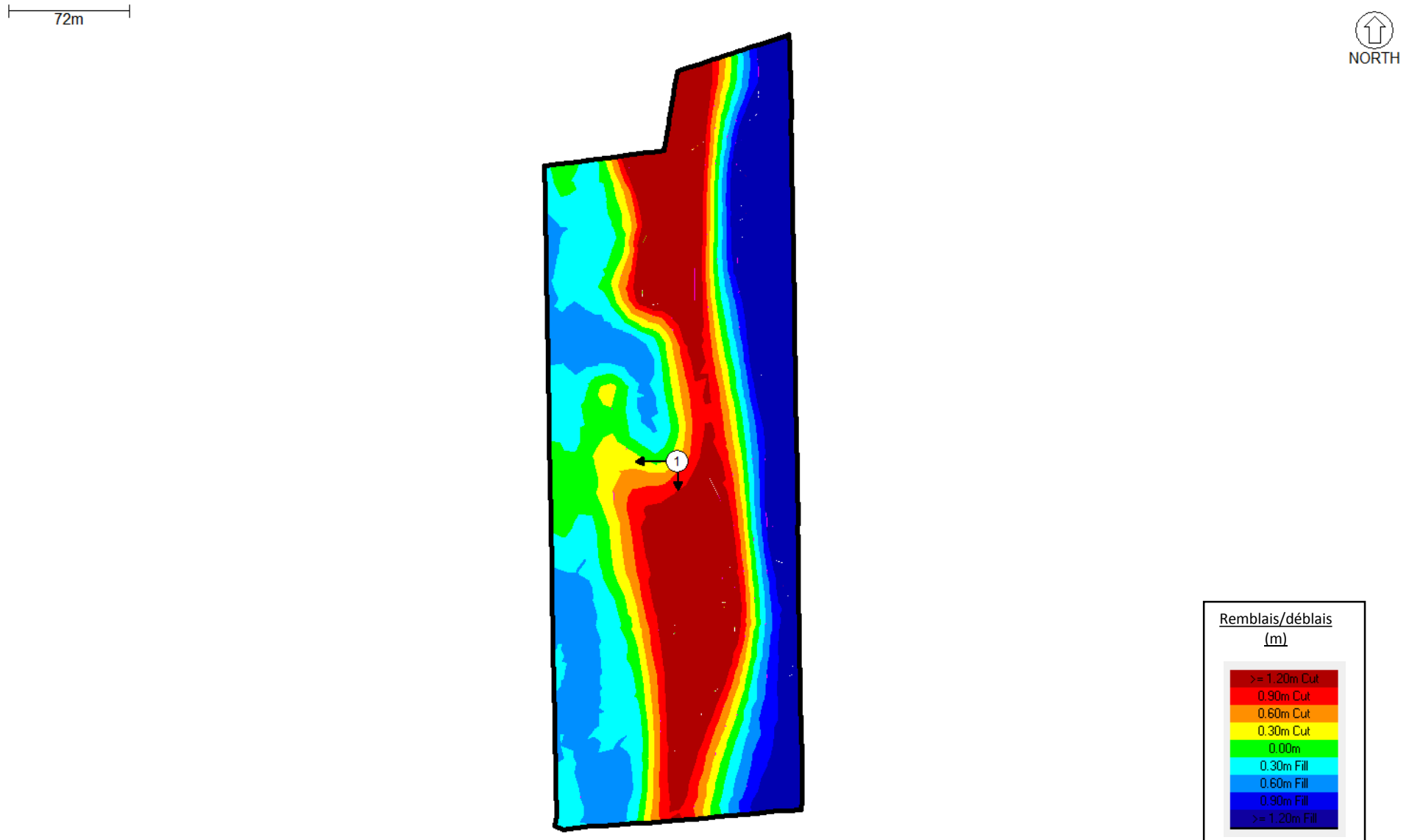


Remblais/déblais

>= 0.20m Cut
0.15m Cut
0.10m Cut
0.05m Cut
0.00m
0.05m Fill
0.10m Fill
0.15m Fill
>= 0.20m Fill

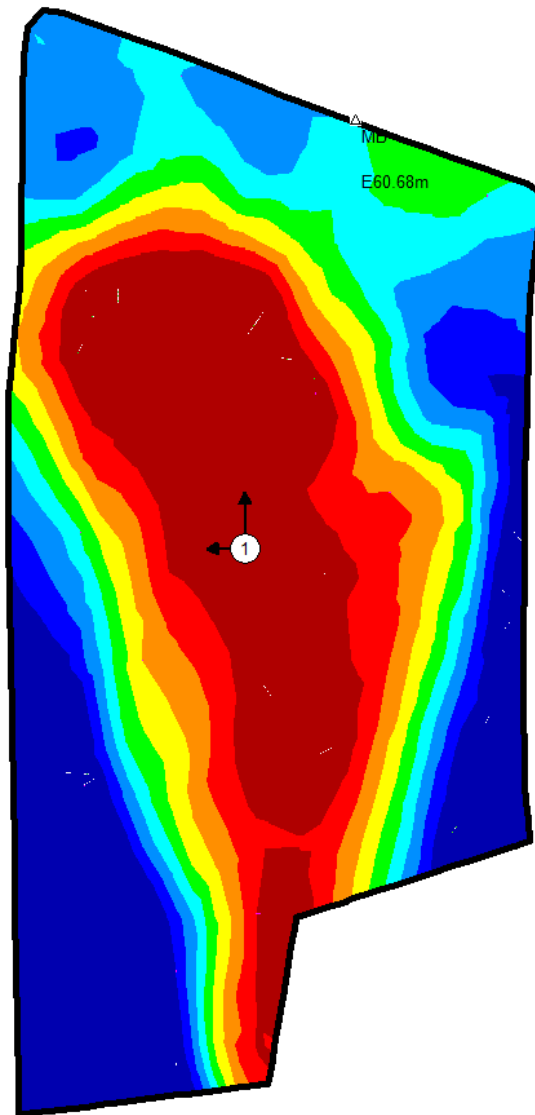
Annexe 10 - Cartes de remblais/déblais de la parcelle #16

Carte remblais/déblais champ #16 section 1 – relevé GPS



Carte remblais/déblais champ #16 section 2 – relevé GPS

47m

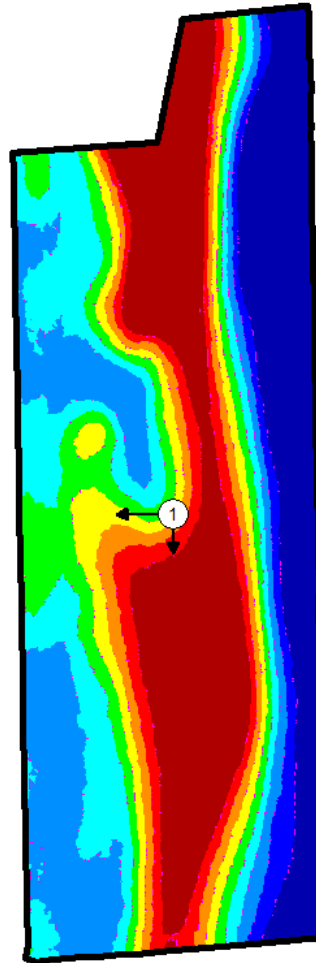


Remblais/déblais
(m)



Carte remblais/déblais champ #16 section 1 – relevé Drone

82m

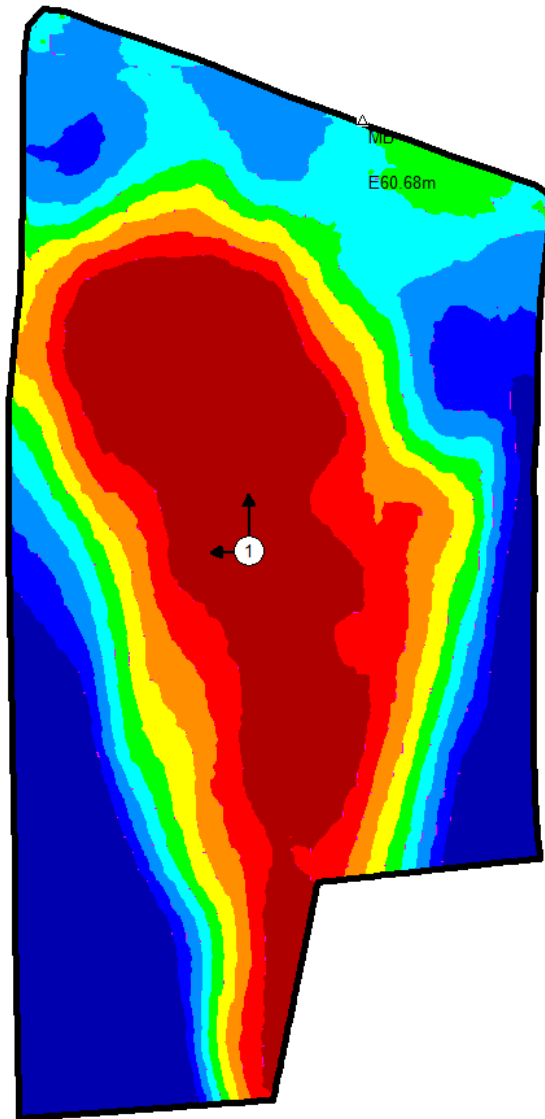


Remblais/déblais
(m)



Carte remblais/déblais champ #16 section 2 – relevé Drone

46m



Remblais/déblais
(m)

