

Projet de gestion intégrée des ressources en eau et de
développement des usages multiples dans le bassin du
fleuve Sénégal 2^{ème} Phase - PGIRE II

Etudes de réparation et de consolidation des
endiguements en rive droite et rive gauche du fleuve
Sénégal de Diama à Rosso

Etude géophysique des ouvrages rive droite



WAMMJ048BTF

Juillet 2018

Informations qualité

Contrôle qualité

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
Provisoire	../07/2018	M. NDIAYE / N. L. BADJI	P. CHEVRIER / P. CAILLUET
Définitive	30/07/2018	M. NDIAYE / N. L. BADJI	P. CHEVRIER / P. CAILLUET

Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
Anta SECK	OMVS	30/07/18
Ibrahima DIALLO	OMVS	30/07/18

Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :

Table des matières

1.	Contexte et objet de l'étude	5
1.1	Contexte général	5
1.2	Objet de l'étude	6
2.	Présentation des ouvrages rive droite à étudier	9
3.	Etude géophysique des ouvrages rive droite	11
3.1	Introduction	11
3.2	Méthodologie des investigations géophysiques	11
3.2.1	Auscultation des digues par méthode électromagnétique	11
3.2.2	Auscultation des digues par méthode électrique	12
3.3	Matériel utilisé	12
3.3.1	Méthode électromagnétique	12
3.3.2	Méthode électrique	13
3.4	Résultats des investigations électromagnétiques obtenus	15
3.5	Analyse et interprétation des résultats des investigations EM obtenus ...	16
3.5.1	Méthode de traitement.....	16
3.5.2	Analyse et interprétation des résultats du bloc 1 (du PK0 au PK19)	17
3.5.3	Analyse et interprétation des résultats du bloc2 (du PK19 au PK44)	71
3.5.4	Analyse et interprétation des résultats du bloc3 (du PK44 au PK73)	77
3.5.5	Analyse et interprétation des résultats du bloc4 (du PK73 au PK89)	80
3.6	Résultat des investigations par méthode électrique	91
3.7	Analyse et interprétation des profils électriques	94
4.	Conclusion générale et recommandations	95

Liste des figures

Figure 1 – Plan de situation des endiguements rive droite	10
Figure 2 – Acquisition de données au EM31	13
Figure 3 – Acquisition de données de données au Résistivimètre Terrameter LS Lund.	14
Figure 4 – Aperçu des blocs investigués par méthode électromagnétique au EM31	15
Figure 5 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 1.	17
Figure 6 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 2.	71
Figure 7 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 3.	77
Figure 8 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 4	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition du nombre de cartes par bloc	16
Tableau 2 : Répartition des cartes présentant des dégradations	16
Tableau 3 : Coordonnées UTM des centres des profils en rive droite	91

Acronymes et abréviations

EM	Electro-Magnétique
-----------	--------------------

1. Contexte et objet de l'étude

1.1 Contexte général

Le Mali, la Mauritanie et le Sénégal ont créés en 1972, pour permettre le développement intégré des ressources en eau du bassin du fleuve Sénégal, l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) qui a pour missions :

- de sécuriser et d'accroître les revenus des habitants du bassin du fleuve Sénégal et des zones avoisinantes,
- de sauvegarder le milieu naturel et inciter à l'établissement de l'équilibre écologique,
- de rendre les économies des Etats membres moins vulnérables aux conditions climatiques et aux facteurs extérieurs,
- d'accélérer le développement économique par la promotion intensive de la coopération sous-régionale.

Pour atteindre ses objectifs, l'OMVS a défini un Programme d'Infrastructures Régionale devant permettre à moyen terme la maîtrise et l'exploitation rationnelle des ressources en eau du fleuve Sénégal. Ce programme est constitué de :

- la construction du barrage (travaux terminés en mars 1988) et de la centrale hydroélectrique de Manantali sur le fleuve Bafing ainsi que les lignes électriques associés (travaux achevés en 2002),
- la construction du barrage de Diama sur le fleuve Sénégal, (travaux terminés en août 1986),
- l'aménagement du fleuve Sénégal en voie navigable pérenne de St Louis à Ambidédi, la construction d'infrastructures portuaires, la construction d'une liaison routière bituminée de Ambidédi à Kayes et la construction du pont sur le fleuve Sénégal à Kayes,
- la construction, associée au barrage de Diama, des endiguements latéraux du fleuve Sénégal de Diama à Rosso, en rive droite et en rive gauche, permettant la fermeture de la retenue de Diama, la protection contre les inondations et l'alimentation gravitaire des marigots du Delta. Les travaux de construction de l'endiguement rive droite ont été réalisés en deux tranches de 1989 à 1995. Ancienne digue existante, l'endiguement rive gauche Diama-Rosso a été réhabilitée en deux tranches de travaux de 1993 à 1995.

Le barrage et les digues de Diama à Rosso délimitent une retenue d'eau d'une capacité d'accumulation de 250 millions de m³, à la cote +1,50 m IGN, et 585 millions de m³, à la cote +2,50 m IGN. La retenue se développe, en saison sèche, sur le bief de Diama à Boghé, sur près de 380 km. Elle est alimentée en permanence par les apports amont, en particulier en saison sèche, constitués par les eaux turbinées au barrage hydroélectrique de Manantali pour la production d'électricité et restituées à l'aval.

En résumé, le barrage de Diama et les endiguements en rive droite et rive gauche du fleuve Sénégal de Diama à Rosso ont pour objectifs, au moyen de la retenue d'eau :

- d'empêcher, en périodes d'étiage, la remontée des eaux salées dans le delta et la basse vallée du fleuve Sénégal,
- de fournir, en combinaison avec le barrage de Manantali, l'eau pour l'irrigation de 120 000 hectares, en mode intensif, dans sa zone d'influence (de Diama à Boghé),
- de fournir l'eau pour l'approvisionnement des centres urbains et ruraux,

- d'améliorer les conditions de remplissage des lacs et des dépressions liés au fleuve Sénégal, notamment le lac de Guiers, le lac de R'kiz, la dépression de l'Aftout-Es-Sahel, le Parc du Djoudj, le Parc du Diaouling, les défluent en rive droite et en rive gauche,
- de réduire les hauteurs de pompage dans la zone d'influence de la retenue,
- d'assurer la continuité de la navigation et du transport sur le fleuve Sénégal entre les biefs amont et aval du barrage de Diama,
- protéger le delta sur les deux rives contre les inondations,
- contrôler et améliorer les conditions de remplissage et de vidange des systèmes hydrauliques (marigots, lacs, dépressions, etc..) du delta, alimentés par la retenue de Diama,
- servir de piste de circulation en saison sèche sur les tronçons situés dans les zones de franchissement des marigots.

Le maintien en bon état de conservation et de fonctionnement des digues du fleuve Sénégal entre Diama et Rosso ainsi que des ouvrages hydrauliques qui y sont incorporés (prise d'eau pour l'irrigation ou pour la conservation de la biodiversité) est donc essentiel.

Au titre de sa mission principale, la SOGED, organisme inter-étatique créée en 1997 par les états membres de l'OMVS, est chargée de l'exploitation, l'entretien et le renouvellement du barrage de Diama, de l'ouvrage de prise de l'Aftout Es Saheli, des endiguements du fleuve Sénégal et de leurs ouvrages connexes ainsi que de la conception, la construction et le financement de nouveaux programmes de l'OMVS que celle-ci décidera de lui confier dans le cadre du développement de la vallée, à l'exclusion de ceux consacrés à la production hydroélectrique.

1.2 Objet de l'étude

Les endiguements de Diama à Rosso, aujourd'hui âgés de plus de vingt ans, ont subi des détériorations assez importantes sous l'action combinée de plusieurs facteurs, notamment les ruissellements et les stagnations des eaux de pluie, les attaques des pieds et talus de digues par les eaux de la retenue et d'épandage de la crue, la circulation de véhicules automobiles sur les digues en périodes d'hivernage, le franchissement des digues par le bétail

Les détériorations de digue se manifestent sous diverses formes, principalement :

- des ravinements en talus et en crête de digues ;
- des trous et des fissurations des digues ;
- des ornières longitudinales, souvent assez profondes, en crête de digue ;
- des éboulements et des affaissements des talus de digue.

Au niveau des ouvrages de prise d'eau, les dégradations sont constituées essentiellement par :

- des épaufrures superficielles des structures en béton ;
- des évidements et des effondrements des protections en enrochement des entonnements d'entrée et de sortie des ouvrages ;
- des détériorations des vannes (corrosions des pelles, défauts de joints, flambage des crémaillères, etc.

Ces désordres sont accélérés et amplifiés par, d'une part, le fait de l'inexistence de dispositifs de protection spécifique pour les parties d'ouvrages les plus exposées, notamment les parements, talus et

pieds de digue et, d'autre part, l'utilisation abusive de l'endiguement rive droite, comme axe routier, en périodes d'hivernage.

Les opérations d'entretien réalisées périodiquement par la SOGED, traitements de crête de digue par surfacage, comblements et bouchages de trous, reprofilage de talus érodés, graissage, remise en peinture et petites réparations des équipements de vantellerie, ont pour objectif de corriger, ou tout au moins d'atténuer, les dégradations locales d'origines diverses au fur et à mesure de leur apparition.

Malgré ces opérations d'entretien, les dégradations ont atteint une telle ampleur que la réparation des endiguements et de leurs ouvrages hydrauliques associés est devenu une nécessité, revêtant même un caractère d'urgence au risque d'entraîner à brève échéance des ruptures par endroits des endiguements.

Des études en ce sens ont déjà été réalisées en 2006/2007 par la société BRLi¹, ayant pour but, d'une part, la détermination de la nature, de la consistance, des volumes, des coûts estimatifs et des durée de réalisation des différents travaux devant constituer les opérations de réparation et de consolidation des endiguements et des ouvrages associés de Diama à Rosso, et d'autre part, l'établissement des dossiers d'appel d'offres pour l'exécution desdits travaux.

Ces études n'ont pas été accompagnées des travaux qu'elles préconisaient, **ce qui nécessite aujourd'hui de les actualiser dans le cadre de la présente étude.**

A ce titre, l'OMVS a obtenu des Fonds de l'Association Internationale de Développement (IDA) en vue de financer le coût de l'Etude de réparation et de consolidation des endiguements du fleuve Sénégal de Diama à Rosso.

Après mise en concurrence de plusieurs Consultants, l'OMVS a notifié à la société EGIS, en date du 27/11/2017, le contrat relatif à l'étude de réparation et de consolidation des endiguements du fleuve Sénégal de Diama à Rosso.

L'objectif de la présente étude sera donc de fournir à l'OMVS les bases d'un programme de restauration et de confortation de l'endiguement du fleuve Sénégal de Diama à Rosso, en vue de sécuriser durablement la satisfaction des besoins en eau des différents secteurs de développement socio-économique dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal, dont notamment : l'agriculture irriguée, le développement agroindustriel, le développement des petites et moyennes entreprises et industries [PMI et PME], l'approvisionnement en eau urbaine et rurale, le développement pastoral, la navigation et le transport fluvial, la restauration et protection de l'environnement, etc.

Cette étude permettra ainsi de préciser l'ensemble des éléments de définition, de qualification, d'estimation des coûts et de programmation des délais des travaux de réparation, de renforcement ou de consolidation des endiguements existants du fleuve Sénégal en rive droite et en rive gauche de Diama à Rosso.

Cette étude s'articulera autour des deux phases suivantes :

- **Phase 1** : Diagnostic de l'état actuel des ouvrages et élaboration d'options de réparation et de renforcement et consolidation des ouvrages. Cette phase étant elle-même décomposée en cinq sous-tâches :
 - Etat des lieux technique et diagnostic physique des ouvrages ;
 - Etudes géophysiques et géotechniques ;
 - Etudes topographiques ;

¹ Etude de réparation et de consolidation des endiguements du fleuve Sénégal de Diama à Rosso BRLi 2006/2007

- Etat des lieux environnemental et social ;
- APS des propositions de variantes d'aménagements.
- **Phase 2** : Elaboration de l'avant-projet détaillé (APD) et des dossiers d'appels d'offres (DAO). Cette phase étant elle-même décomposée en trois sous-tâches :
 - Etudes environnementales et sociales réglementaires (EIES, PGES, PSSSES),
 - Etude d'APD de la variante retenue,
 - DAO de la variante retenue.

Le **présent rapport** est le livrable intitulé « **Etude géophysique des ouvrages rive droite** » correspondant à la **Phase 1**.

2. Présentation des ouvrages rive droite à étudier

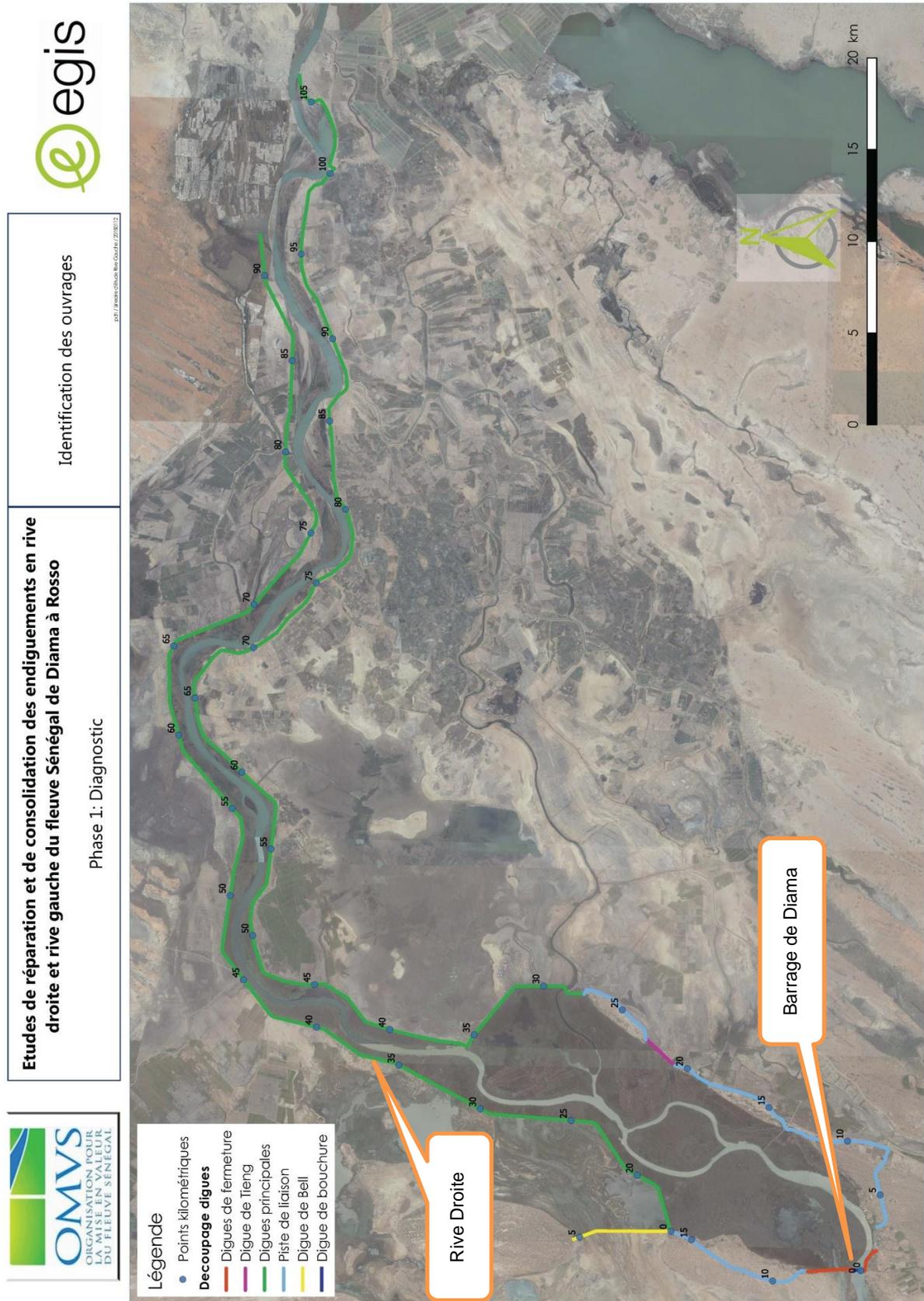
Selon les TdRs, l'endiguement rive droite de Diama à Rosso comprend, de l'aval vers l'amont (voir plans de situation pages suivantes) :

- La digue de bouchure ;
- La digue de fermeture rive droite ;
- une piste de liaison de 9 km environ entre le carrefour de Bouhajra et l'extrémité Nord de la digue de fermeture rive droite du barrage de Diama ;
- la digue de Bell qui est une bretelle de 6 km de longueur entre le carrefour de Bouhajra et la dune de Birette au Nord ;
- deux (2) ouvrages de prise d'eau (Bell I et Bell II) qui sont incorporés dans la digue bretelle du Bell.
- La digue principale sur une longueur continue de 76,5 km, entre le carrefour de Bouhajra (extrémité Ouest de la digue) et la digue dite chinoise (extrémité Est de la digue) ;
- sept (7) ouvrages de réalimentation de marigots et d'épandage des crues du fleuve Sénégal (Gouère, Ibrahima, Dalagona, Dioup, Aftout-Es-Sahel, Cheyal et Lemer) qui sont incorporés dans la digue principale ;

Une piste de circulation de véhicules automobiles, aménagée en pieds de talus, longe l'endiguement principal mais pas de façon continue.

Dans le cadre de la présente étude, et comme précisé dans l'addendum à notre méthodologie annexée au contrat, **les pistes en pied de digue ne font pas partie des ouvrages à étudier.**

Figure 1 – Plan de situation des endiguements rive droite



3. Etude géophysique des ouvrages rive droite

3.1 Introduction

Le but de la présente étude est de diagnostiquer, par méthodes géophysiques, l'état actuel de dégradation des endiguements en rive gauche du fleuve Sénégal de Diama à Rosso pour leur réparation et leur consolidation.

Dans cette version du rapport, seuls les résultats des investigations Electromagnétiques seront présentés.

3.2 Méthodologie des investigations géophysiques

L'étude se fait en 2 étapes en combinant deux méthodes d'investigation géophysique complémentaires :

- Méthode 1 : Auscultation des digues par méthode électromagnétique (EM) en vue de déceler la présence d'hétérogénéités
- Méthode 2 : Auscultation des digues par méthode électrique en vue de déceler la géométrie des hétérogénéités

3.2.1 Auscultation des digues par méthode électromagnétique

La méthode électromagnétique (EM) permet un zonage rapide des hétérogénéités sur les digues et diguettes des deux rives droite et gauche sur une épaisseur de 3 à 6 mètres. Nous partons des hypothèses suivantes : les défauts sur les digues devraient se présenter sous forme de zone de résistivités trop élevées ou trop faibles par rapport à la résistivité de la digue saine et compacte. A titre d'exemple, la présence de cavités dans la digue va entraîner une augmentation de la résistivité si la cavité est remplie d'air ou une baisse de la résistivité si la cavité est remplie d'eau. Il en est de même pour toutes les dégradations entraînant une modification locale de la teneur en eau, de la cohésion ou de la compacité à l'intérieur de la digue.

Le résultat obtenu est un ensemble de cartes de résistivité d'environ 7 m x 50 m montrant les hétérogénéités sur la digue.

3.2.2 Auscultation des digues par méthode électrique

La méthode EM permet de déceler la présence d'hétérogénéités. Pour connaître la géométrie des hétérogénéités, des profils de tomographie de résistivité électrique sont réalisés à des endroits présentant des anomalies et repérées à partir de la carte de résistivité.

L'orientation du profil est dictée par la nature de l'hétérogénéité, avec au besoin, la possibilité de réaliser des profils sécants.

Le résultat obtenu est un profil de résistivité de 100 m de long sur environ 15 m de profondeur, montrant la géométrie des hétérogénéités sur la digue.

3.3 Matériel utilisé

3.3.1 Méthode électromagnétique

Pour la prospection par méthode EM, nous utilisons le conductimètre EM 31-MK2 de Geonics. Le EM31 dispose de deux bobines distantes de 3.6 m et reliées par une tige rigide. Sa fréquence centrale est de 9.1 kHz (voir Figure 2 –).

Le champ magnétique primaire (H_1) variable envoyée par la bobine émettrice entraîne l'apparition d'un champ électrique secondaire (E_2) en fonction de la conductivité des terrains en présence. Le champ électrique secondaire génère un champ magnétique secondaire (H_2). Le rapport entre H_1 et H_2 est proportionnelle à la conductivité du terrain investigué.

Le EM31 est connecté à un ordinateur et un GPS, ce qui permet de mesurer pour chaque position, la longitude, la latitude et la conductivité en micro siemens/seconde. Un logiciel maison permet de convertir les coordonnées en UTM et la conductivité en résistivité en ohm.m.



Figure 2 – Acquisition de données au EM31

Le EM31 permet de ce fait une mesure rapide de la résistivité sur une épaisseur allant de 3 à 6 mètres en fonction de la disposition des bobines. La profondeur d'investigation est de 6 m en mode vertical et 3 m en mode horizontal.

3.3.2 Méthode électrique

Pour la prospection électrique nous utilisons le Résistivimètre Terrameter LS Lund de ABEM pour mesure de résistivité ou de polarisation induite en mode tomographie. Ses caractéristiques techniques sont : PC intégré, compact pour l'acquisition et le stockage des données, Régulateur de courant avec sortie maximale de 600 V (1200 V peak-to-peak) et 2500 mA, Alimentation par courant continu 12 V DC.

Les accessoires utilisés sont :

- Jeu de 64 électrodes de 10 mm de diamètre
- Jeu de 64 jumpers
- 4 rouleaux de câble de 21 take-out espacés de 5m
- 2 Multiplexeurs
- Batterie de voiture 70Ah + chargeur
- Une perceuse
- Un gps de poche
- Un ordinateur de terrain
- Les logiciels de traitement utilisés sont Res2Dinv et Erigraph



Figure 3 – Acquisition de données de données au Résistivimètre Terrameter LS Lund.

Les données mesurées au Terrameter LS permettent d'obtenir une pseudo-section qui est traité par modélisation inverse pour obtenir le profil de résistivité en fonction de la profondeur.

3.4 Résultats des investigations électromagnétiques obtenus

Les investigations EM ont été réalisées au niveau de la digue de fermeture, de la piste de liaison, de la digue de Bell et de la digue principale. Les digues ont été scannées sur sa totalité en rive droite. Cela correspond à une longueur totale de 110 km.

Pour un affichage optimal, la digue a été subdivisée en 4 blocs en fonction du sens d'allongement de la digue. La répartition des blocs le long de la digue est représentée sur la figure ci-dessous :

1. Bloc 1 du PK0 au PK19
2. Bloc 2 du PK19 au PK44
3. Bloc 3 du PK44 au PK73
4. Bloc 4 du PK73 au PK89

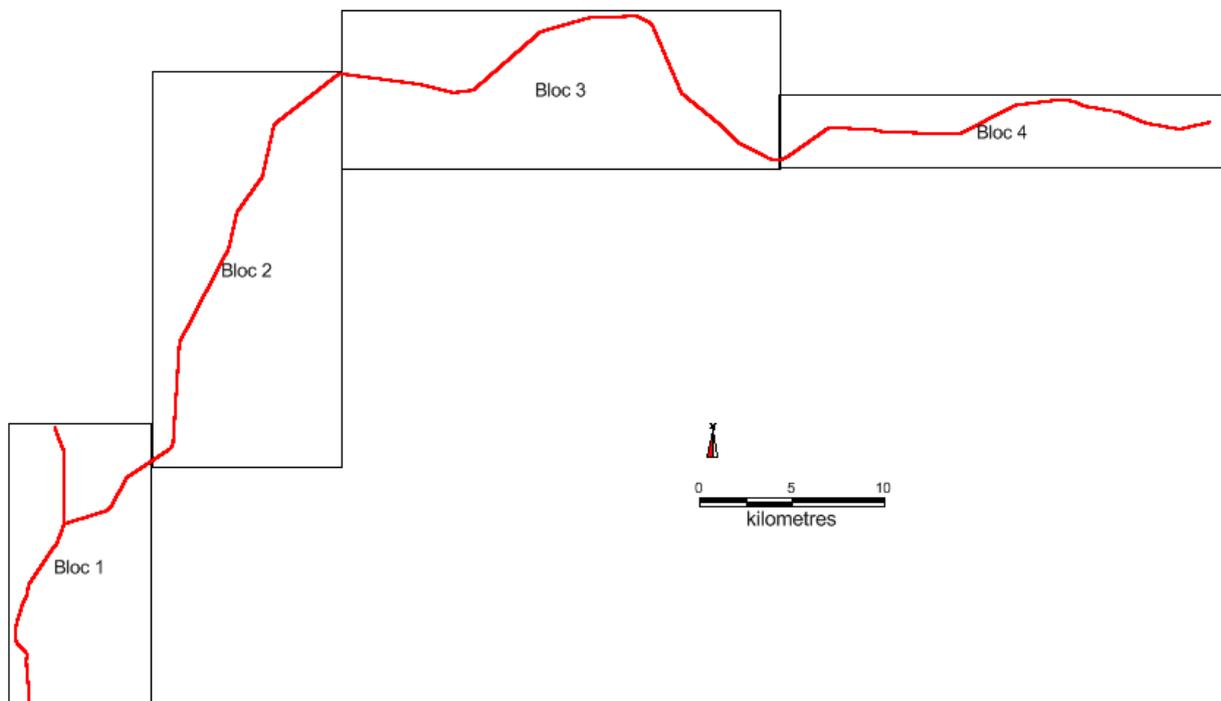


Figure 4 – Aperçu des blocs investigués par méthode électromagnétique au EM31

3.5 Analyse et interprétation des résultats des investigations EM obtenus

3.5.1 Méthode de traitement

Chaque bloc a été subdivisé en cartes de 7 x 50 m pour garder des proportions optimales entre la longueur et la largeur de la carte. La répartition du nombre de cartes par bloc figure dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Répartition du nombre de cartes par bloc

Bloc	Nombre de cartes
1	600
2	680
3	781
4	628
Total	2689

Dans le total de 2689 cartes, faire une analyse manuelle de chaque carte serait fastidieux. Nous avons élaboré un algorithme automatique de détection des cartes présentant des dégradations. Une dégradation est caractérisée par une hétérogénéité dans la digue marquée par une forte augmentation ou une forte diminution de la résistivité. De ce fait, la présence de dégradations entrainera une fluctuation rapide des valeurs de résistivité.

L'algorithme considère l'étendue des données entre les résistivités maximales et minimales pour détecter les cartes présentant une dégradation. Nous considérons que si l'étendue des mesures est supérieure à 10 ohm.m, la carte peut potentiellement présenter une dégradation. En effet une mesure de résistivité a en moyenne une précision de +/-10 ohm.m, ce qui constitue un bon seuil pour détecter les dégradations. La prise en compte de l'étendue des mesures pour détecter les dégradations sur les cartes a permis d'aboutir aux résultats ci-dessous :

Tableau 2 : Répartition des cartes présentant des dégradations

Blocs	Carte sans dégradation	Carte avec dégradation	Total
1	544	56	600
2	674	6	680
3	776	5	781
4	608	20	628
Total	2602	87	2689

Nota : Les cartes sans dégradation seront présentées en annexe

3.5.2 Analyse et interprétation des résultats du bloc 1 (du PK0 au PK19)

Le bloc1 commence par des résistivités comprises entre 10 et 20 ohm.m puis augmente progressivement en direction du nord pour atteindre 30 à 40 ohm.m pour enfin baisser à nouveau entre 10 et 20 ohm.m. Ces fluctuations de la résistivité sont liées à la géologie du substratum. Cependant nous pouvons noter la présence de dégradations représentée par des variations brusques de résistivités. Nous pouvons noter des dégradations latérales longeant la digue (AS144, BC130, etc.) ou des dégradations assimilables à des cavités (V265, BH117, etc).

Les zones présentant des dégradations se répartissent sur trois domaines (voir carte bloc 1)

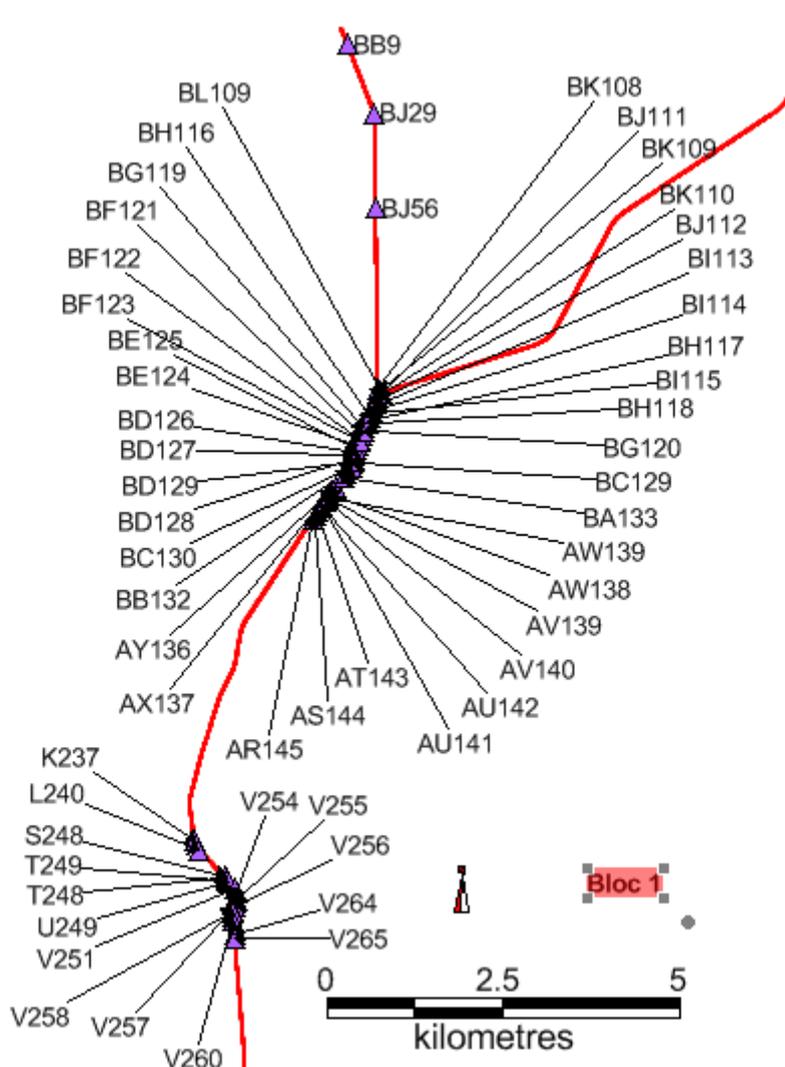
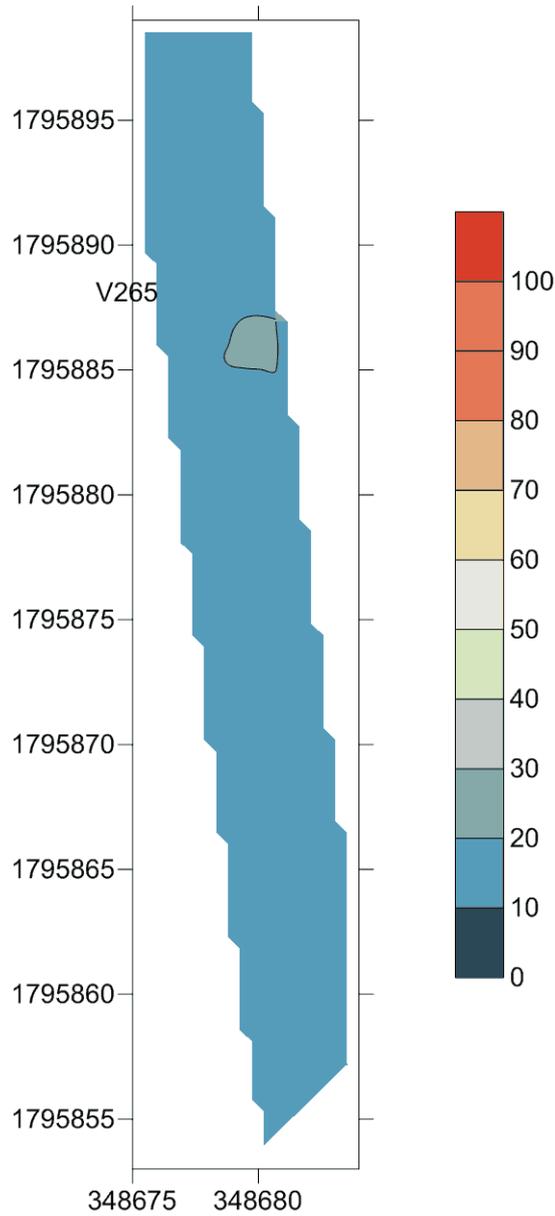
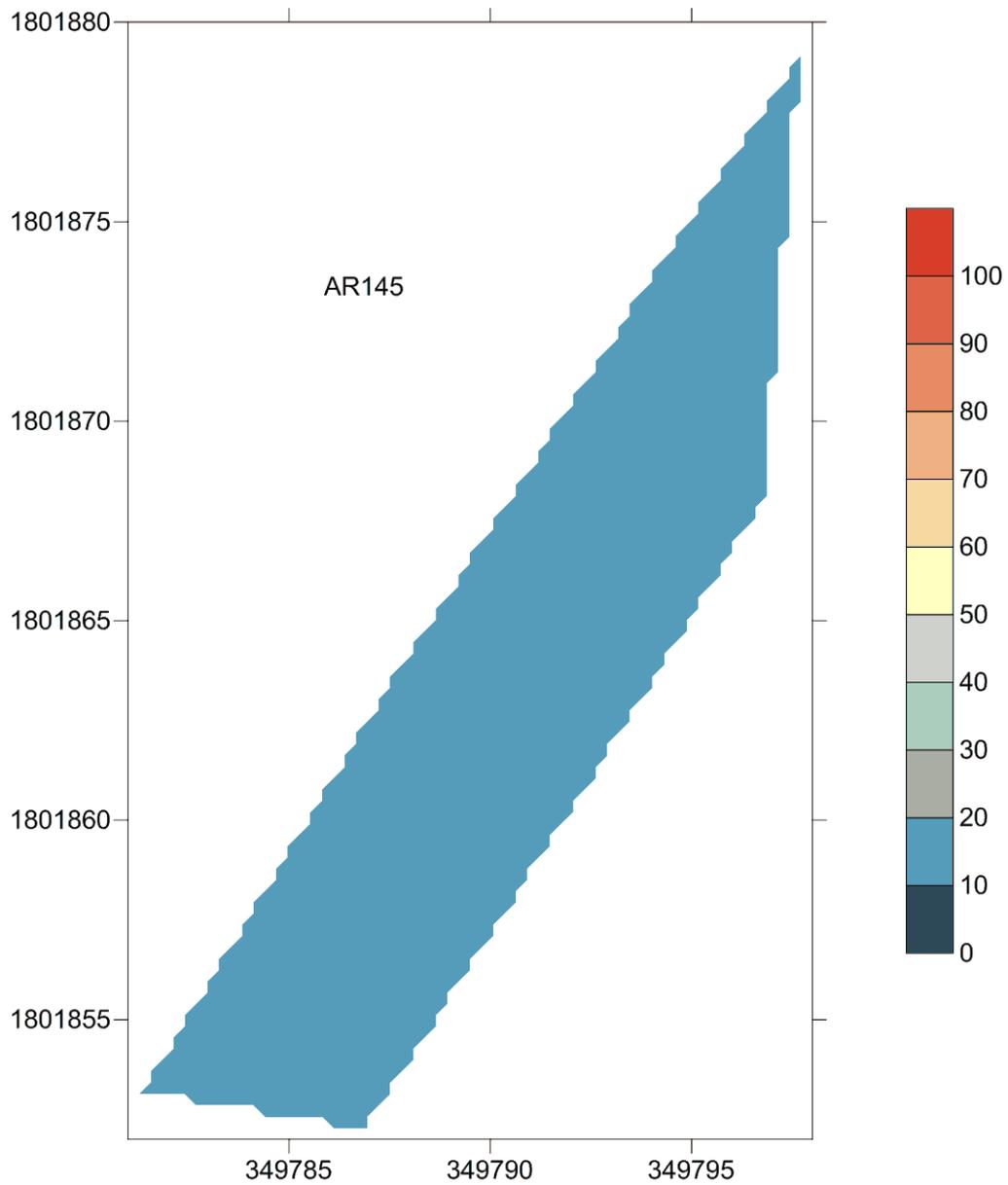
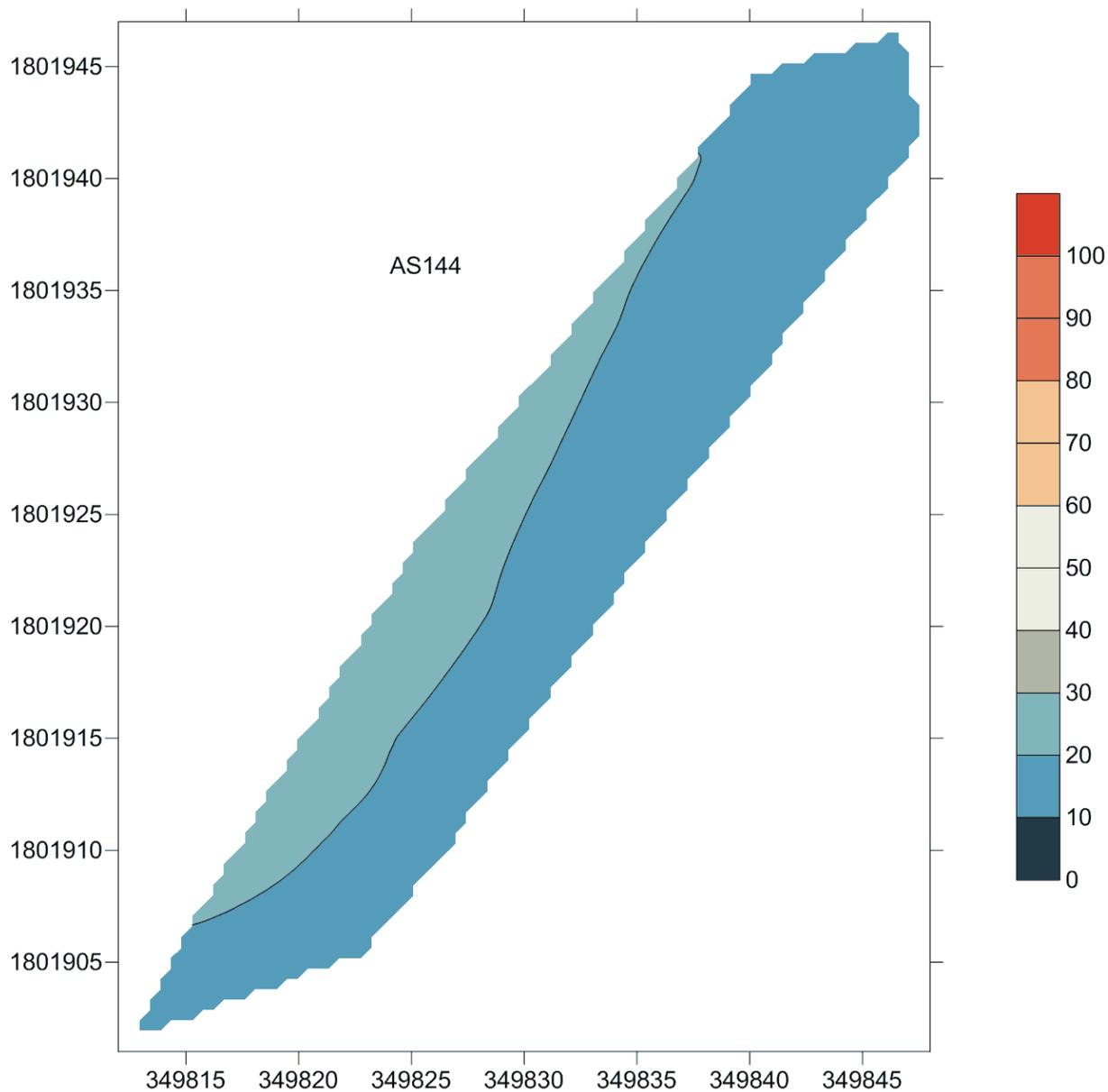
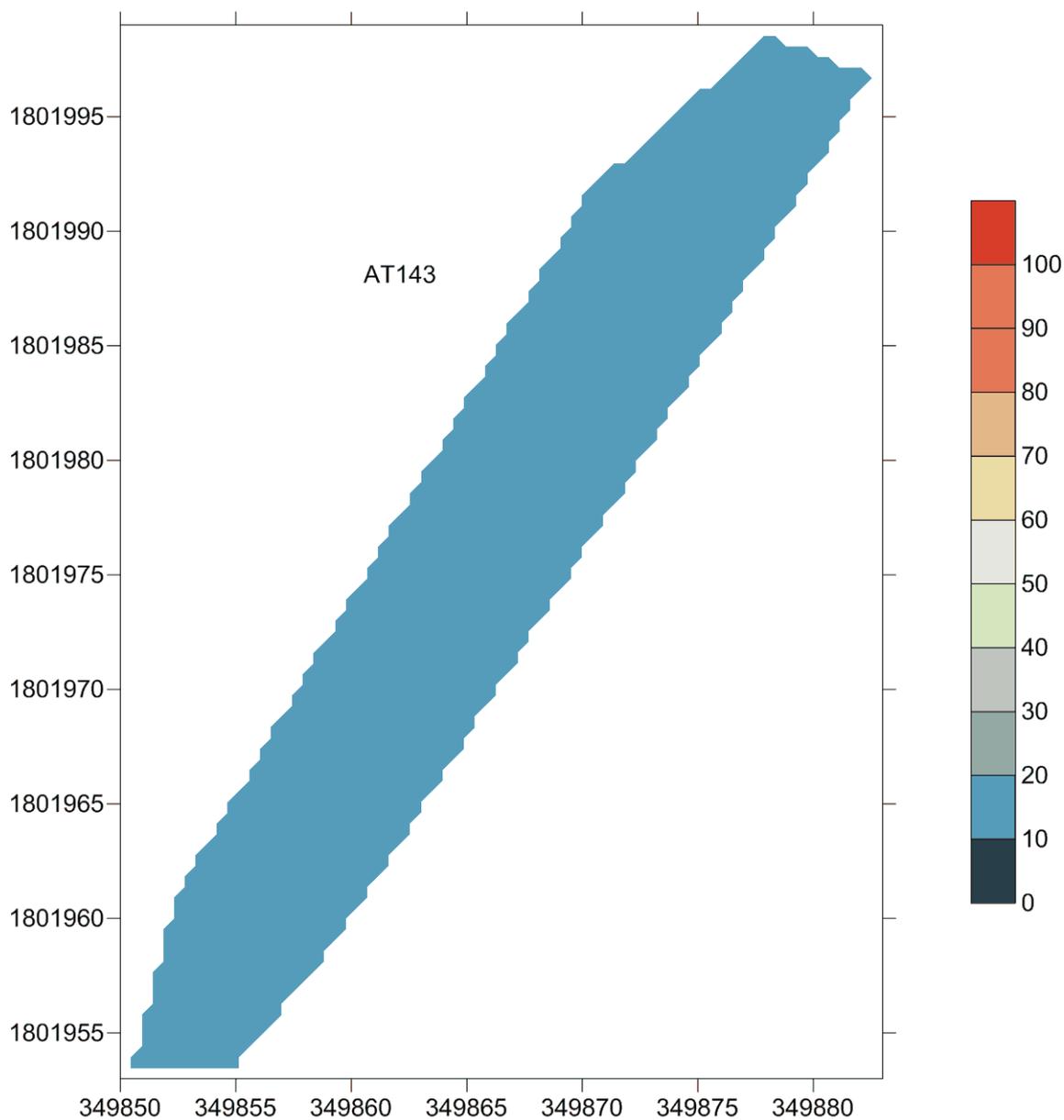


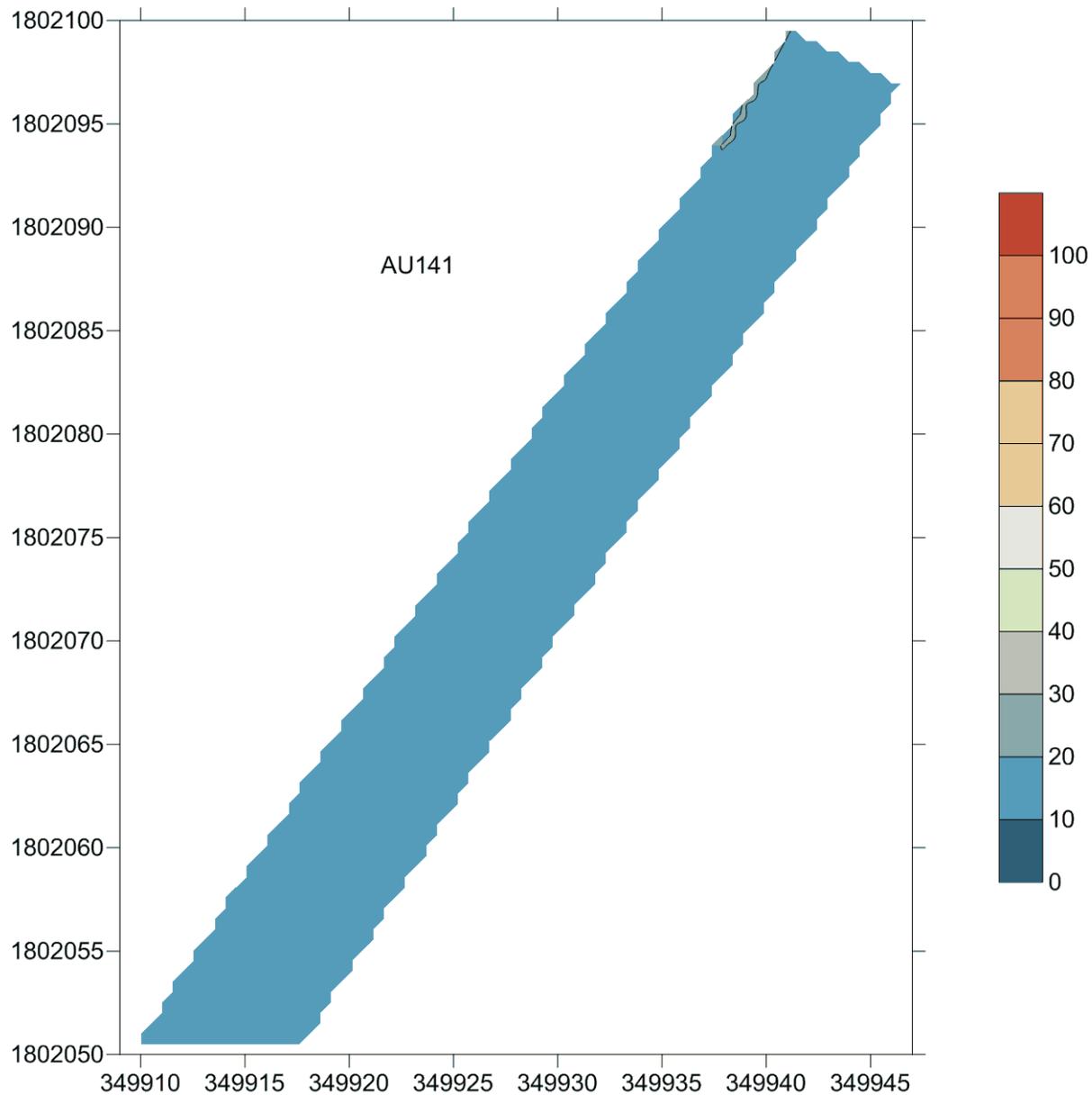
Figure 5 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 1.

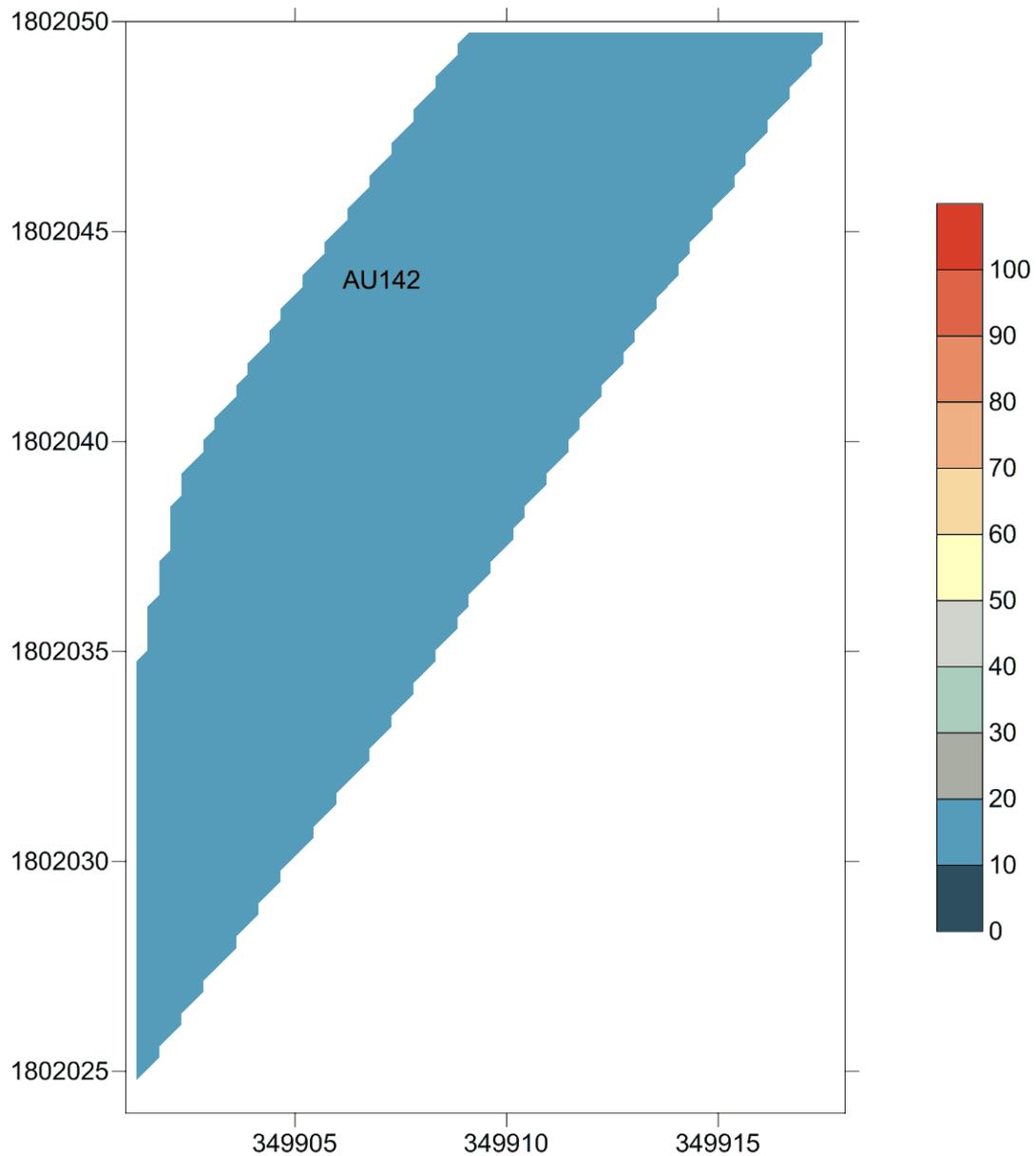


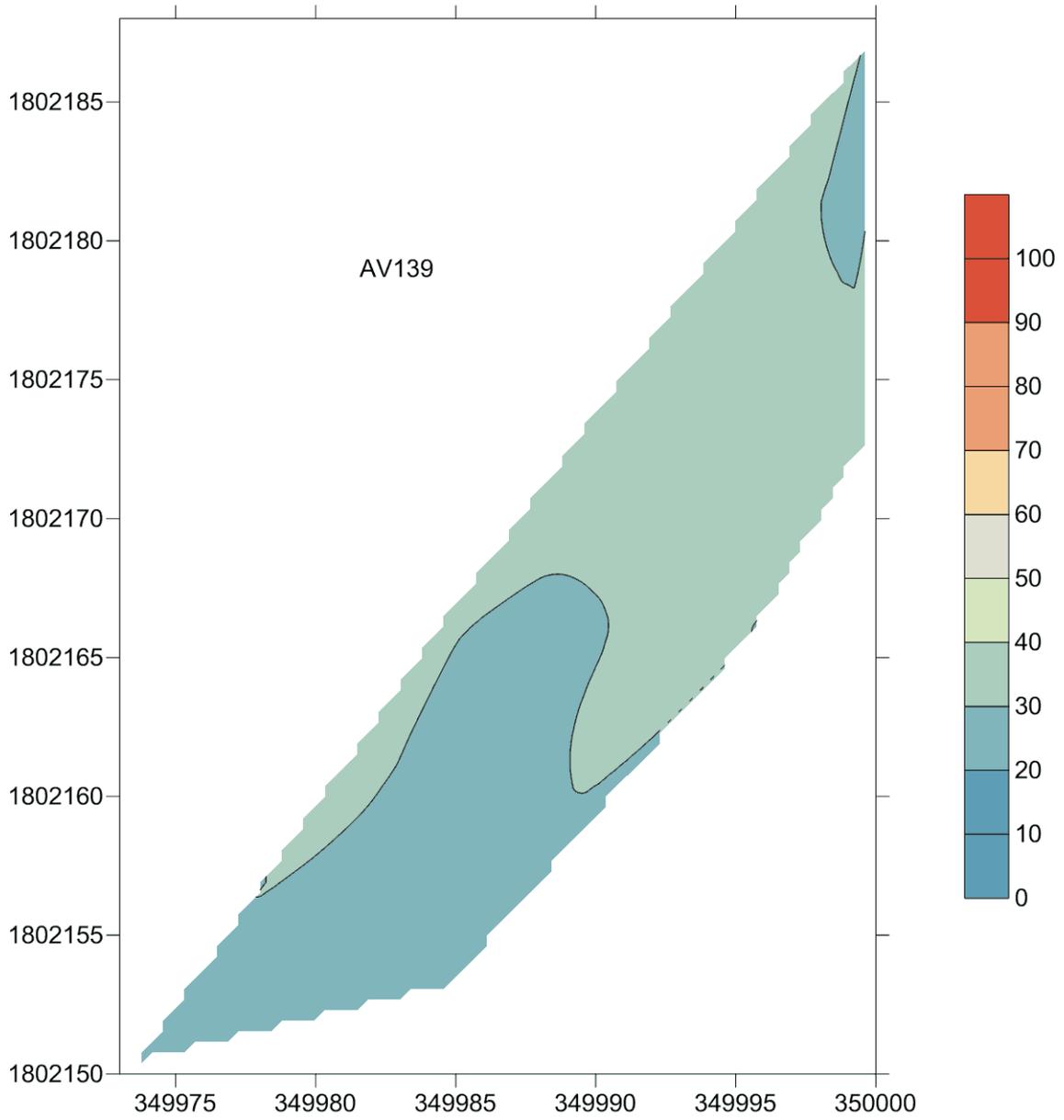


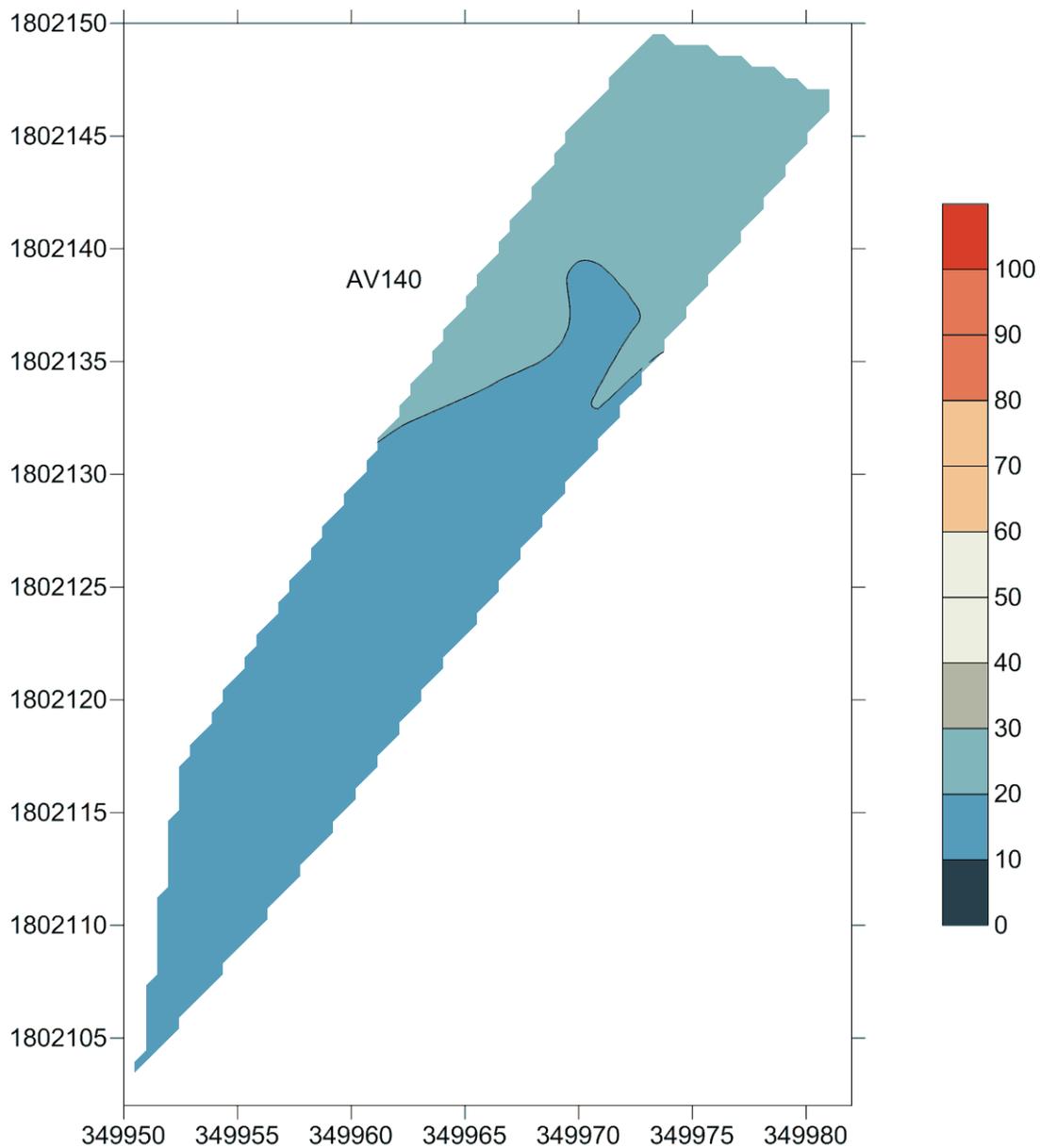


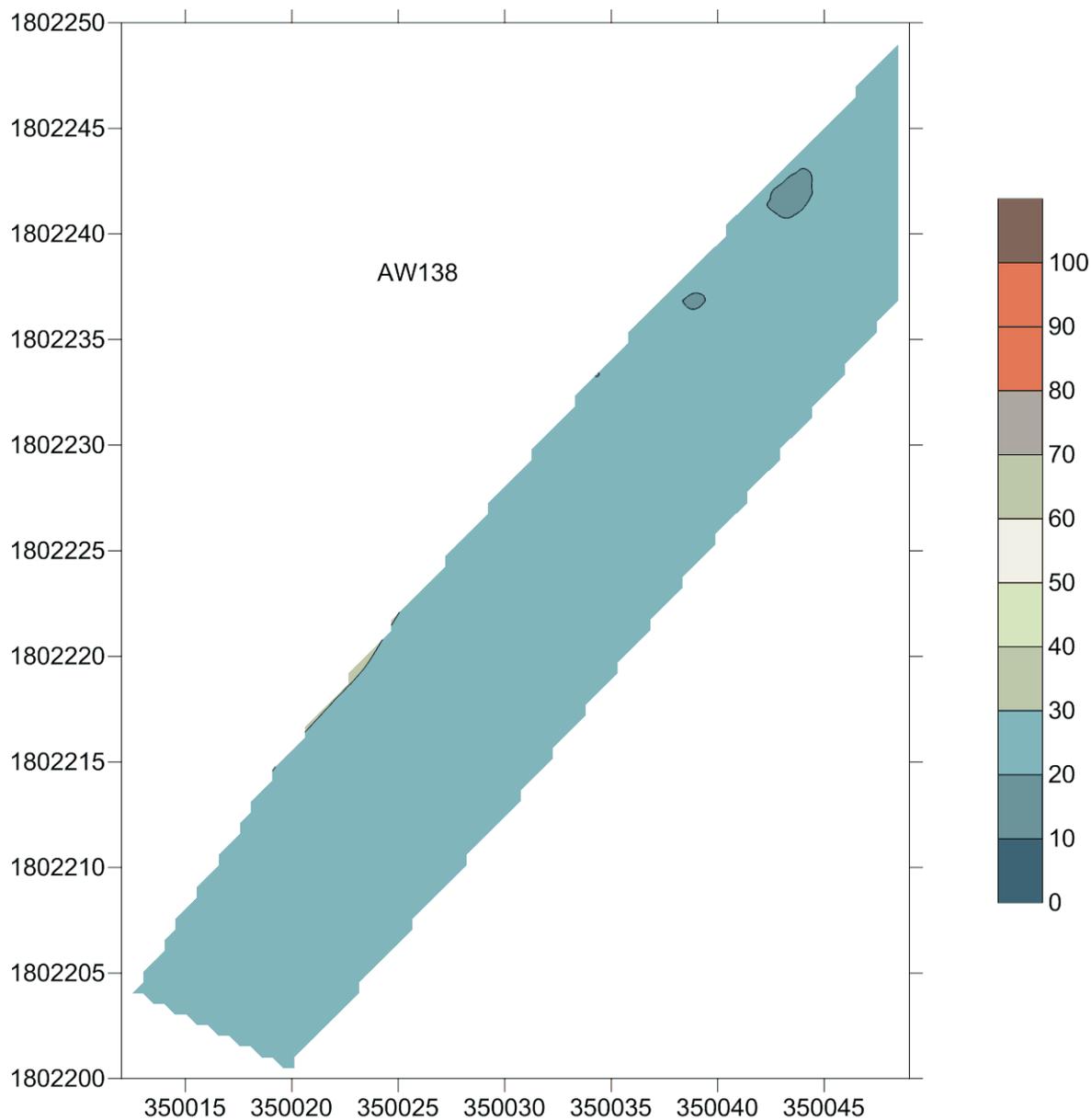


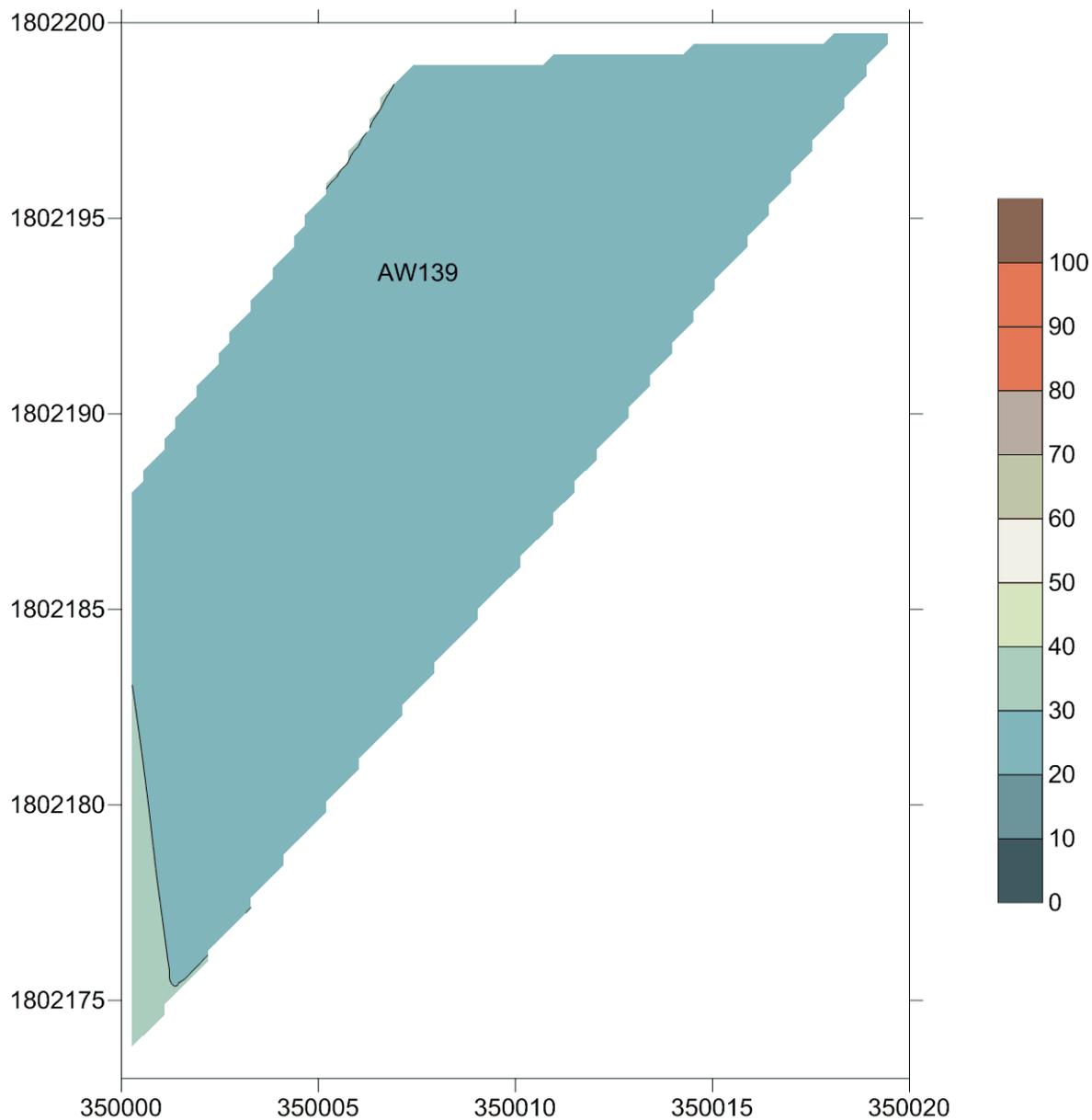


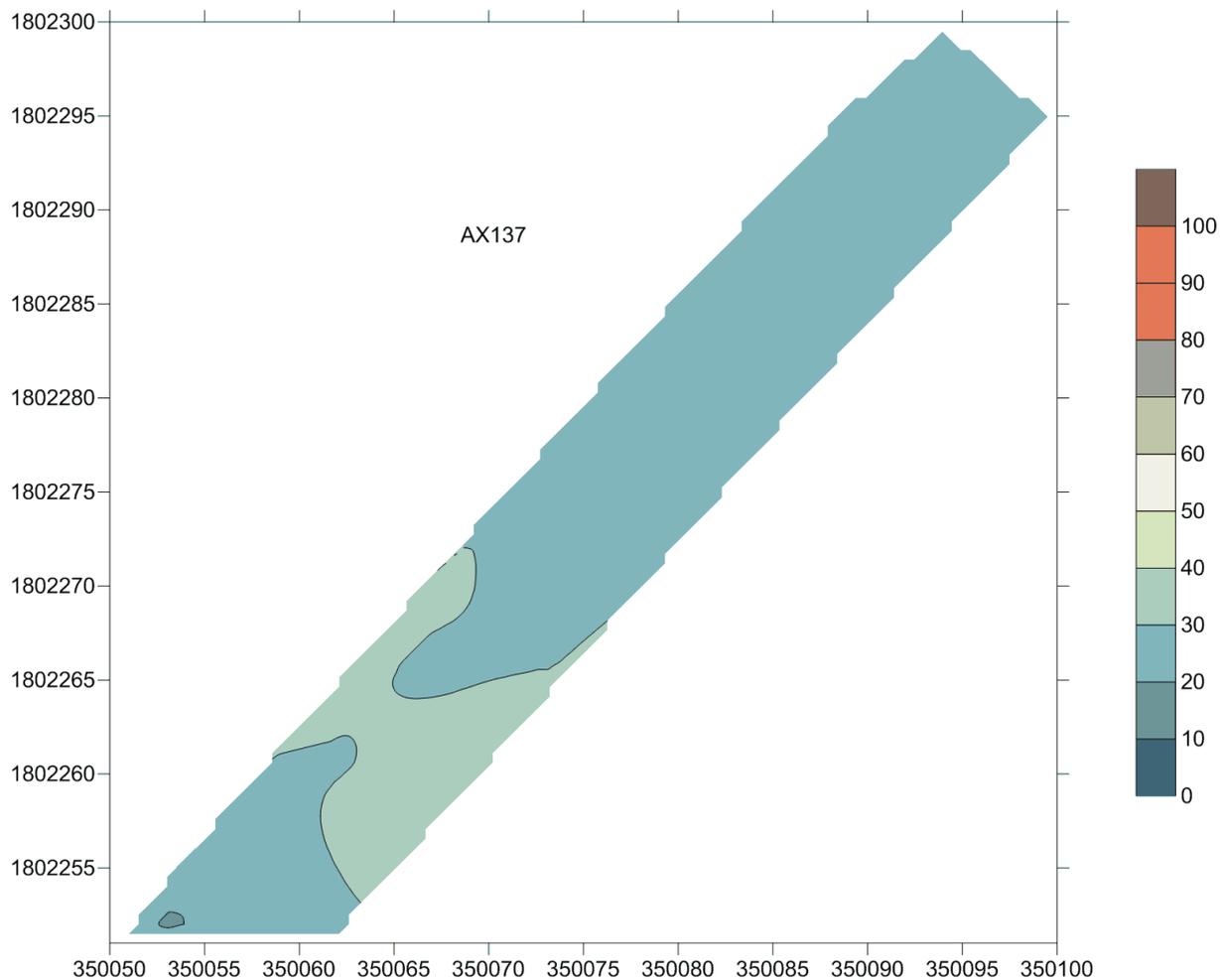


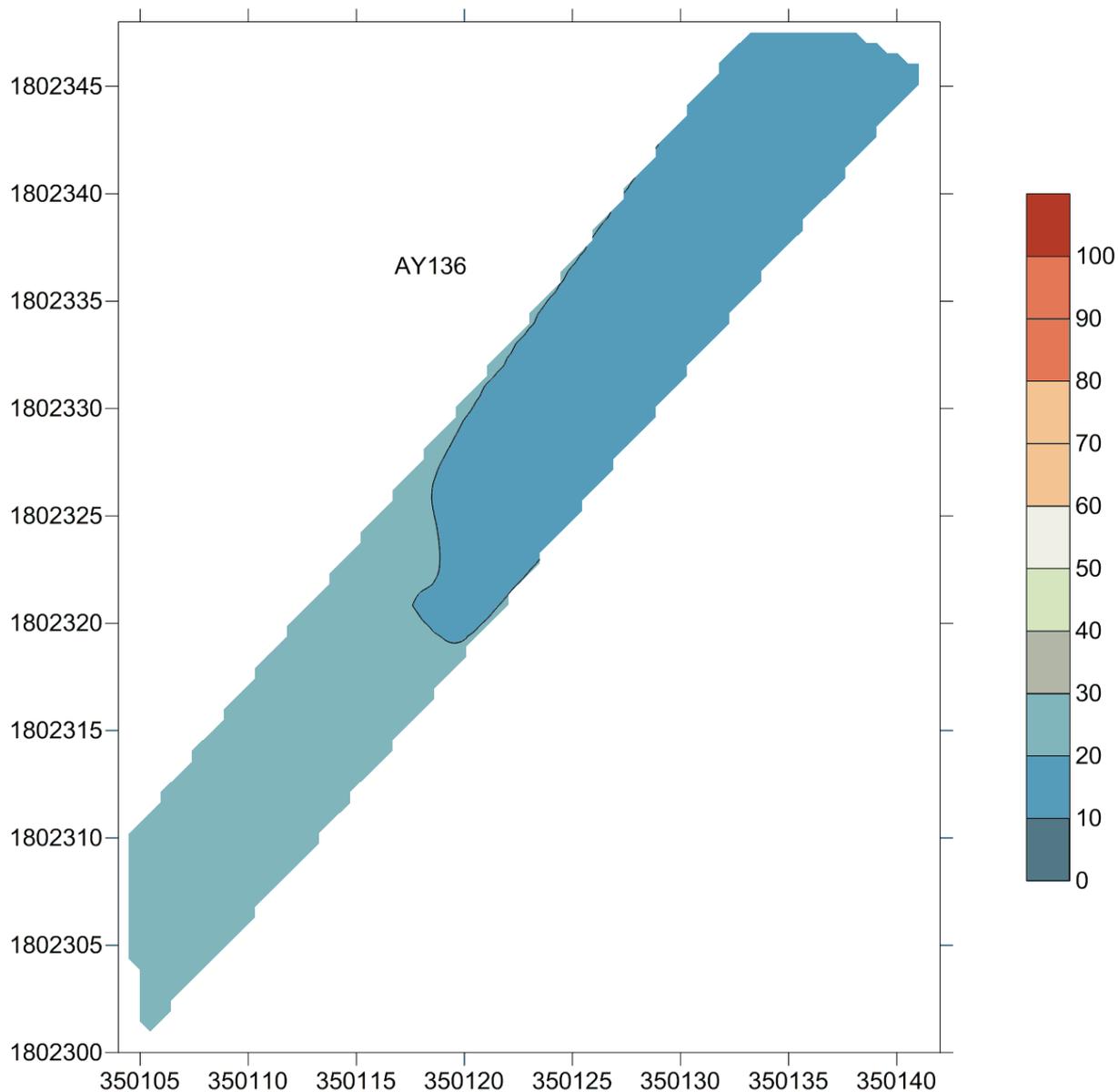


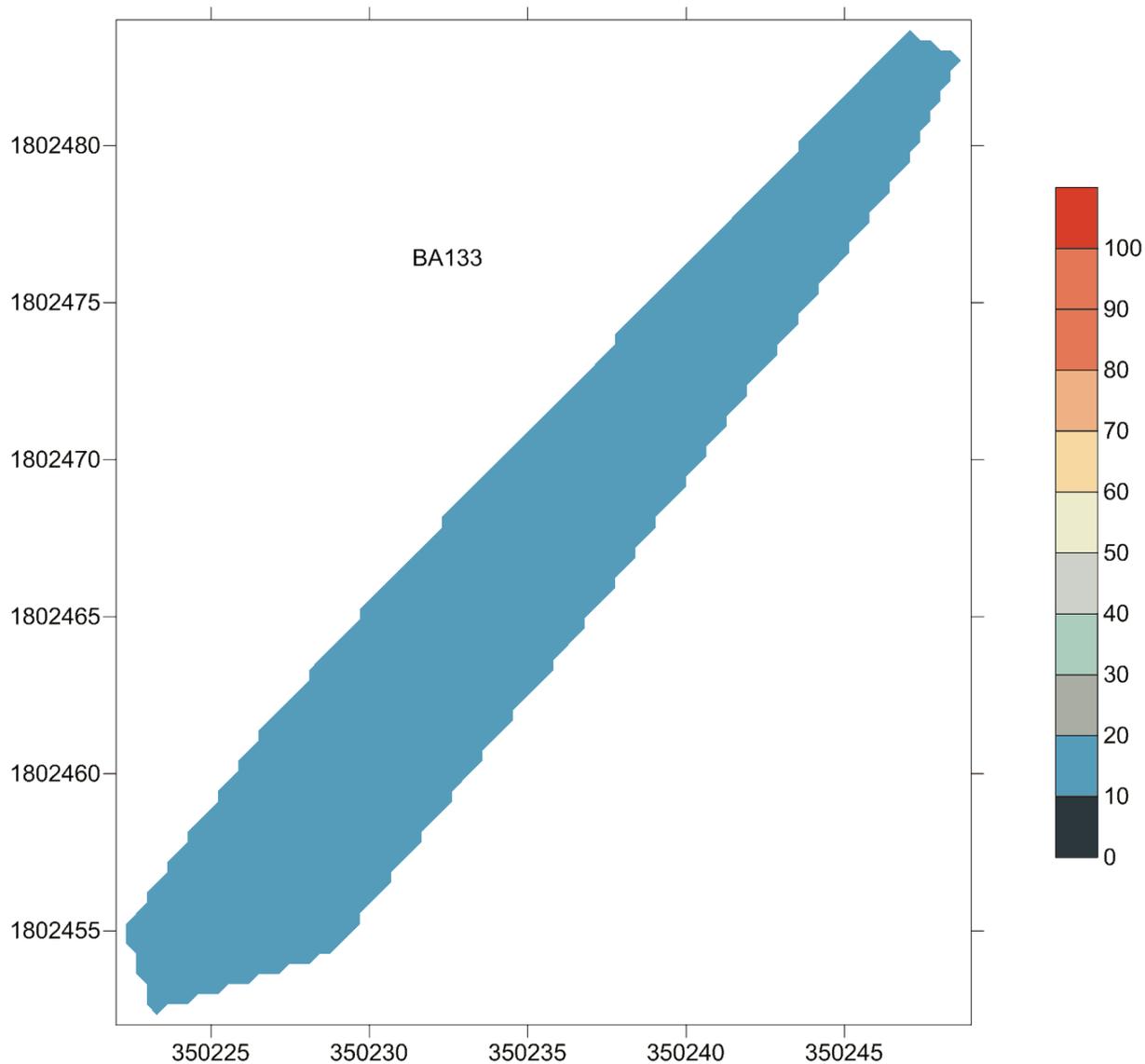


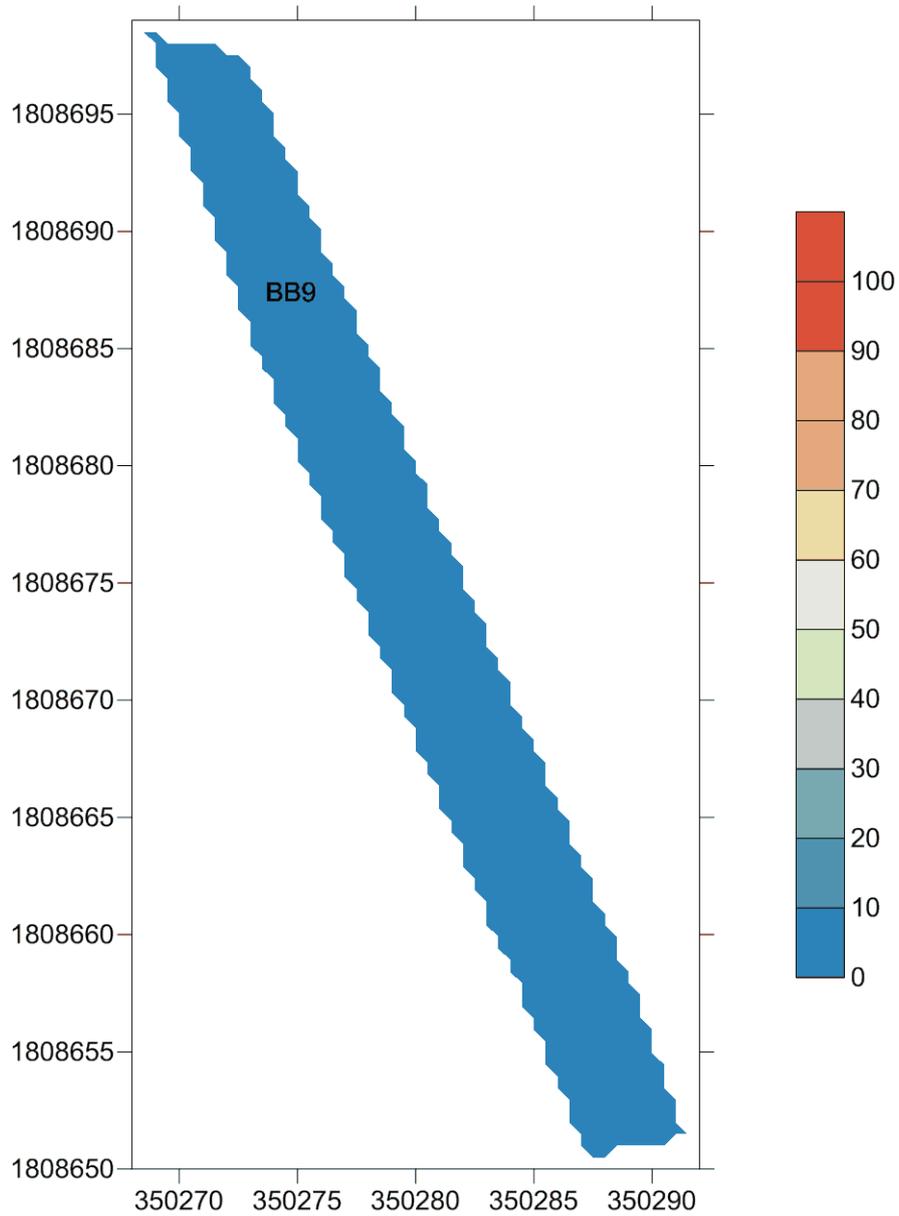


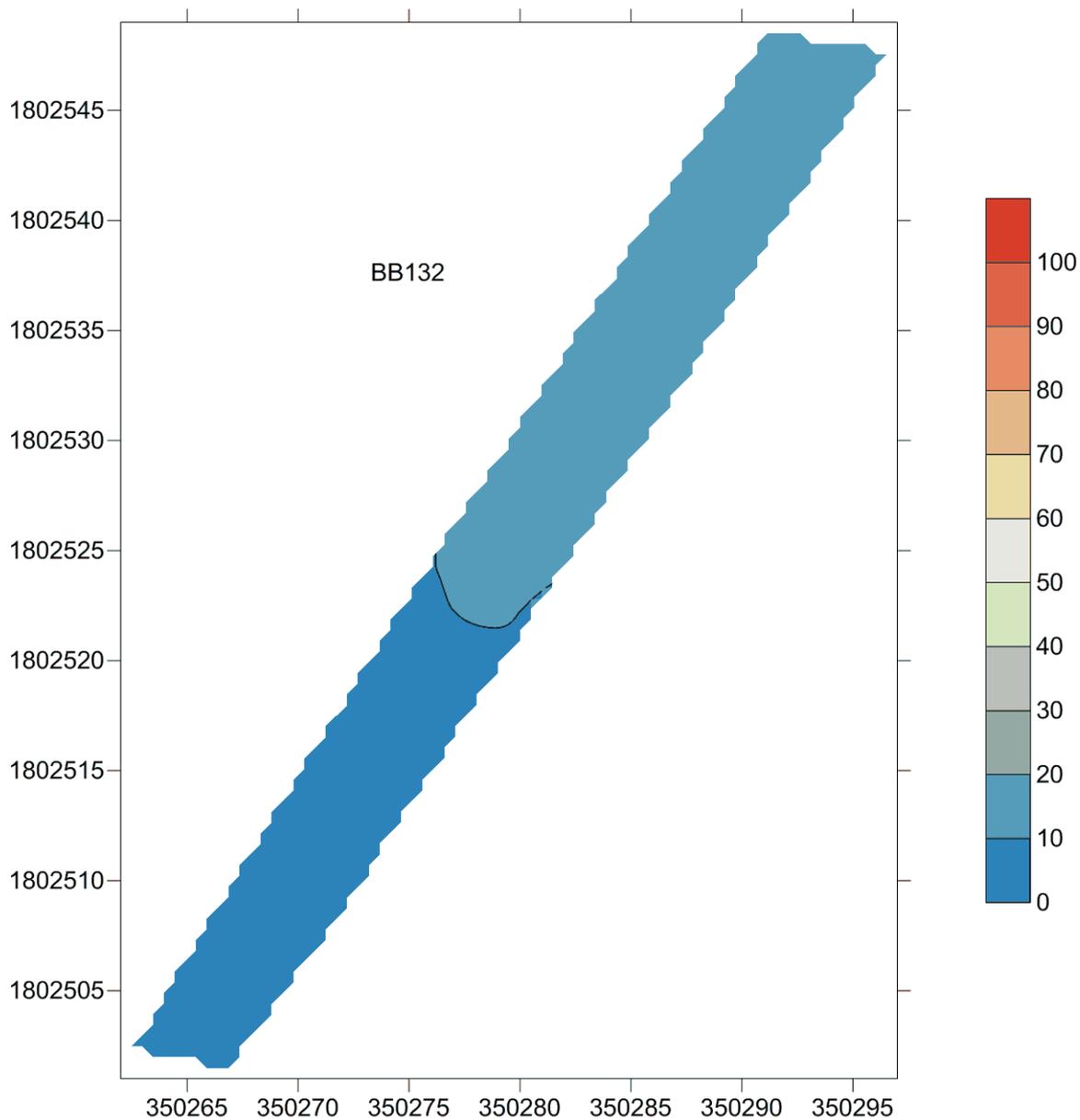


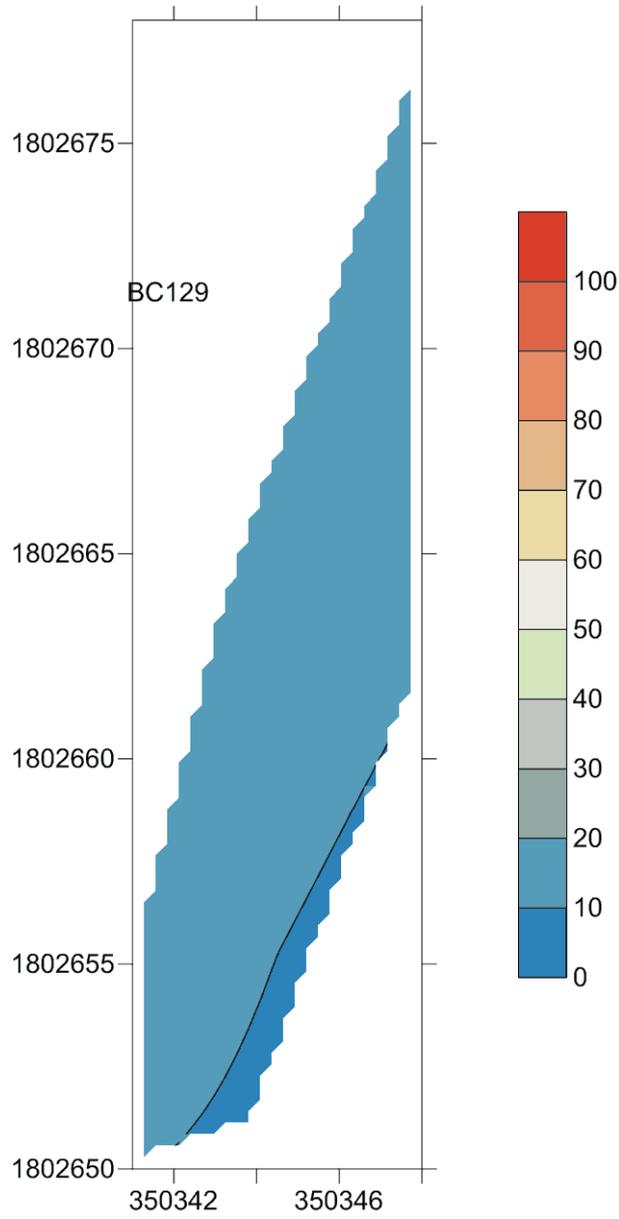


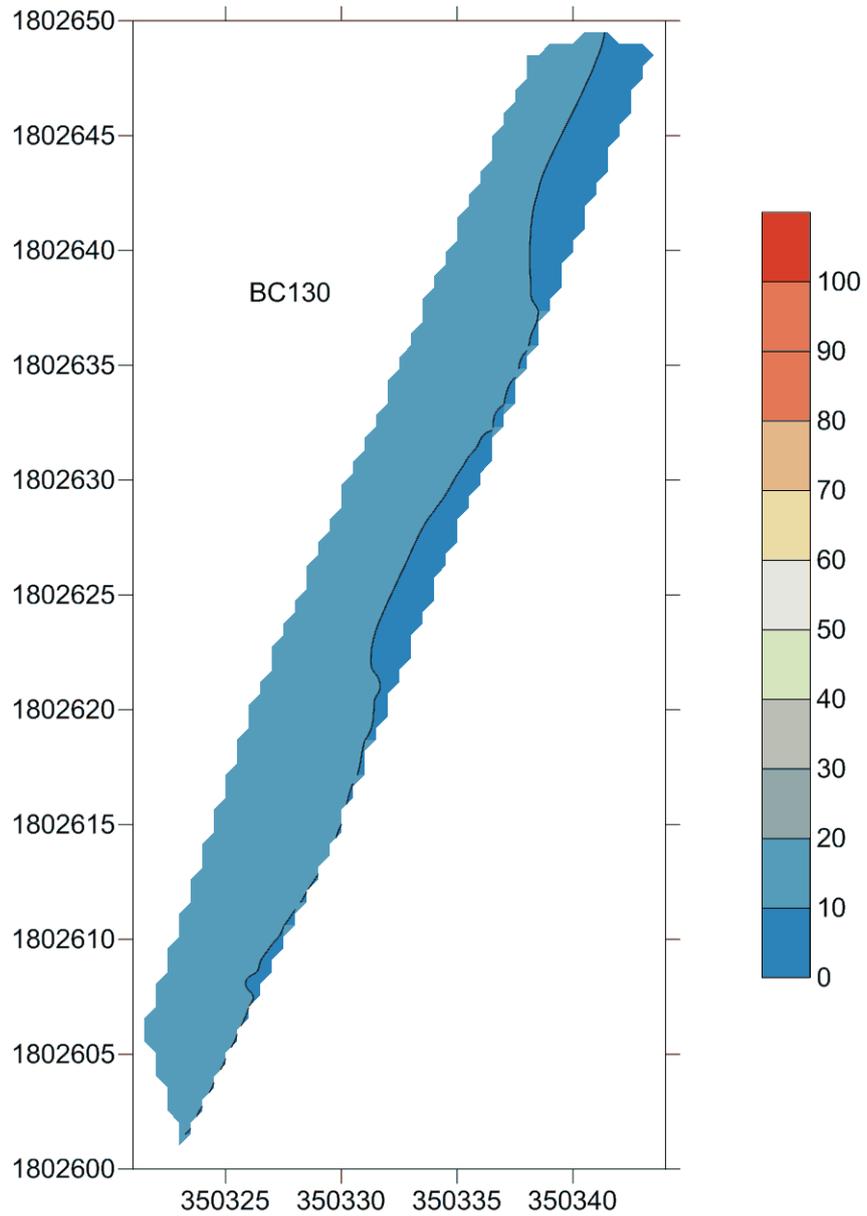


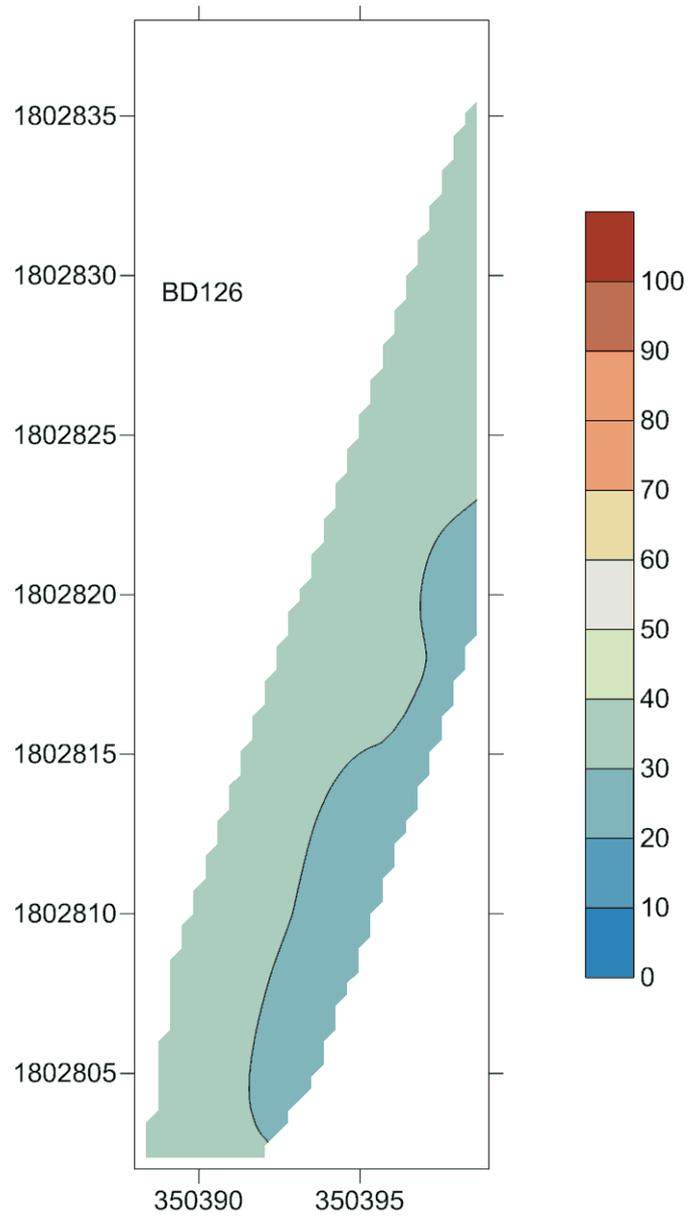


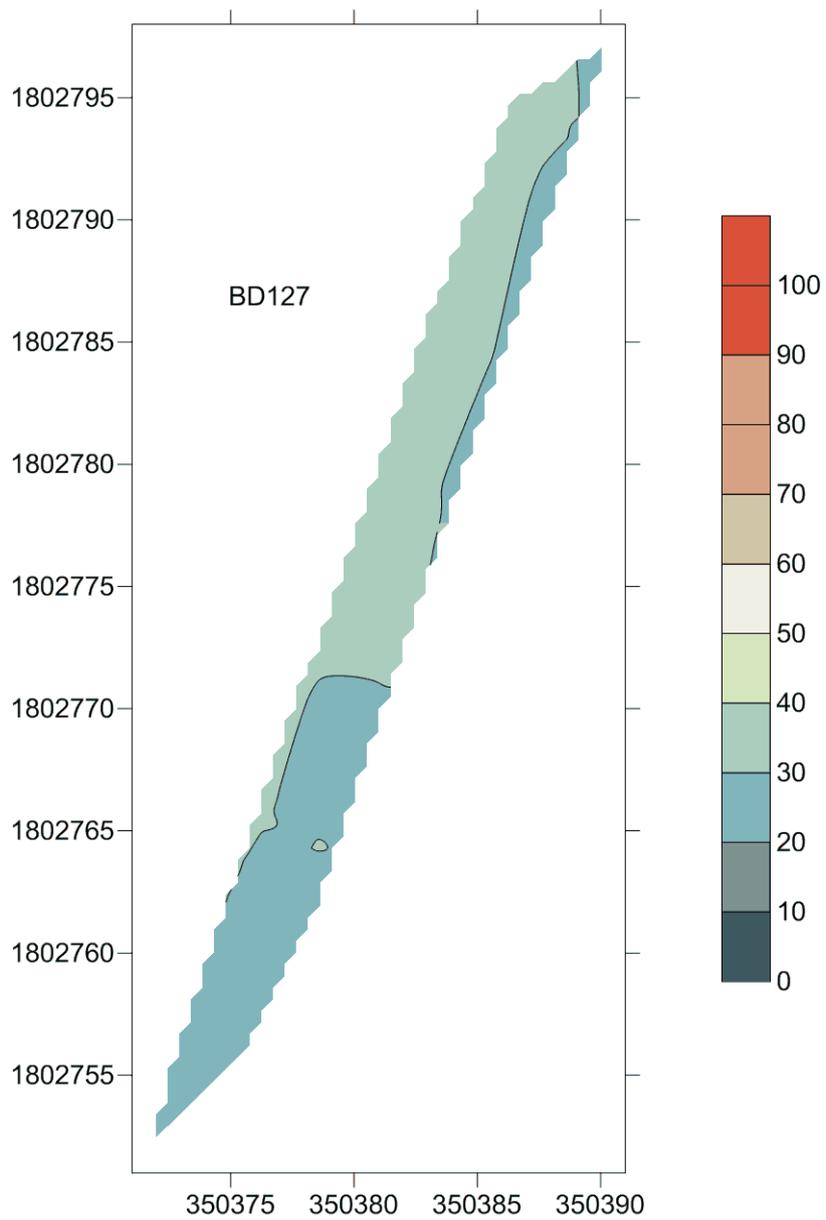


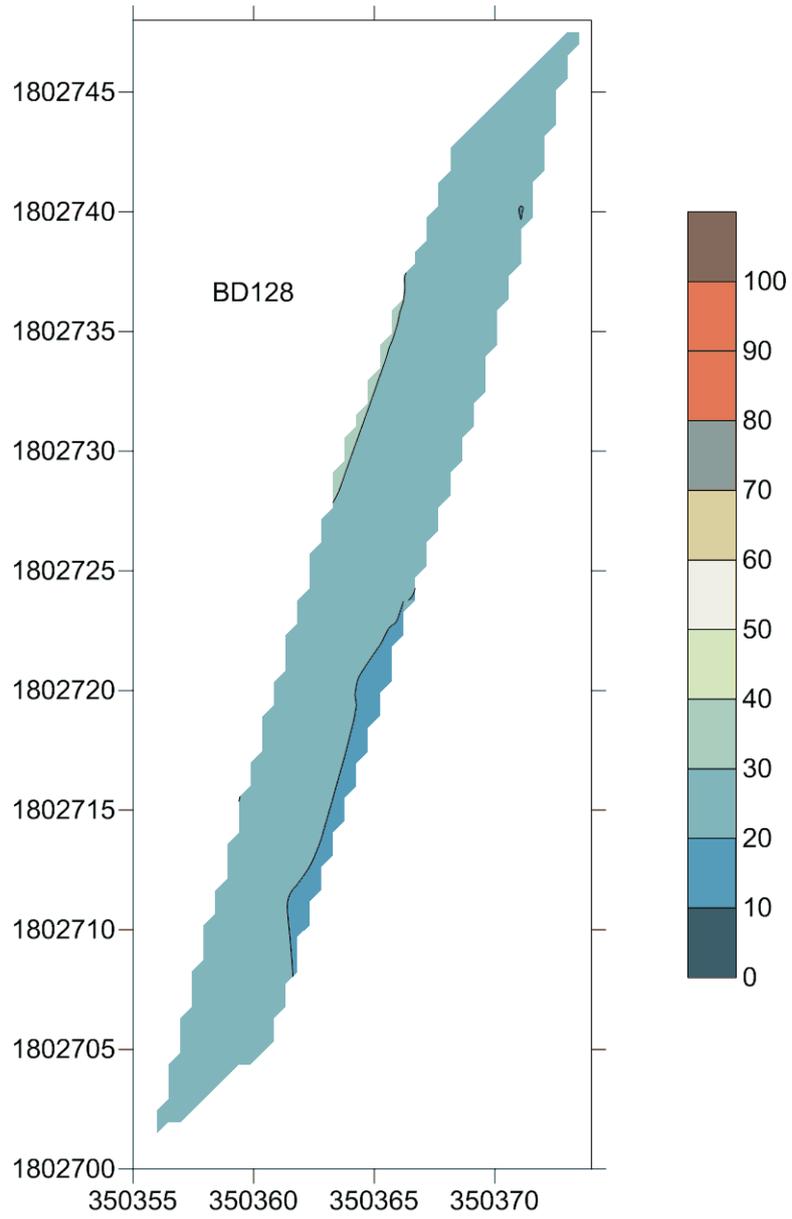


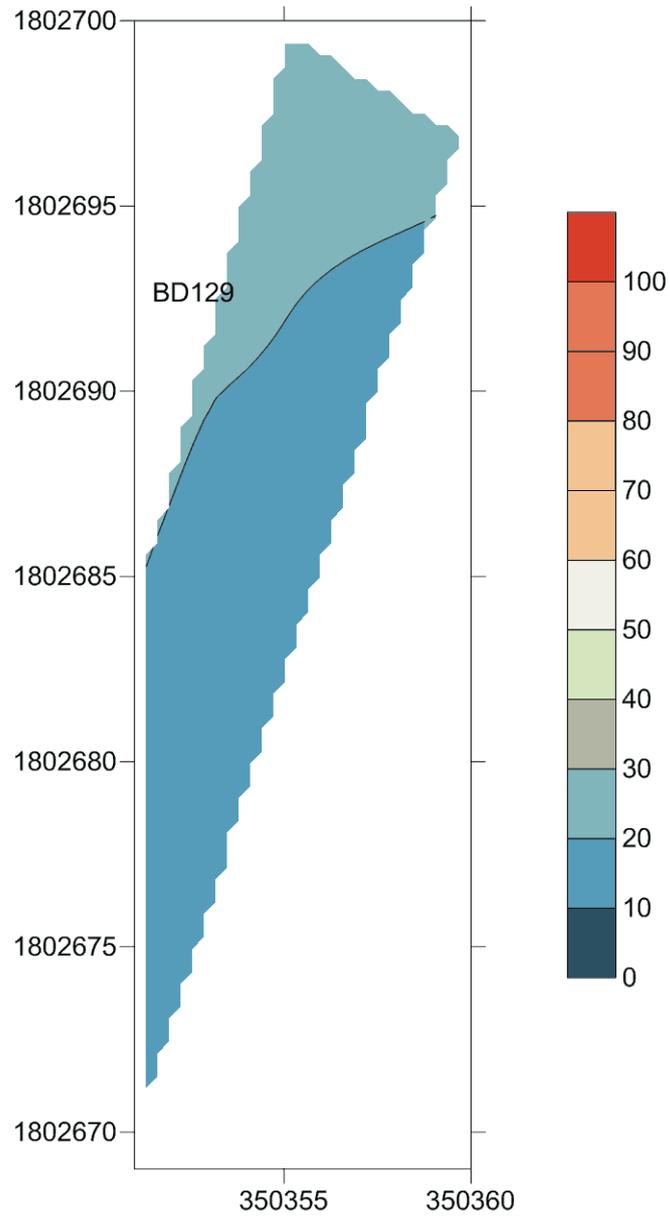


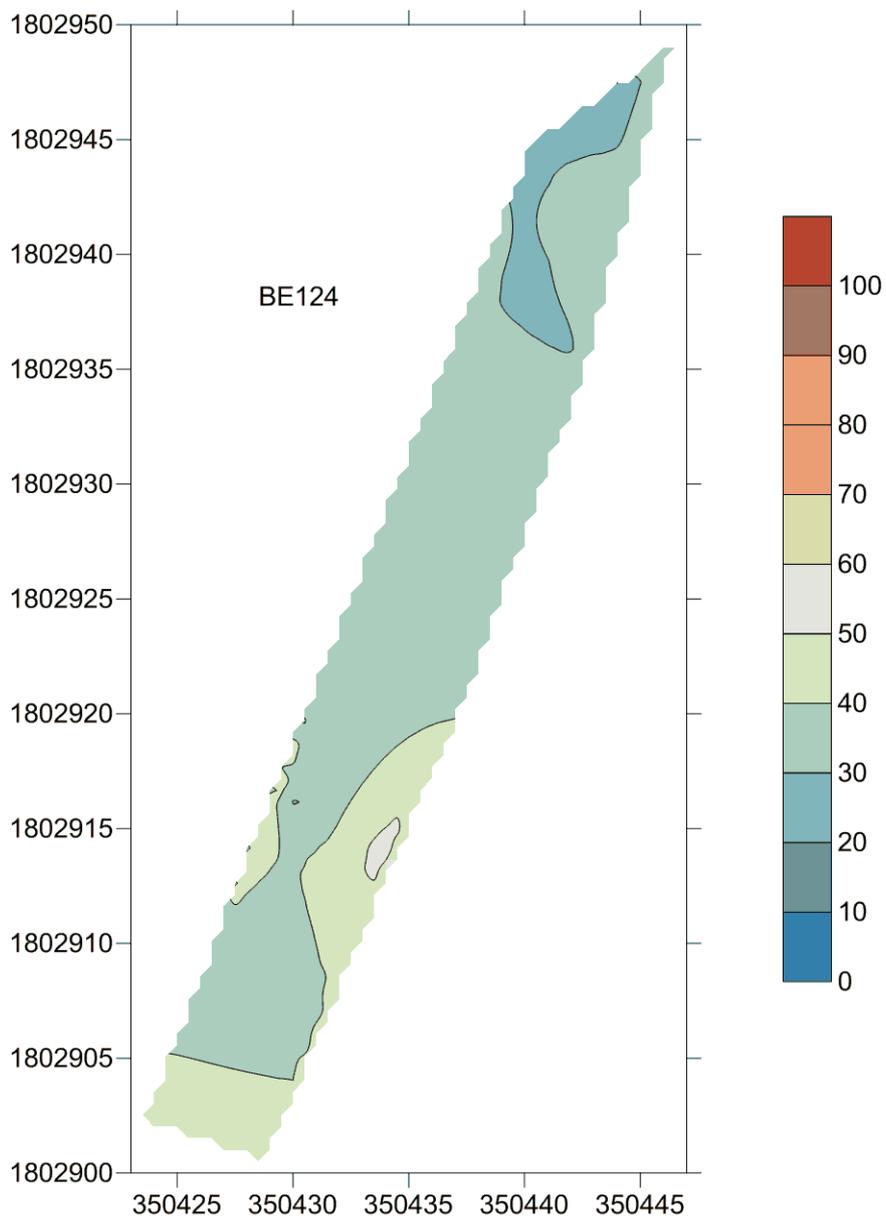


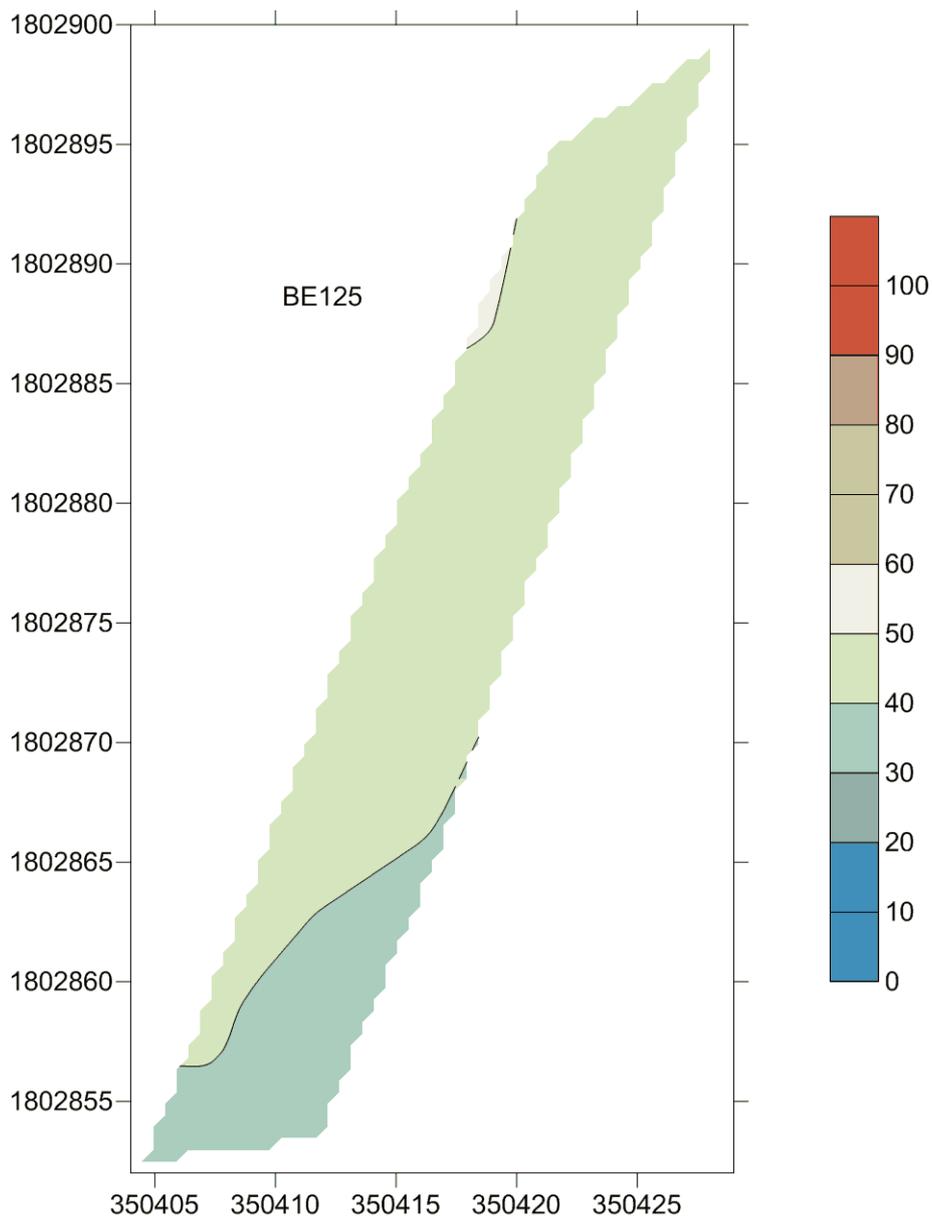


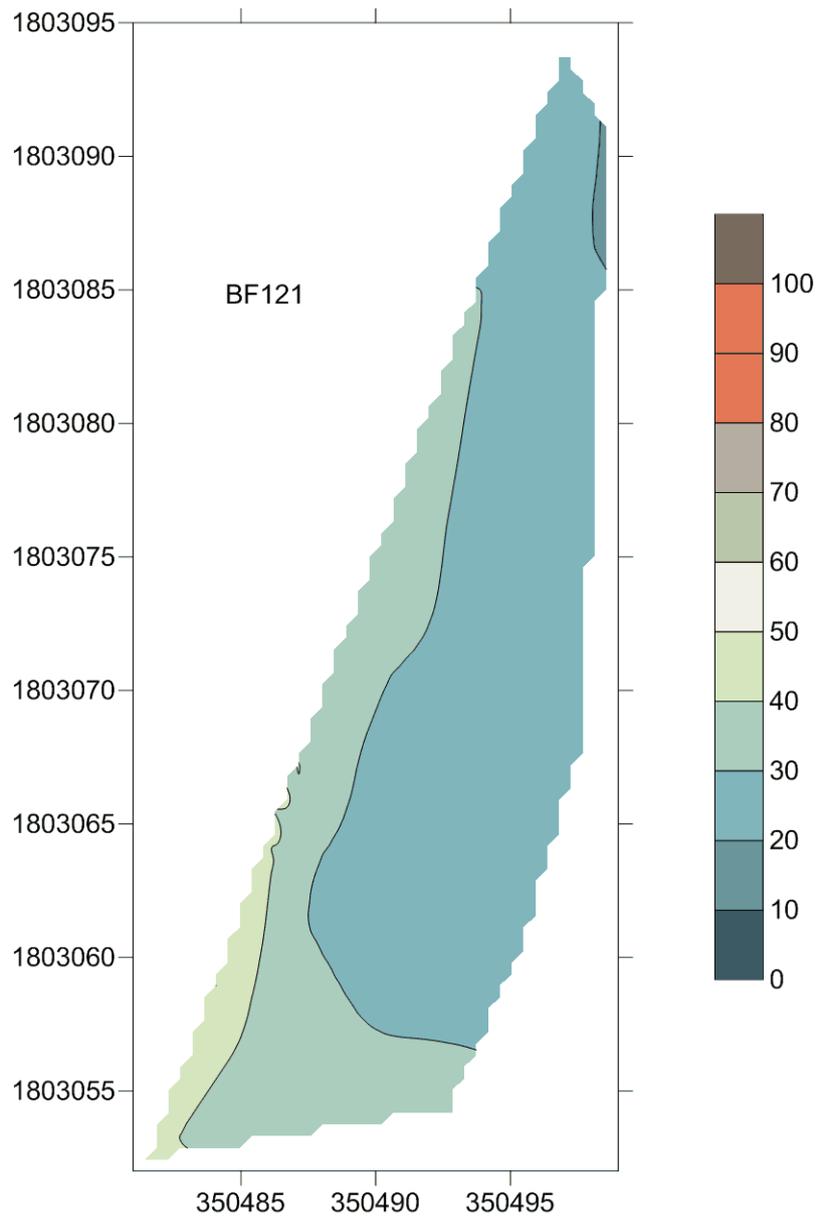


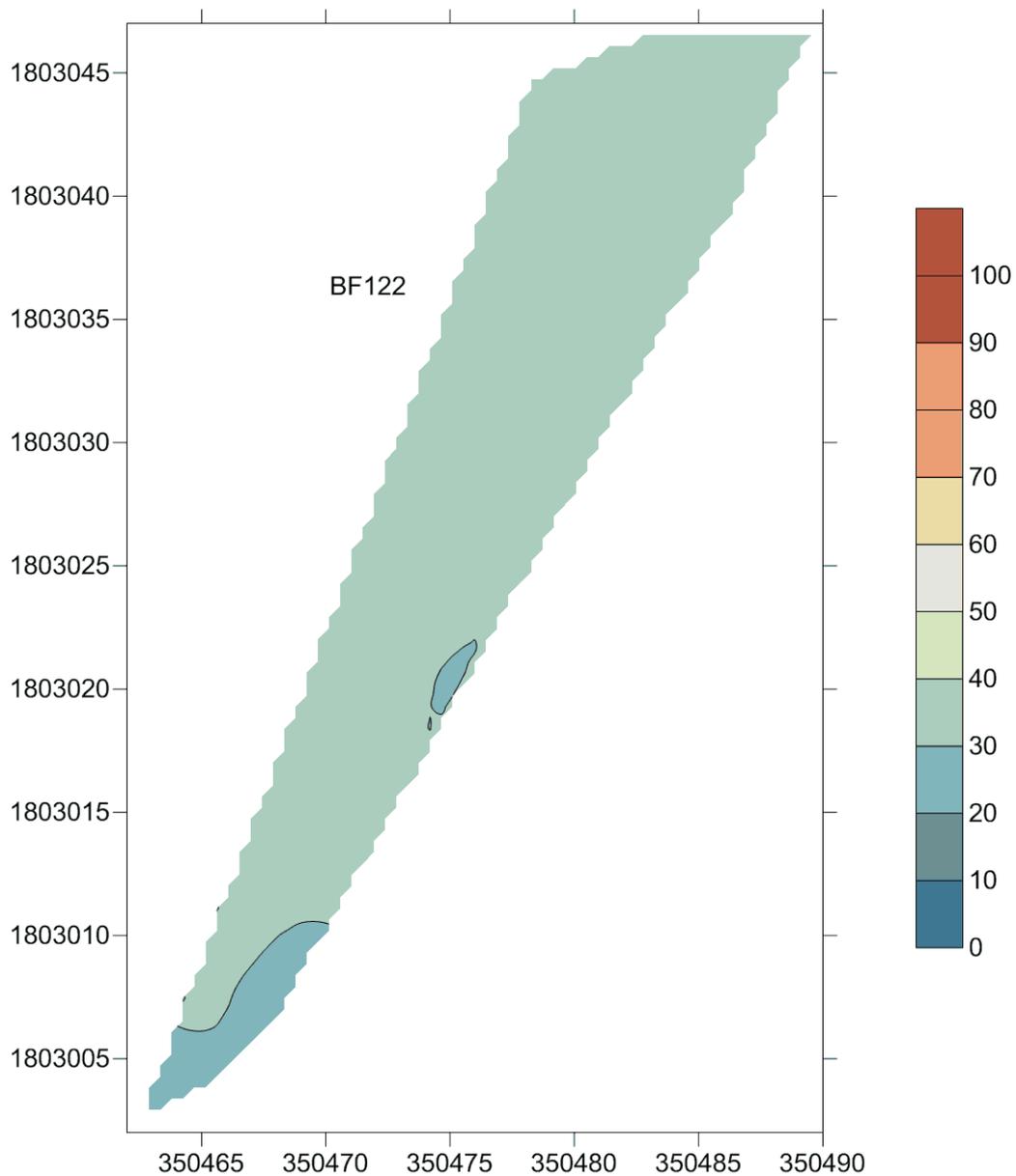


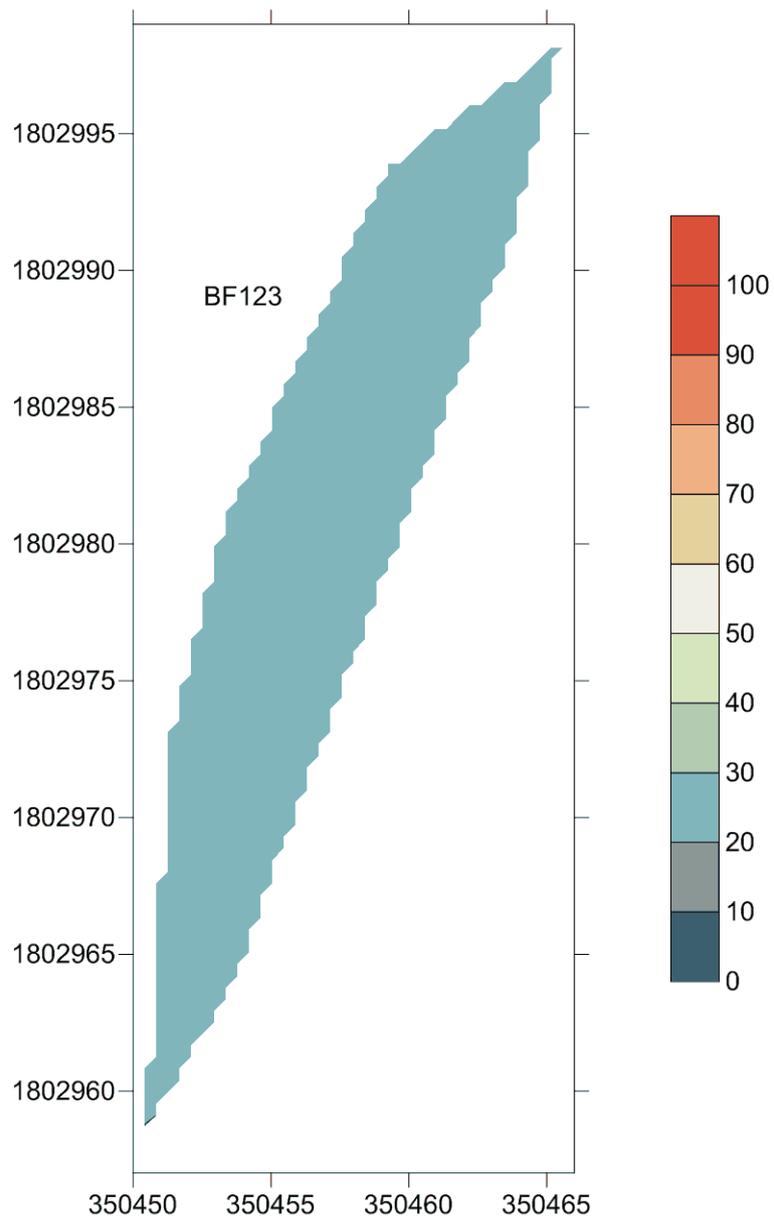


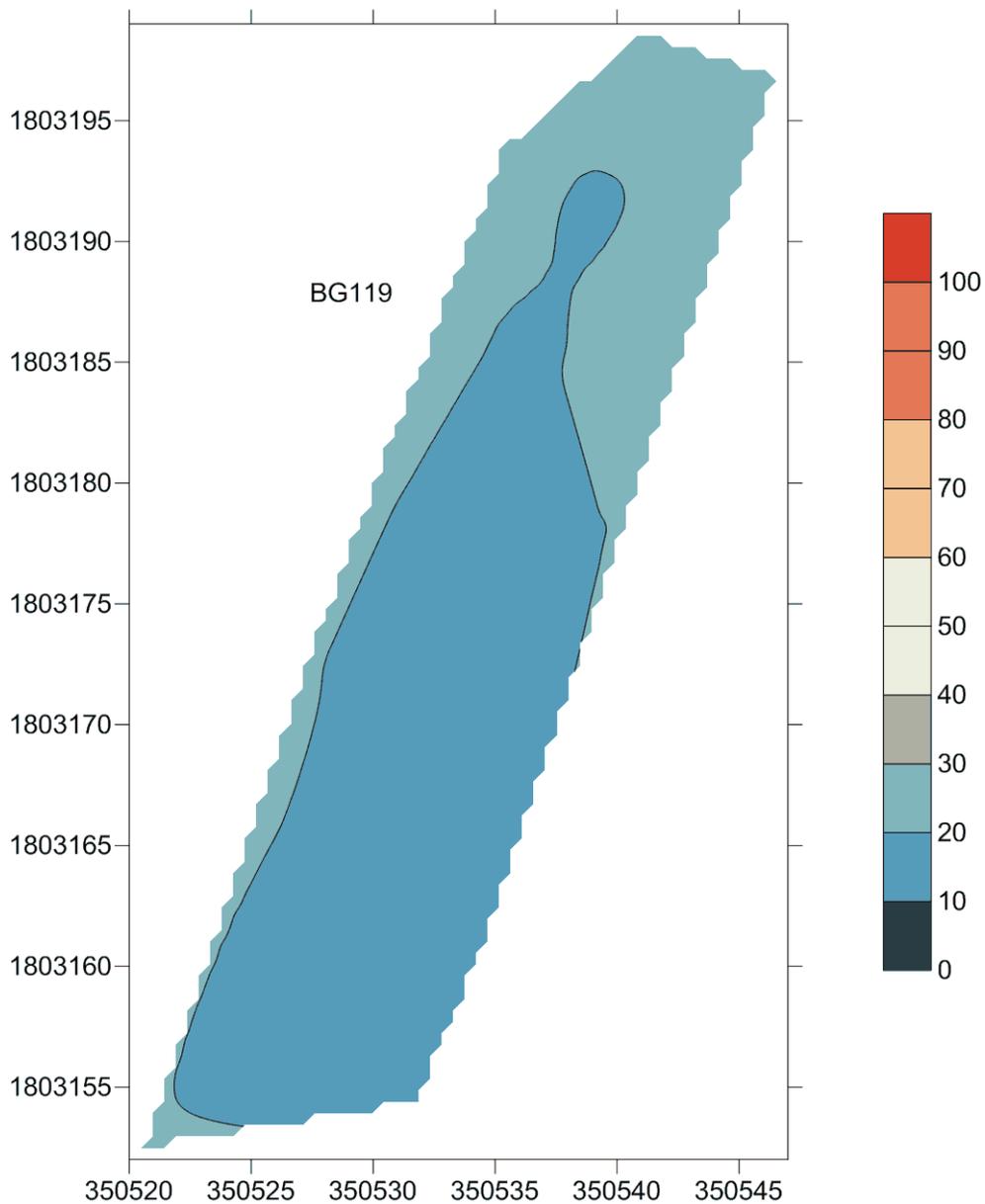


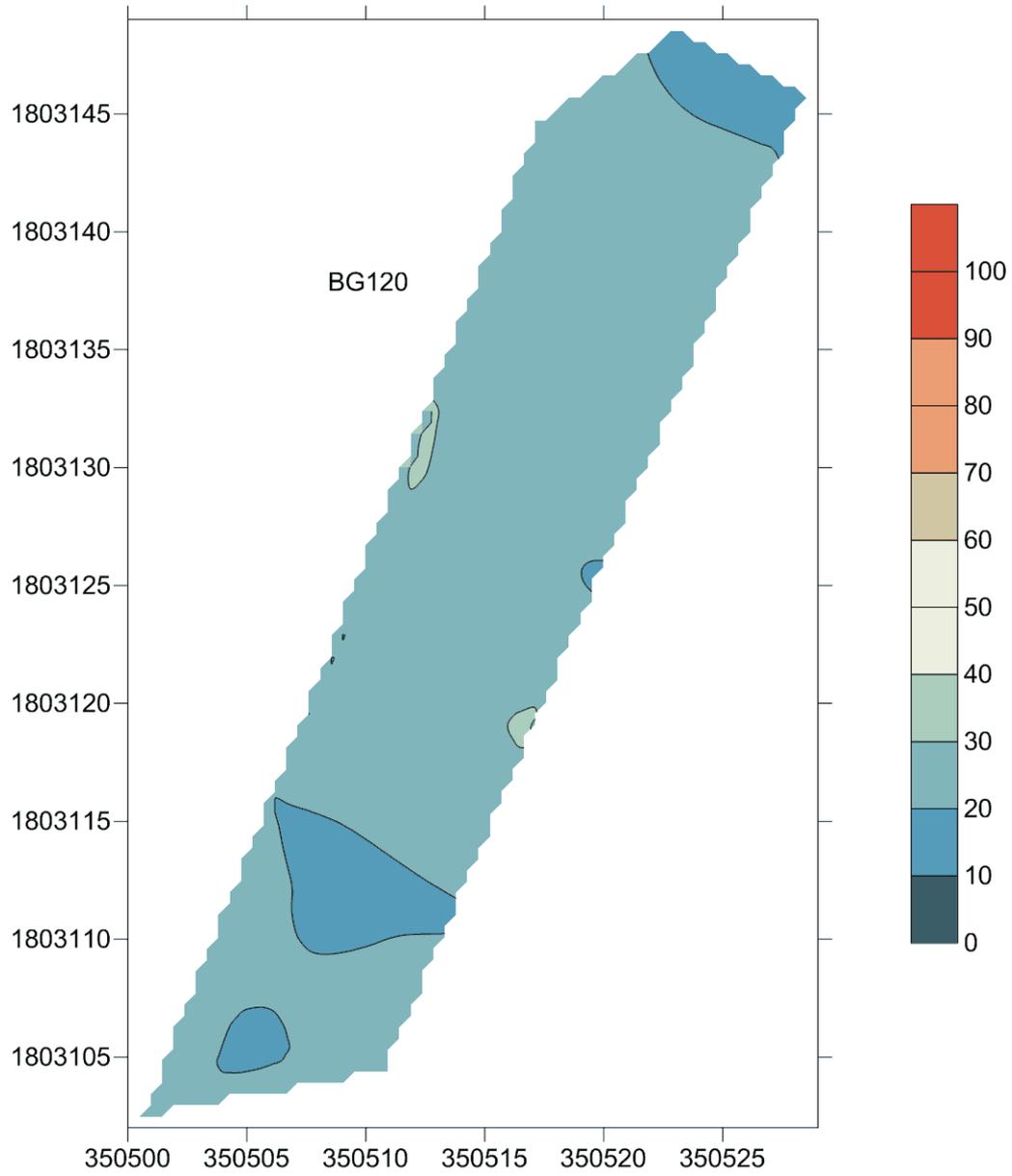


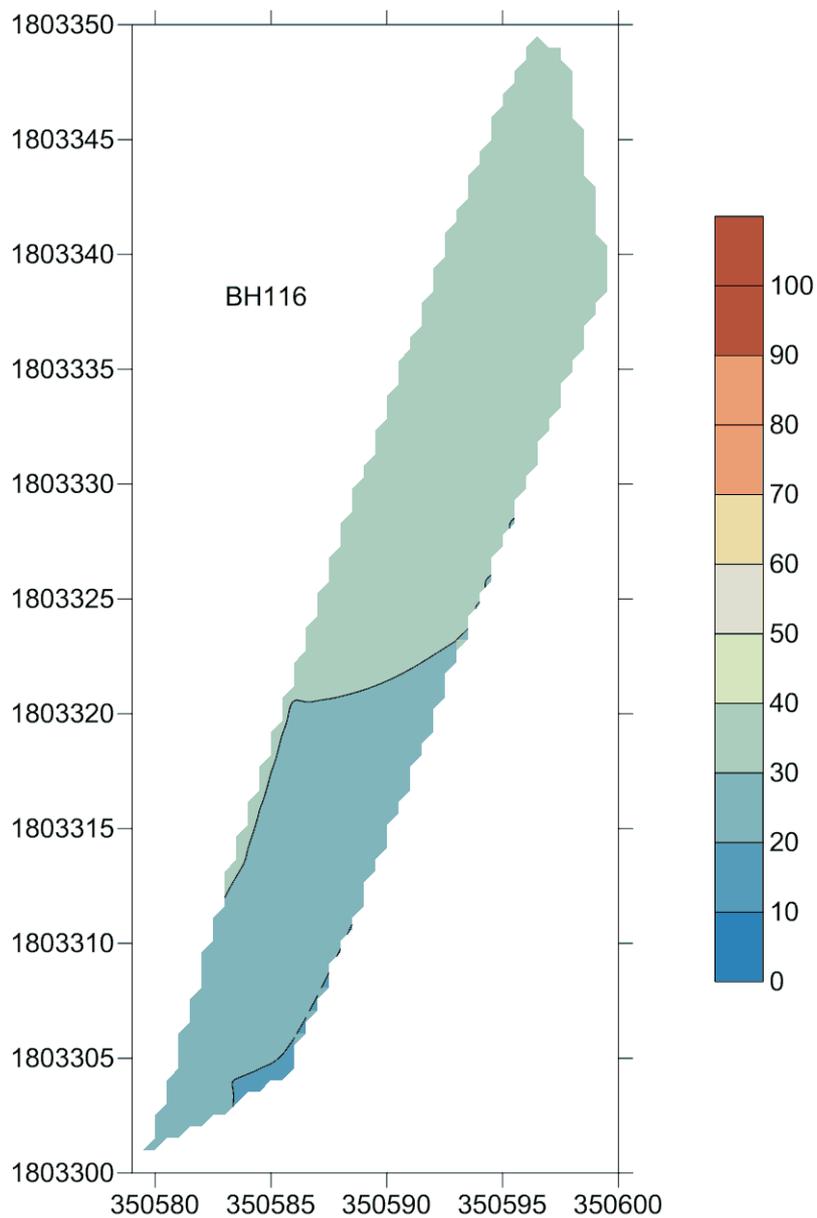


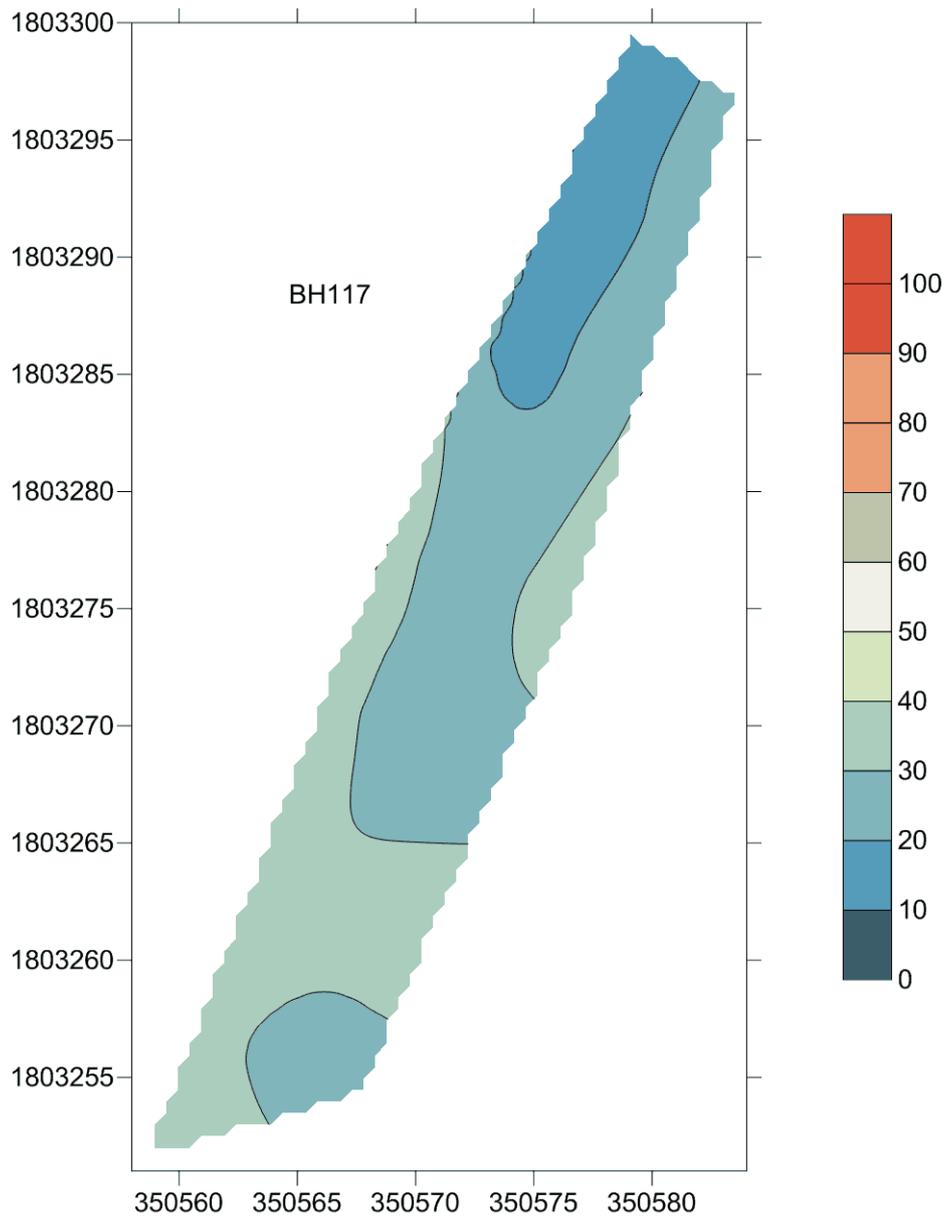


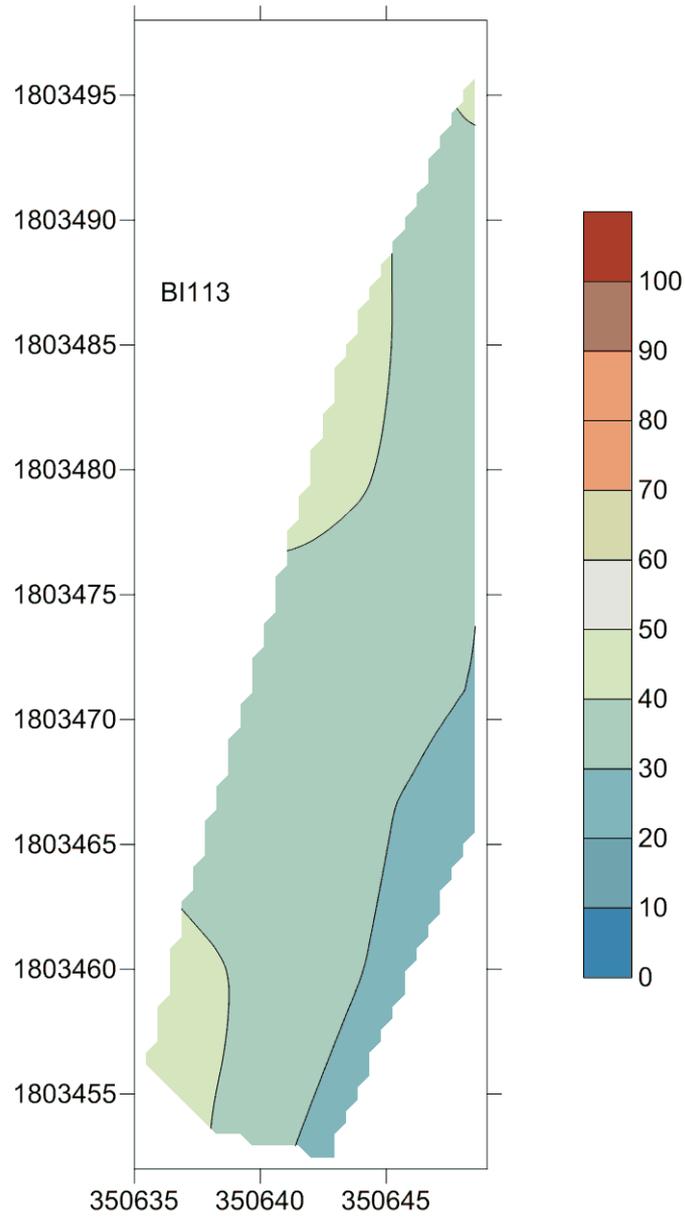


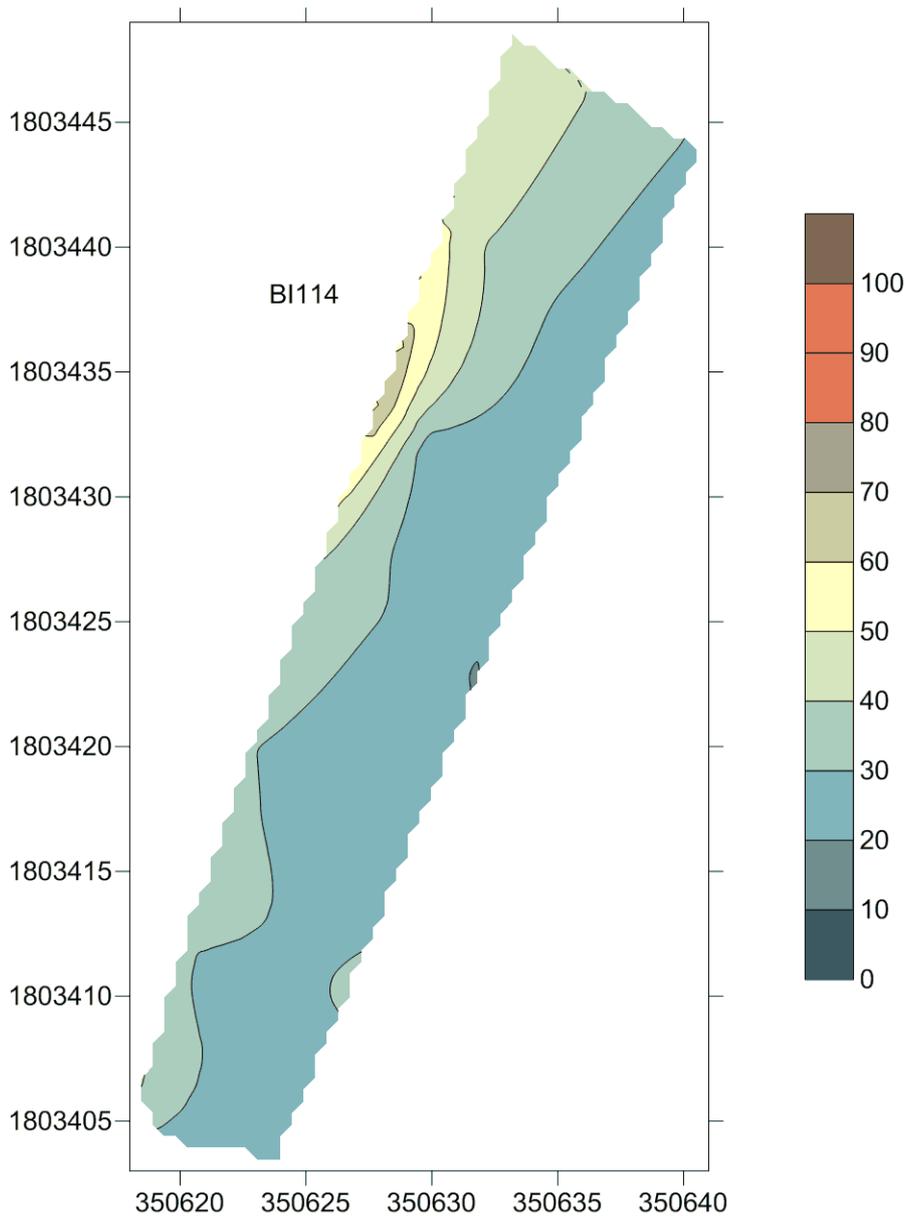


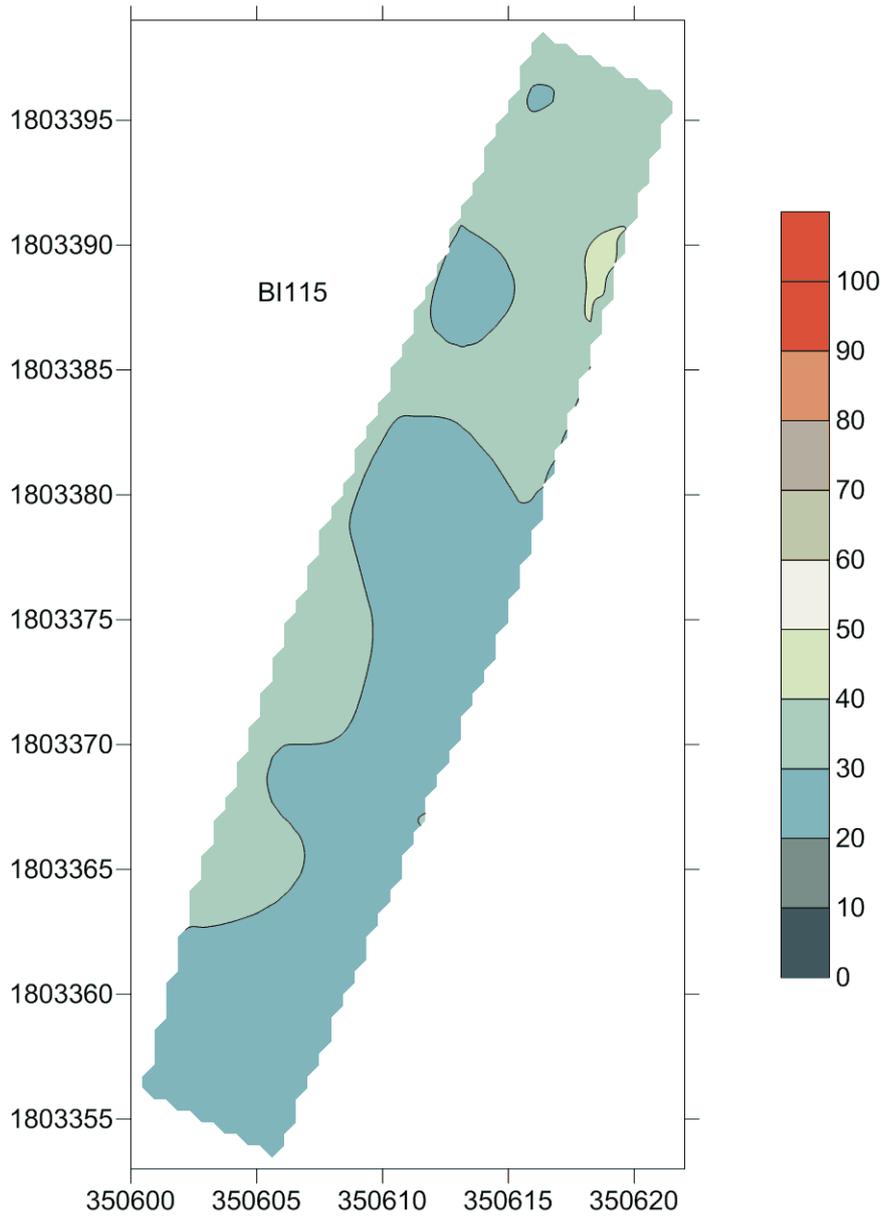


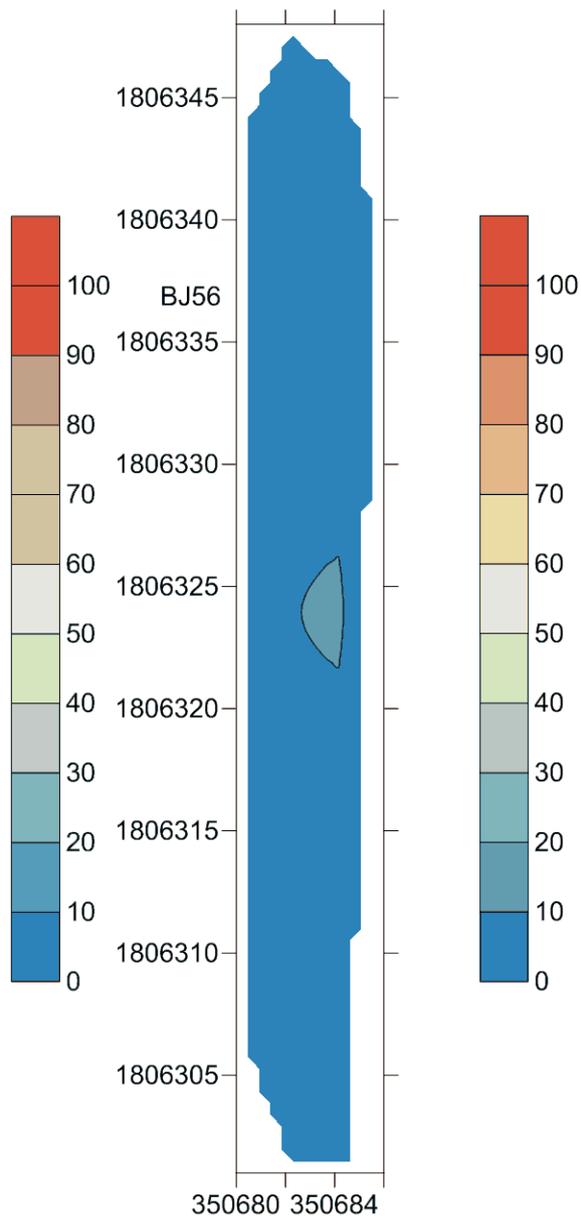
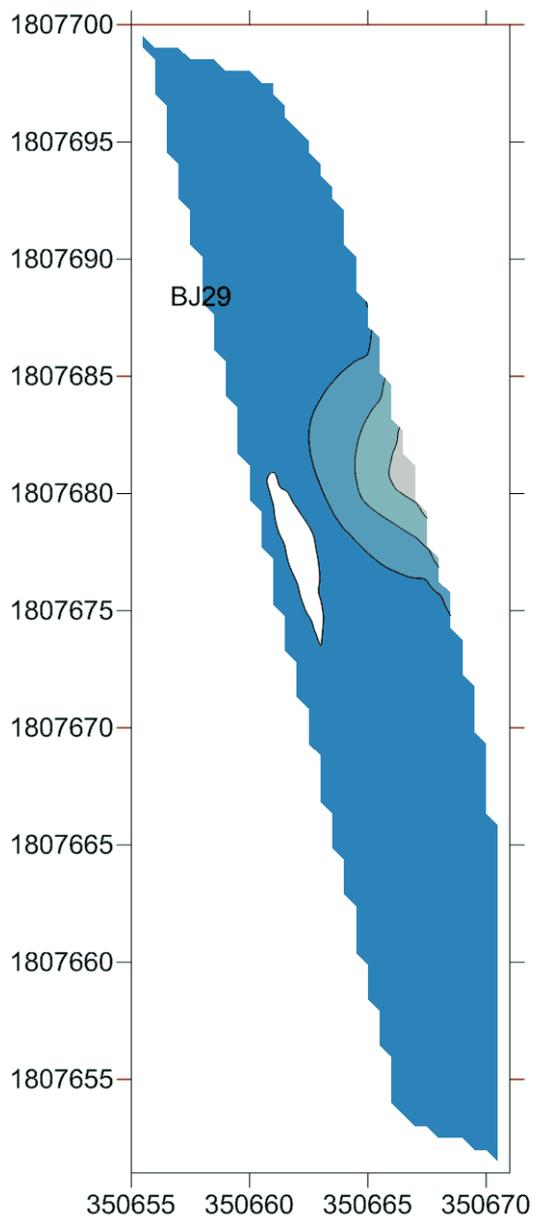


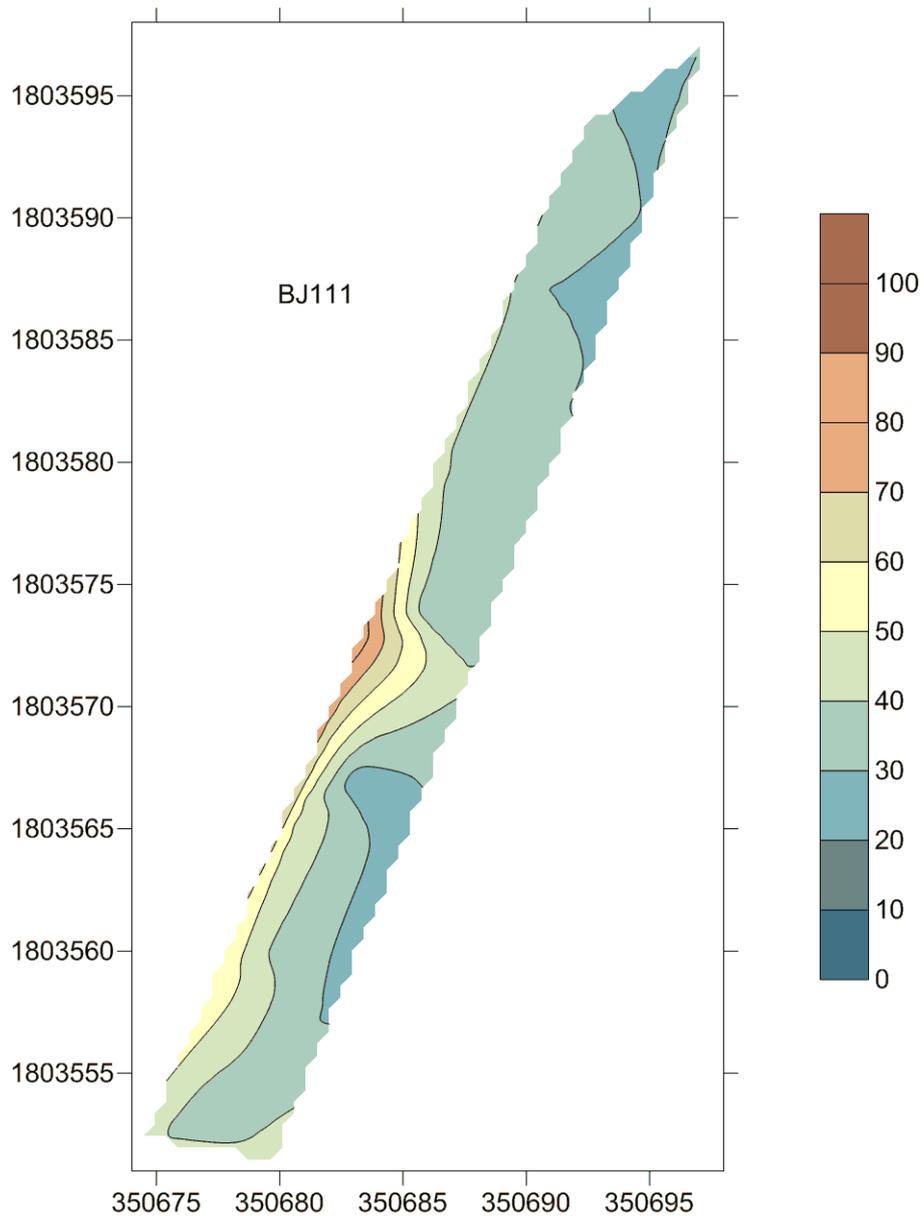


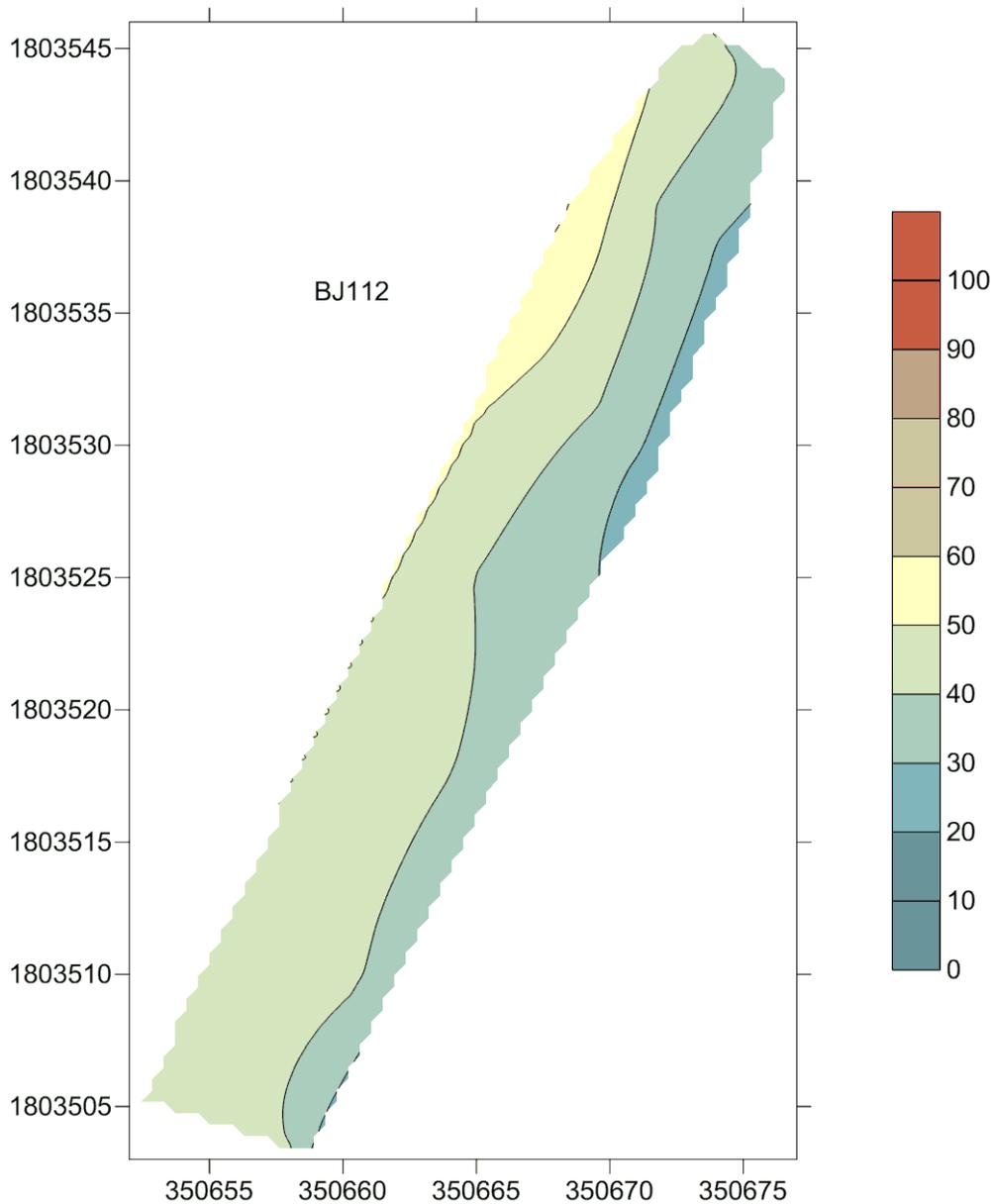


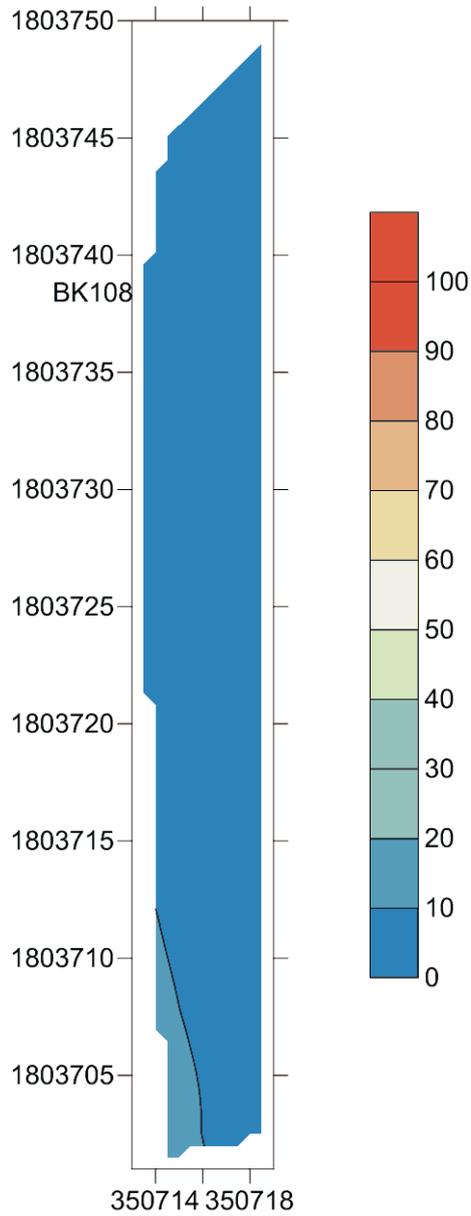


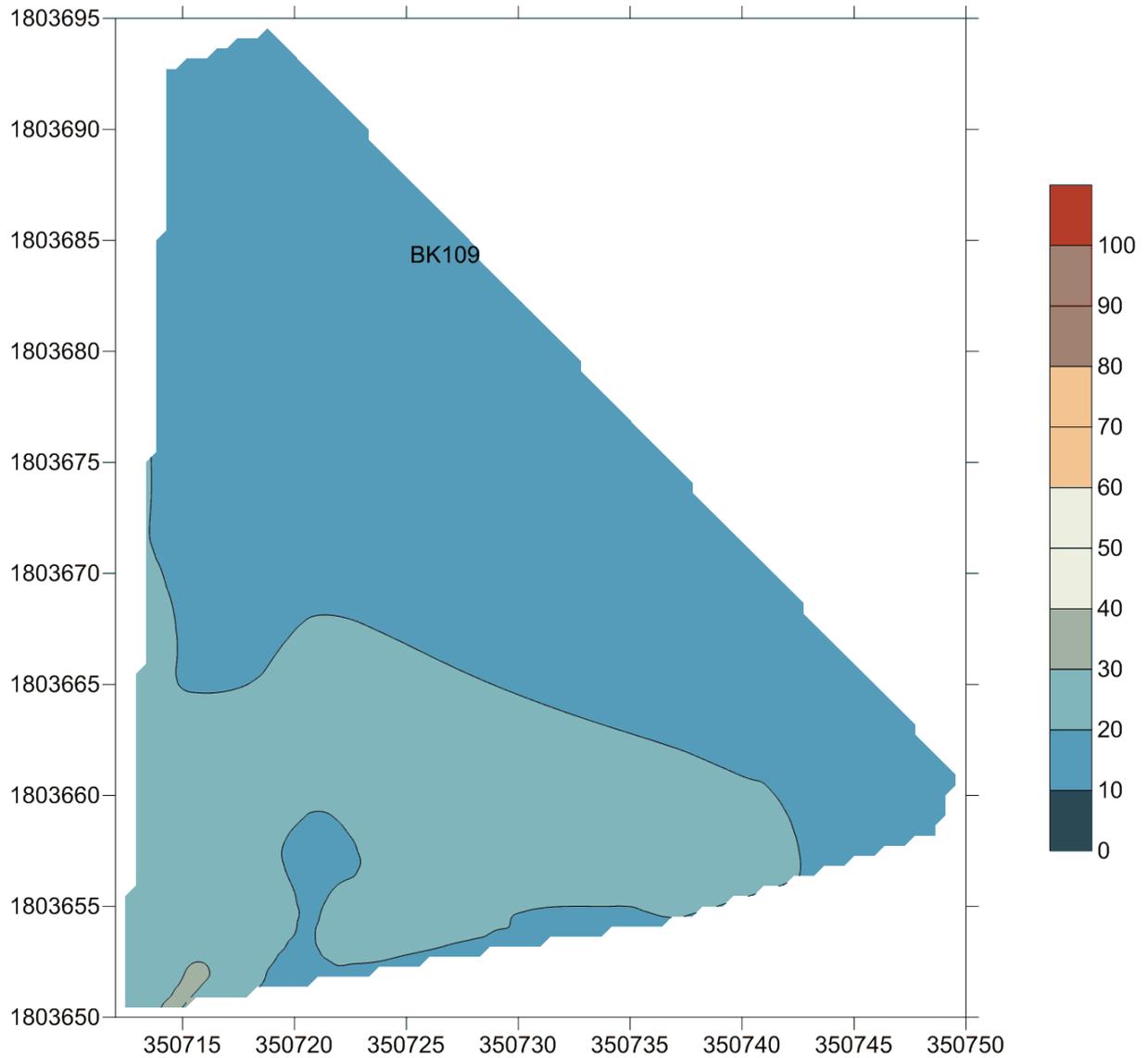


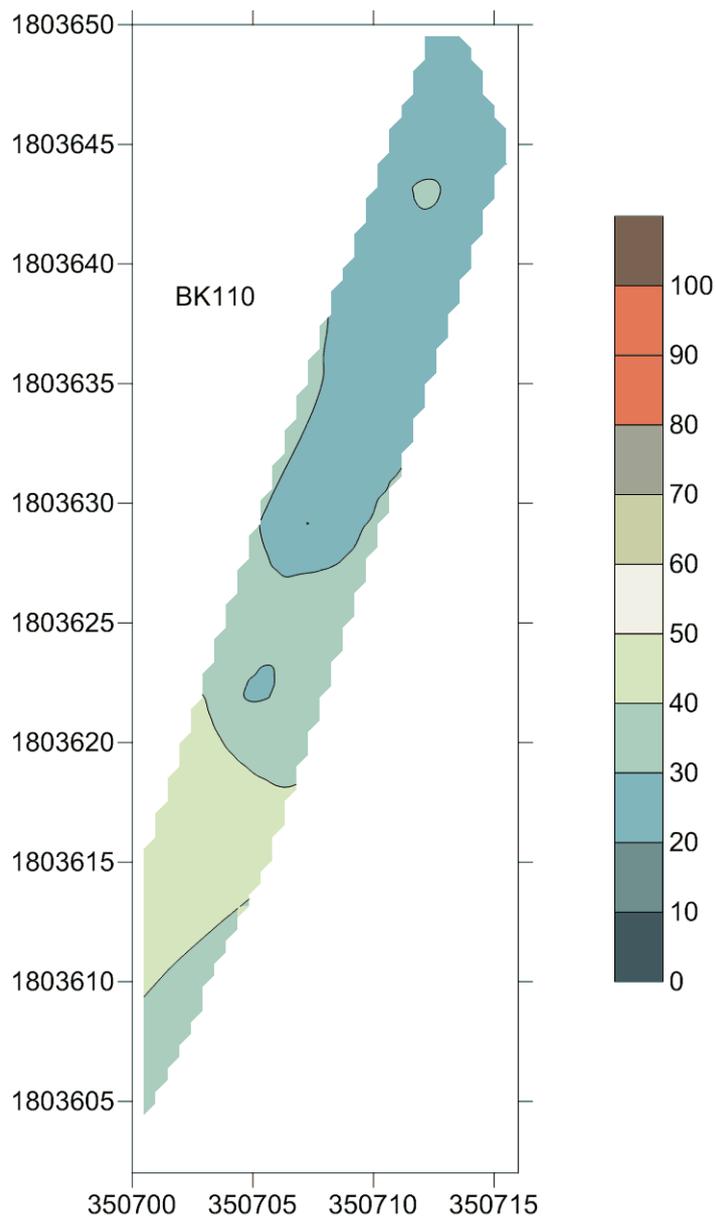


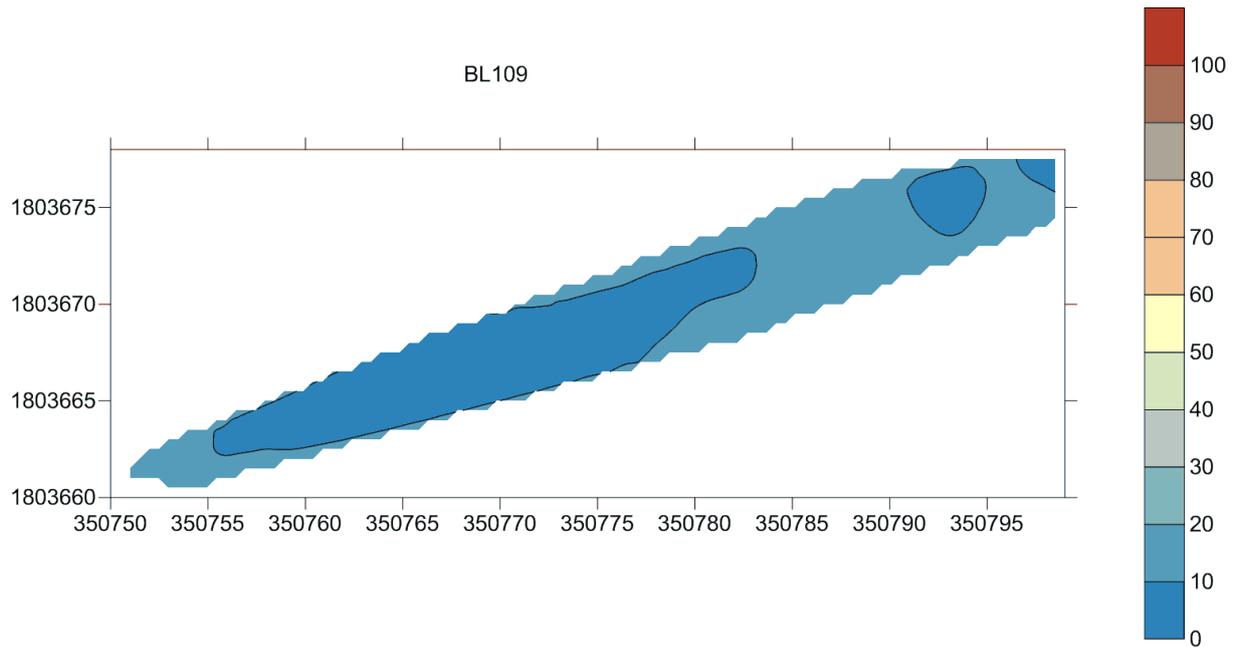


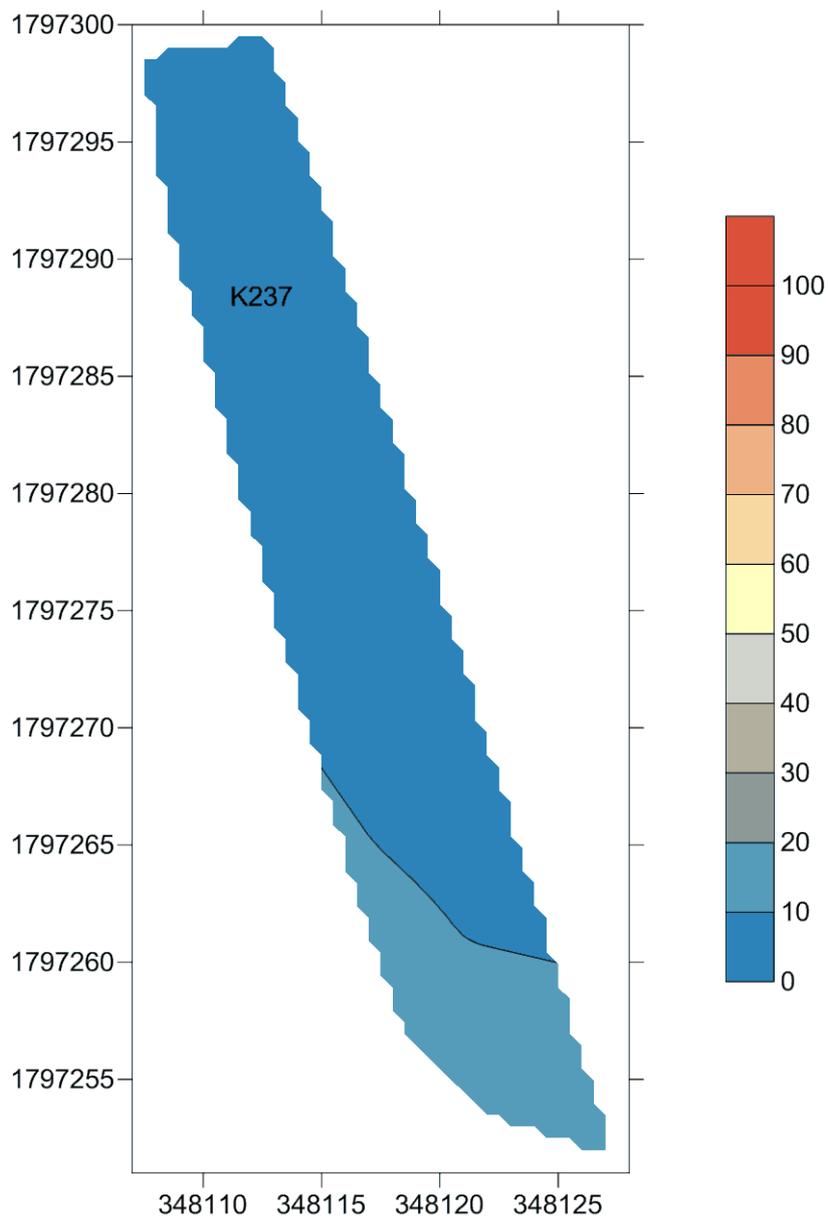


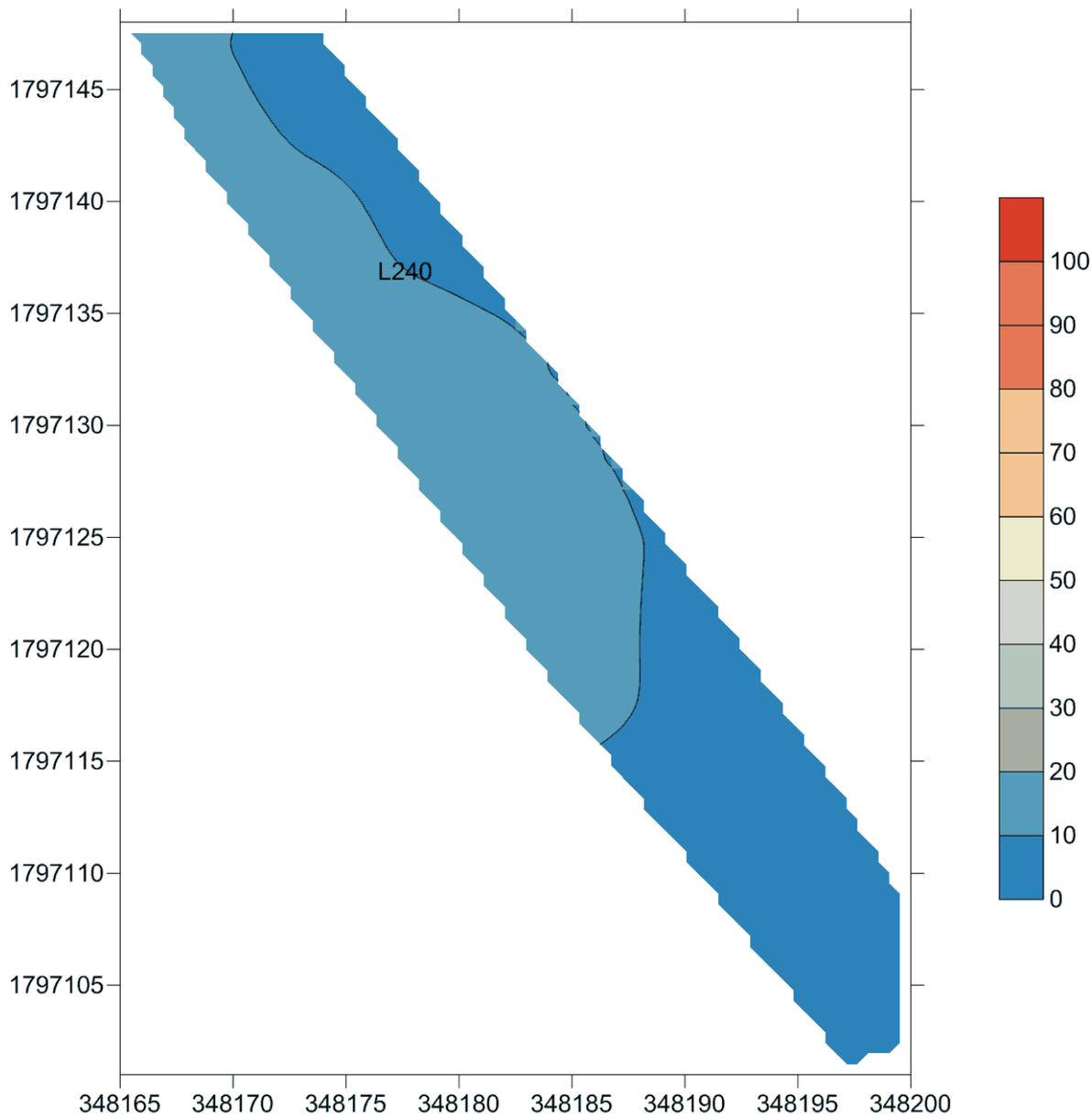


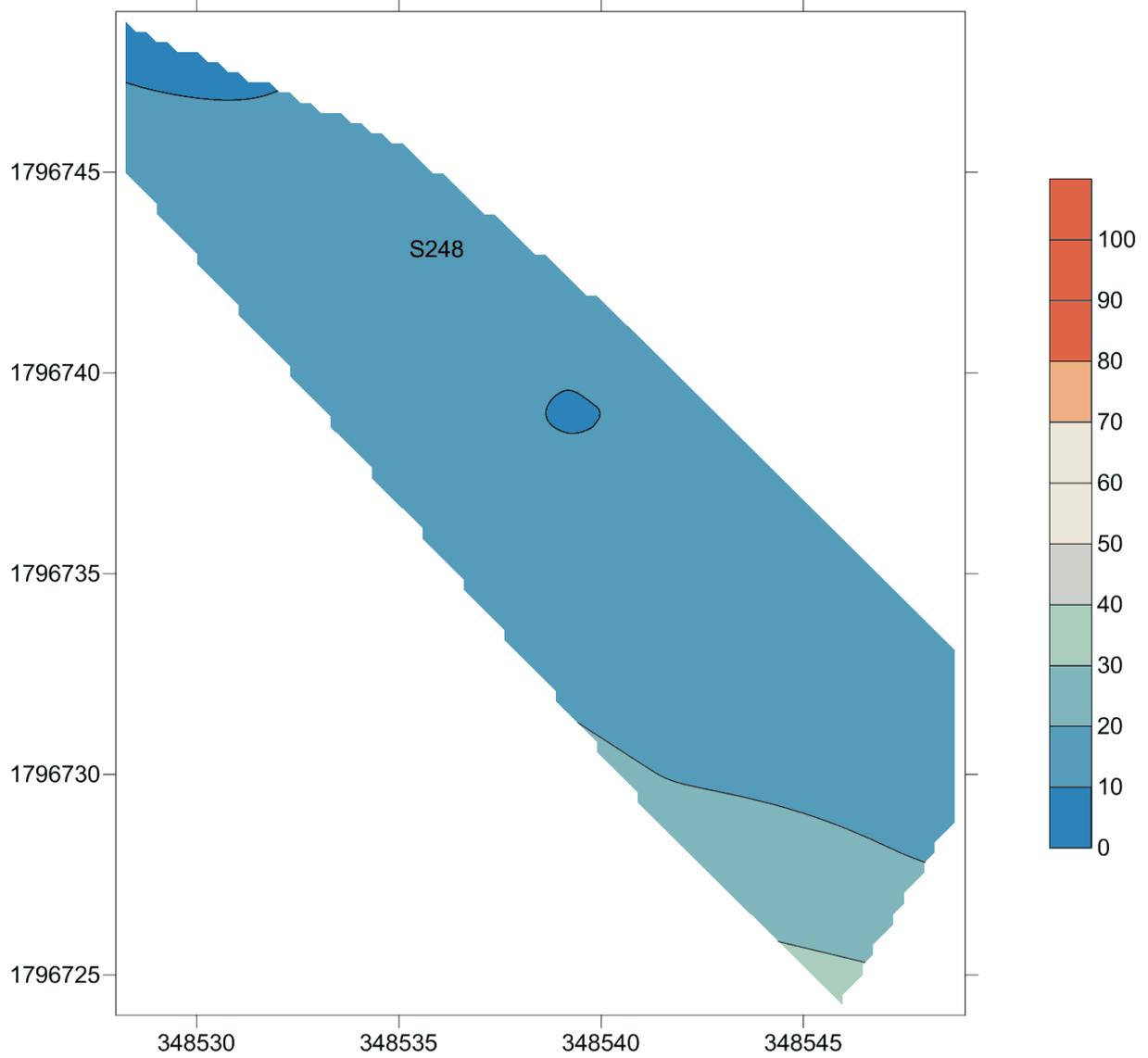


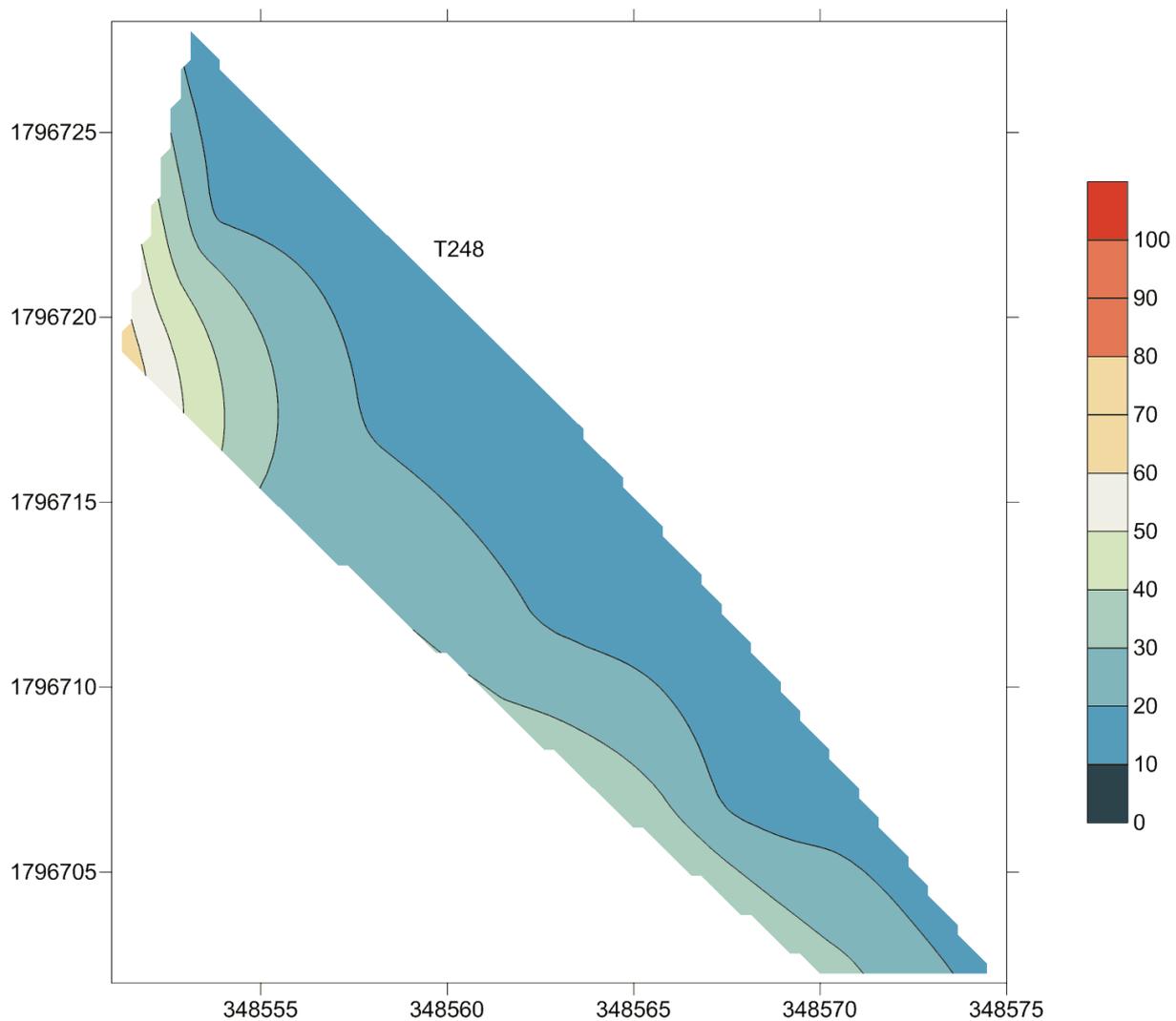


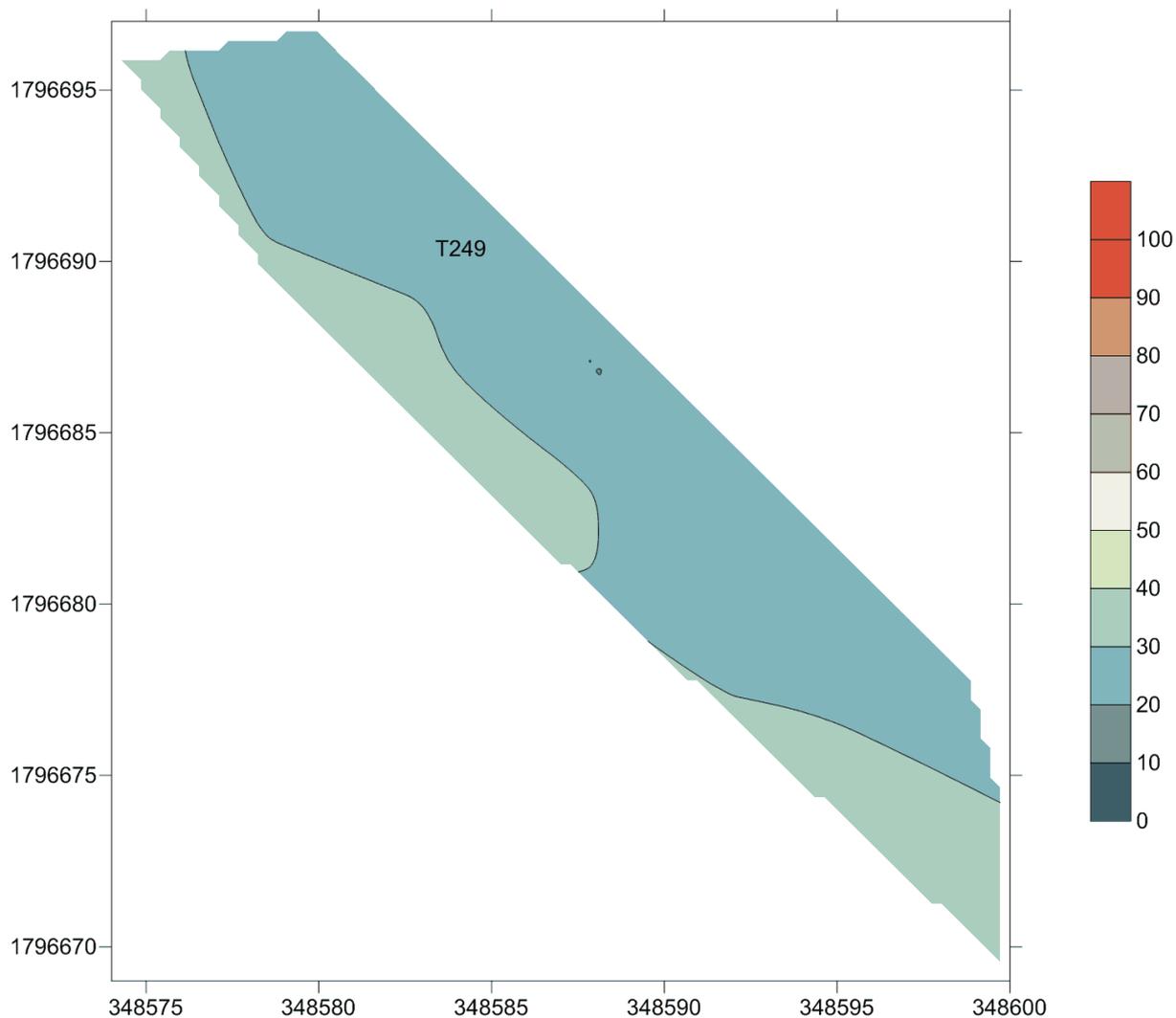


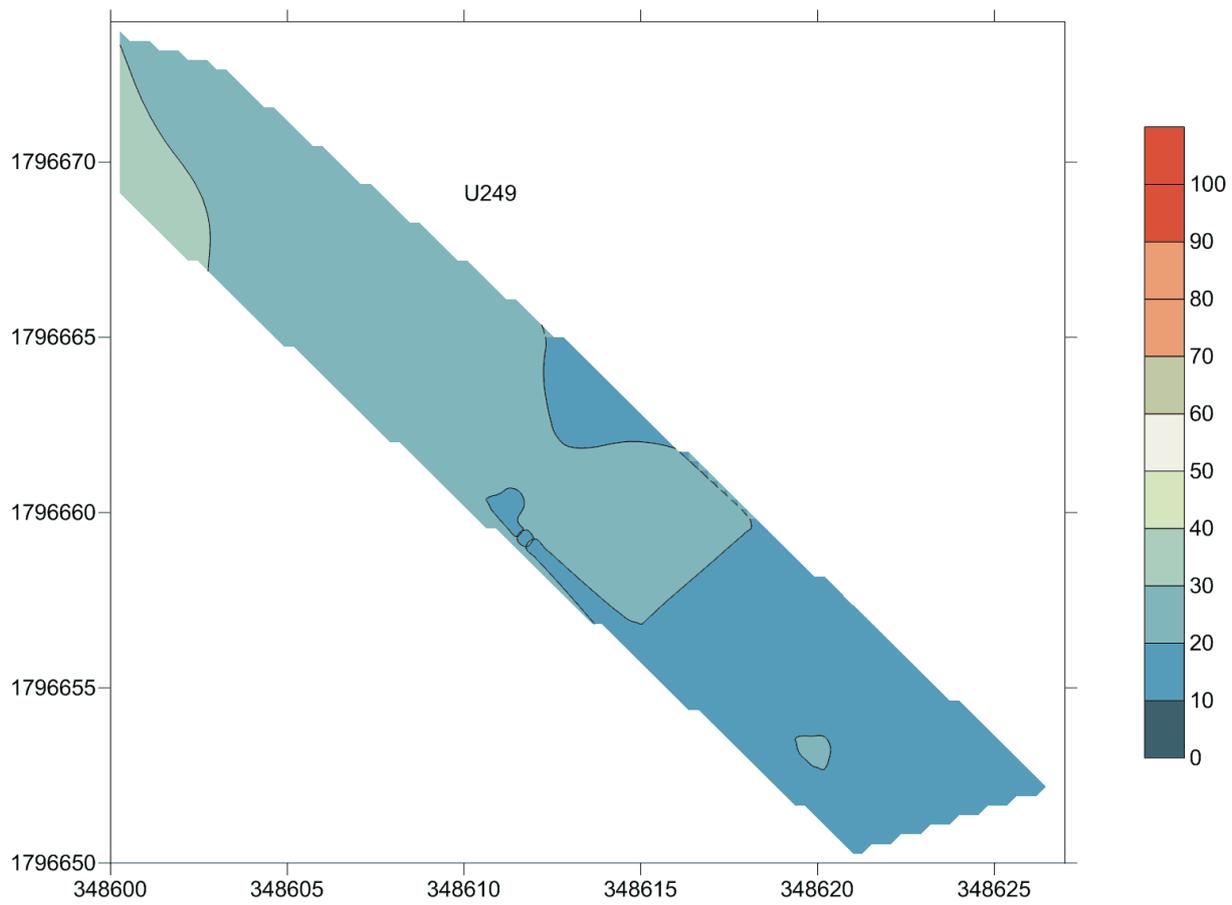


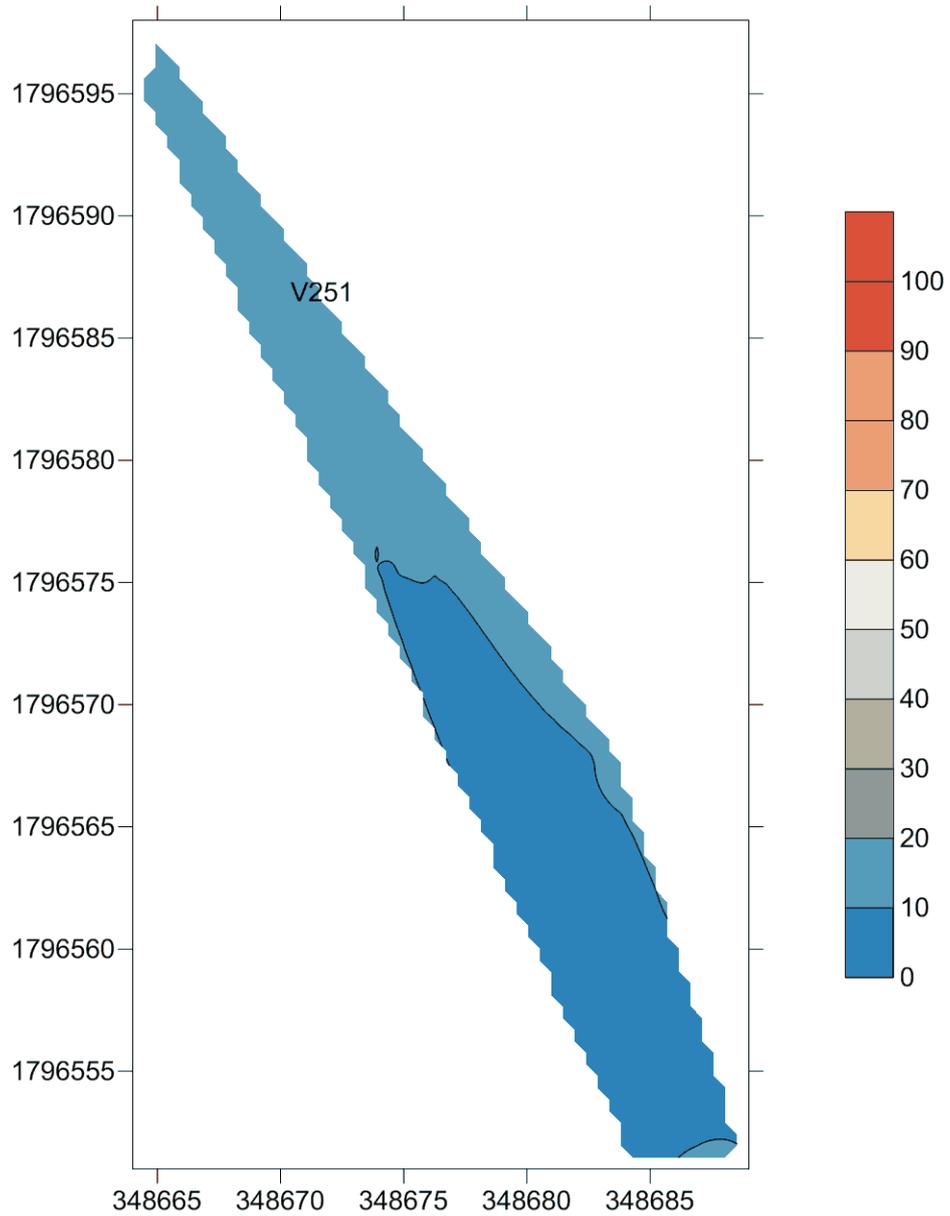


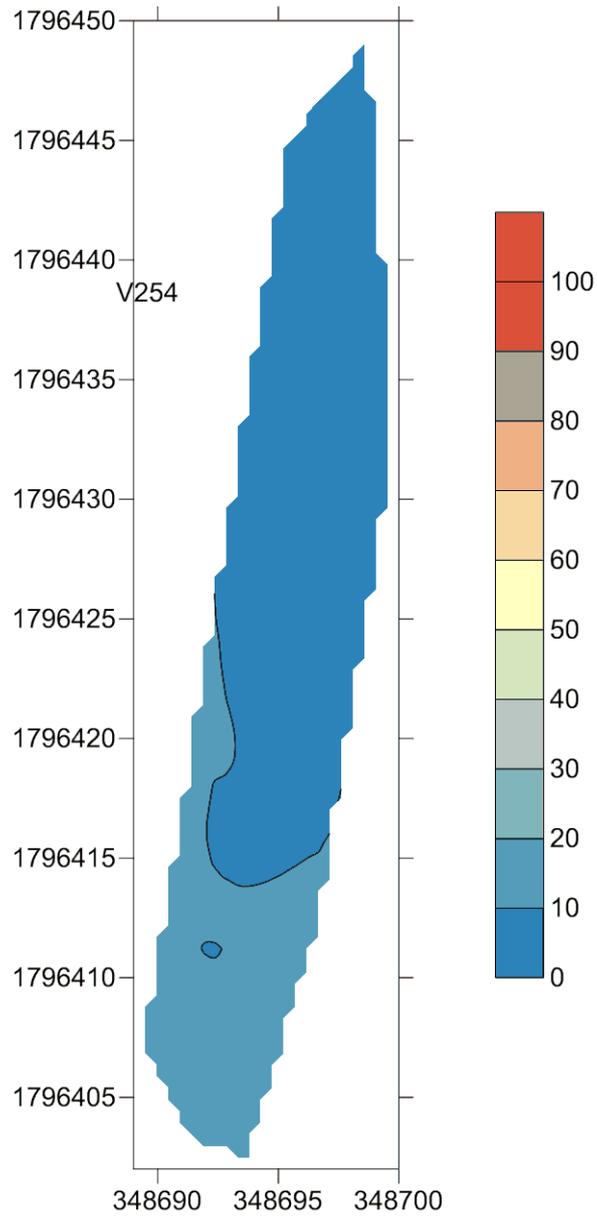


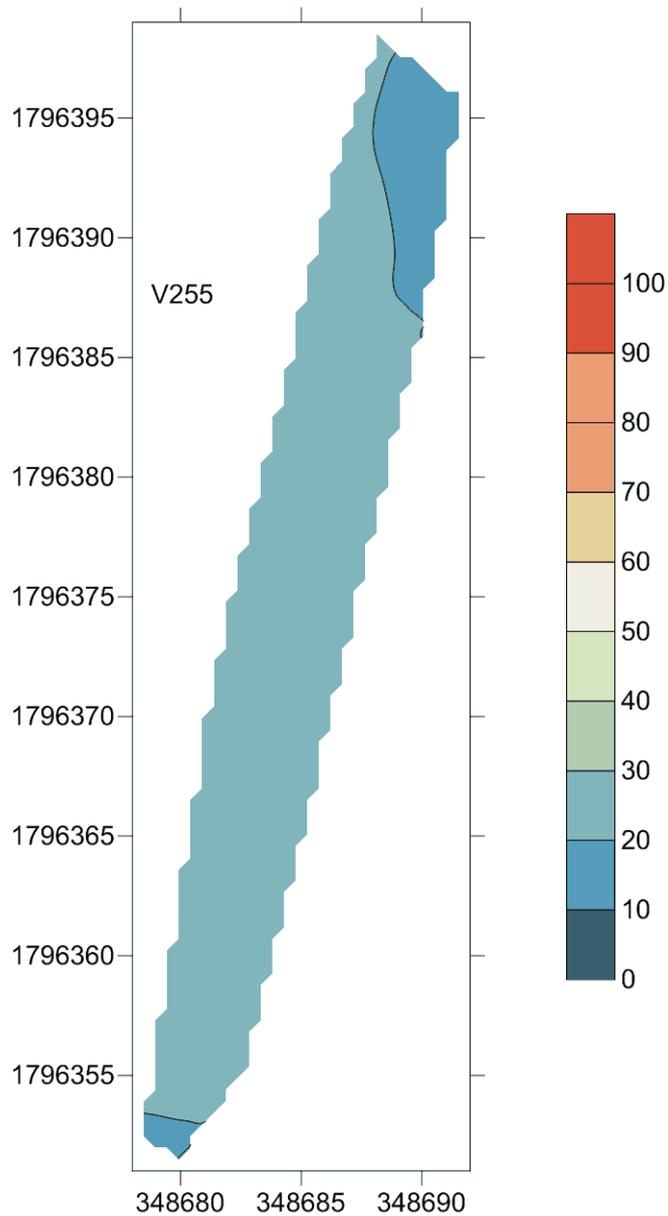


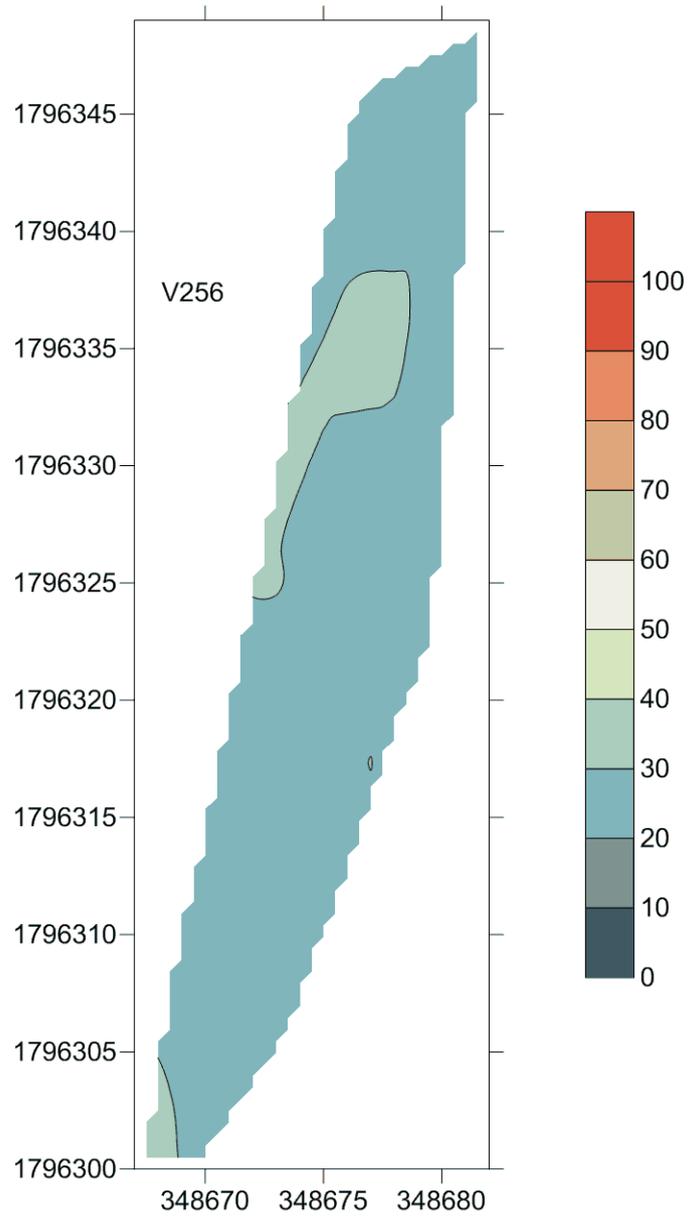


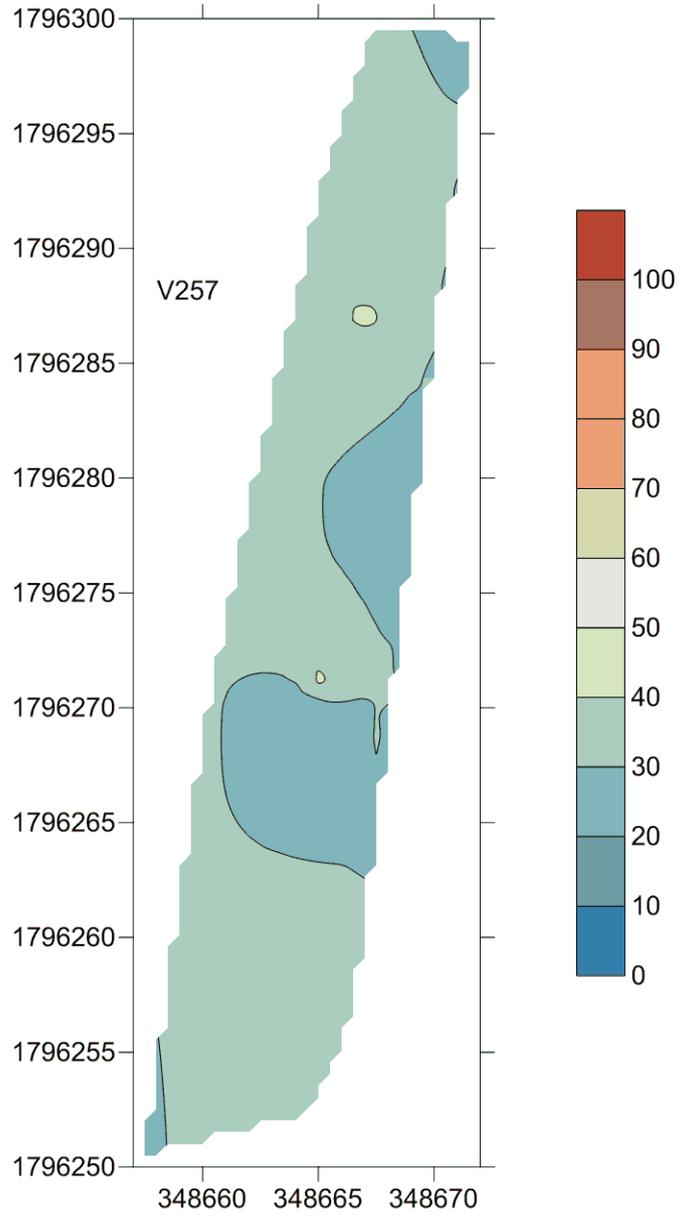


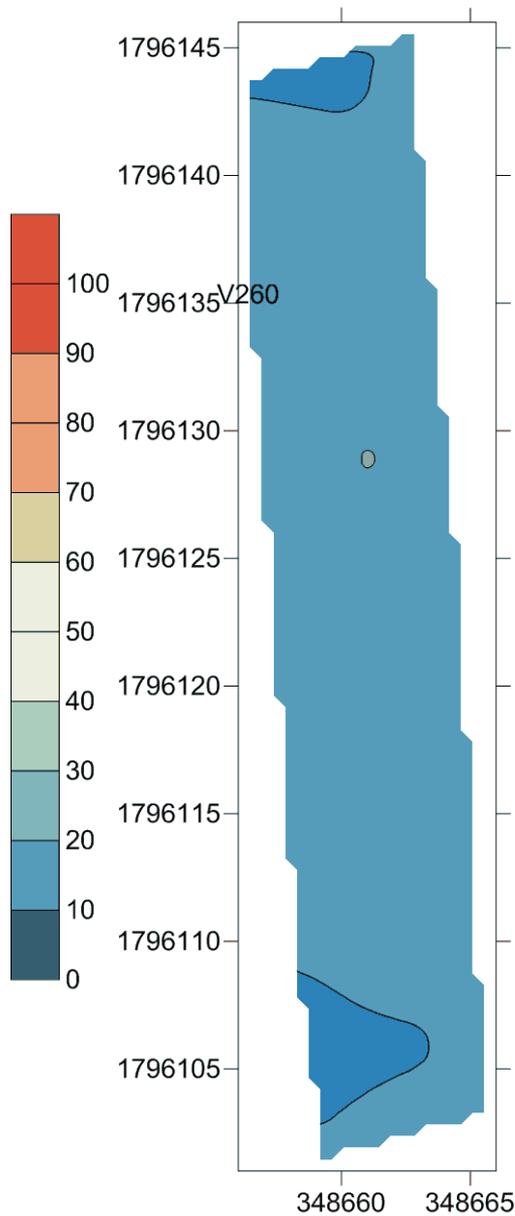
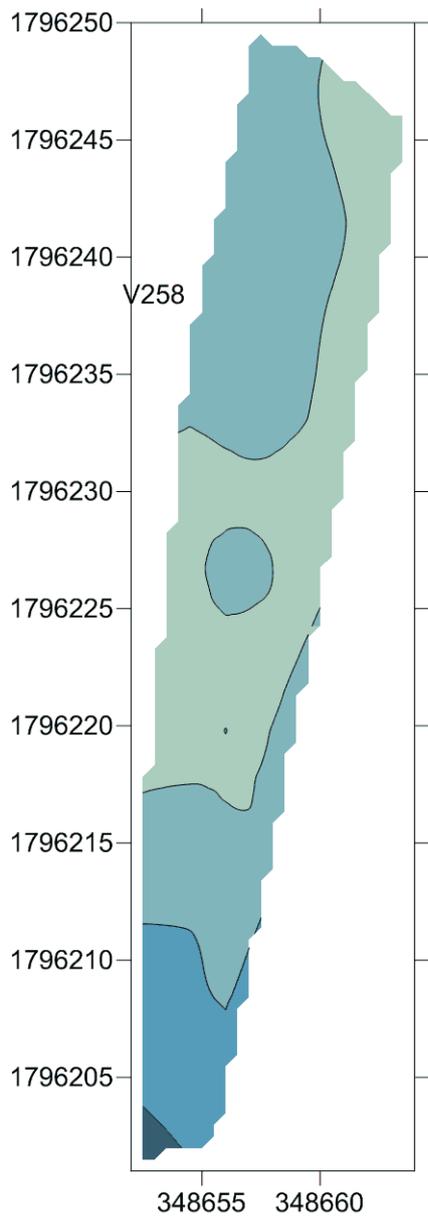


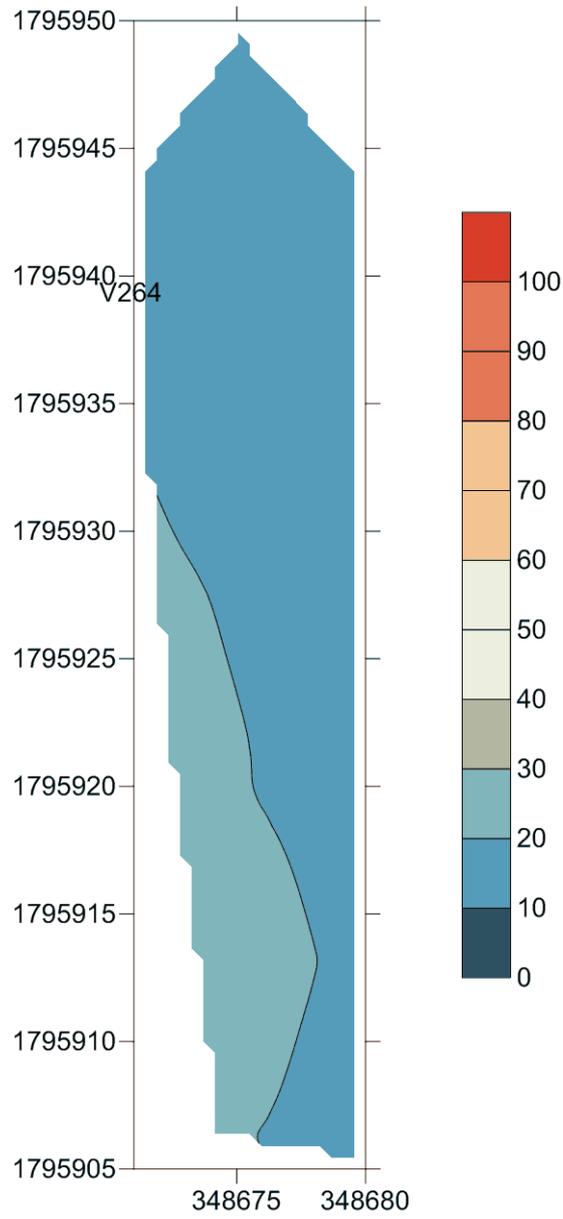












3.5.3 Analyse et interprétation des résultats du bloc2 (du PK19 au PK44)

Le bloc 2 présente de faibles résistivités, autour de 10 ohm.m. Le bloc 2 ne semble pas présenter beaucoup de dégradations. Les cartes AB331 et AP274 et le profil FR25 présentent une hétérogénéité qui correspond aux canaux d'alimentation des aires agricoles. Les dégradations latérales semblent moins présentes dans cette partie de la digue.

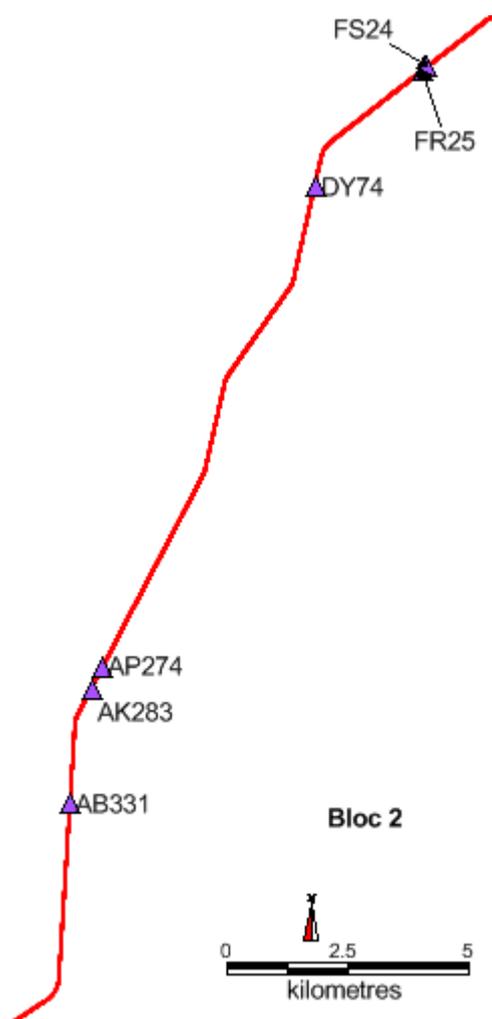
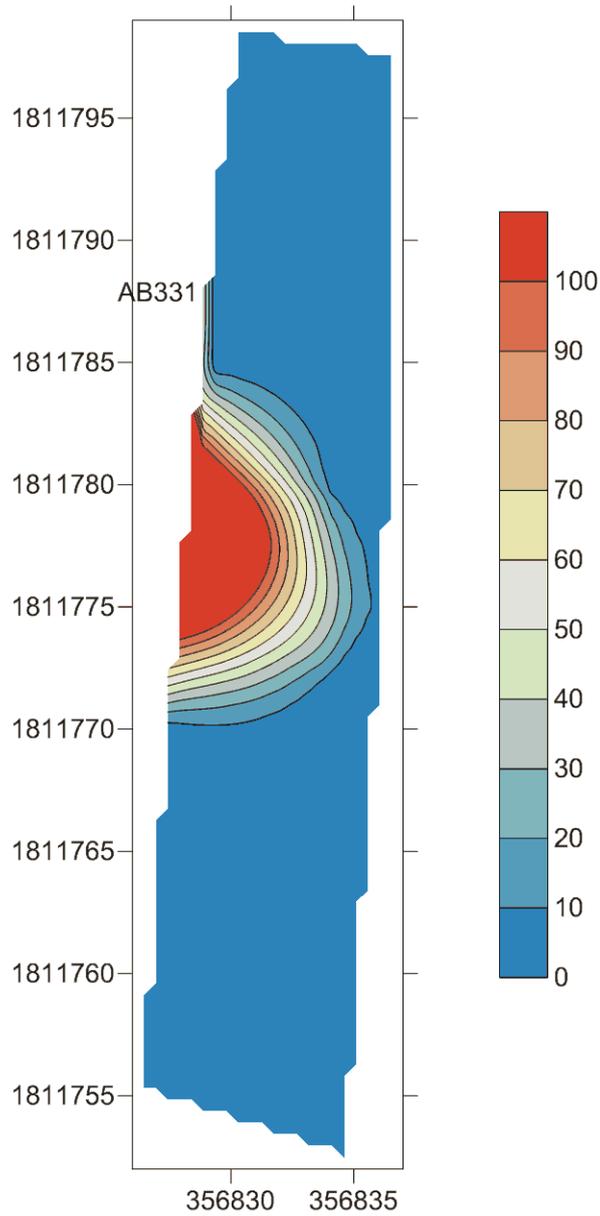
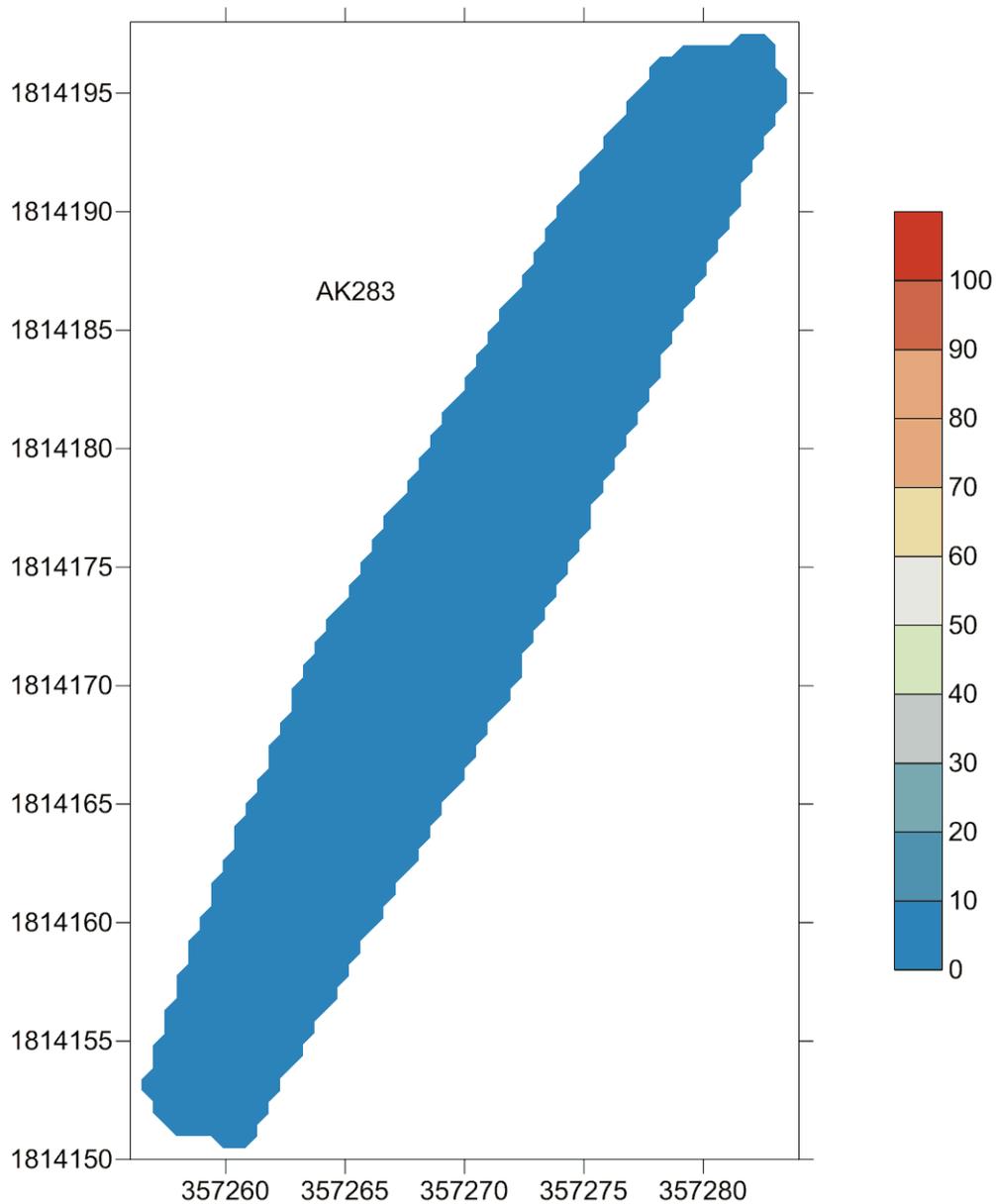
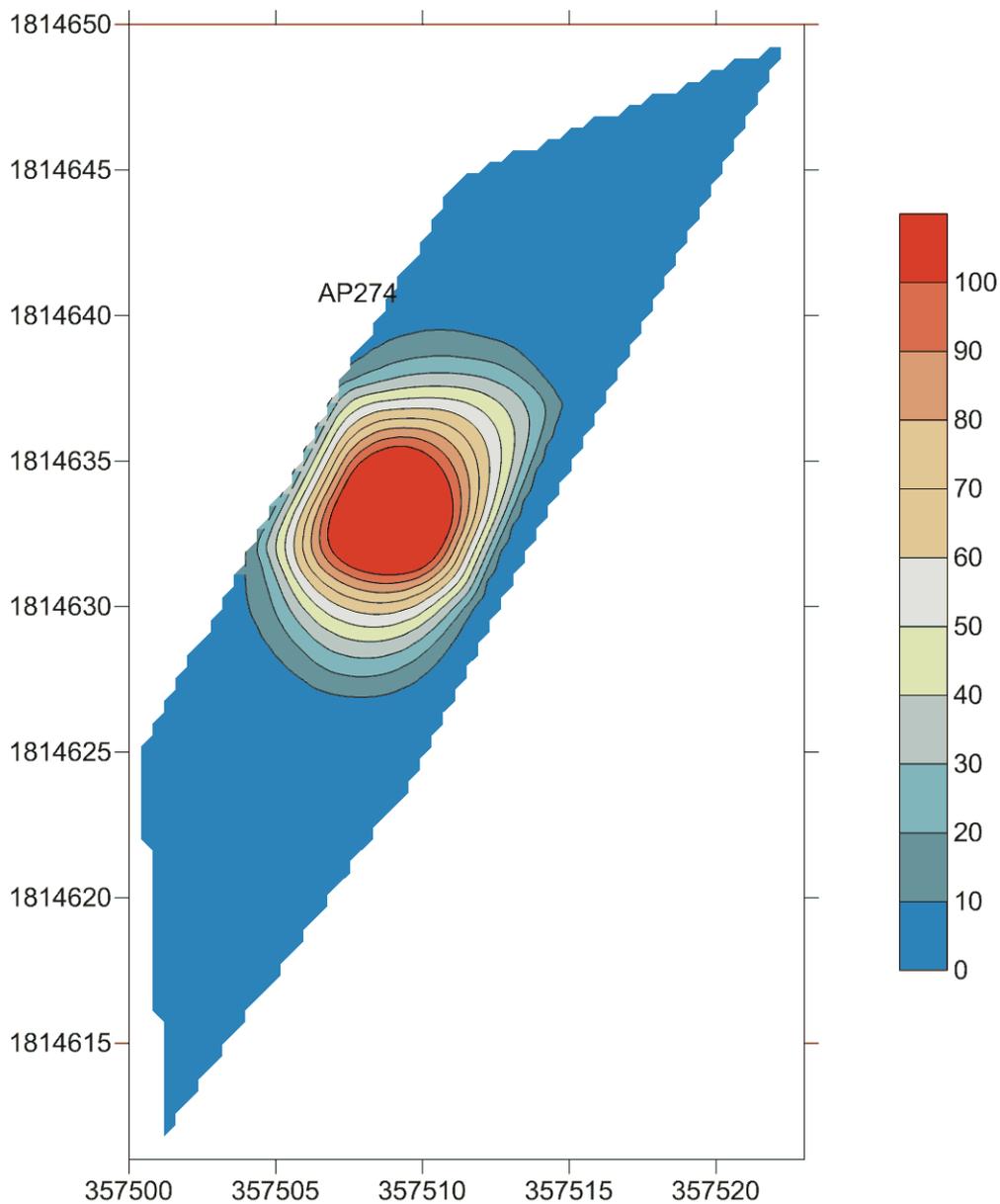
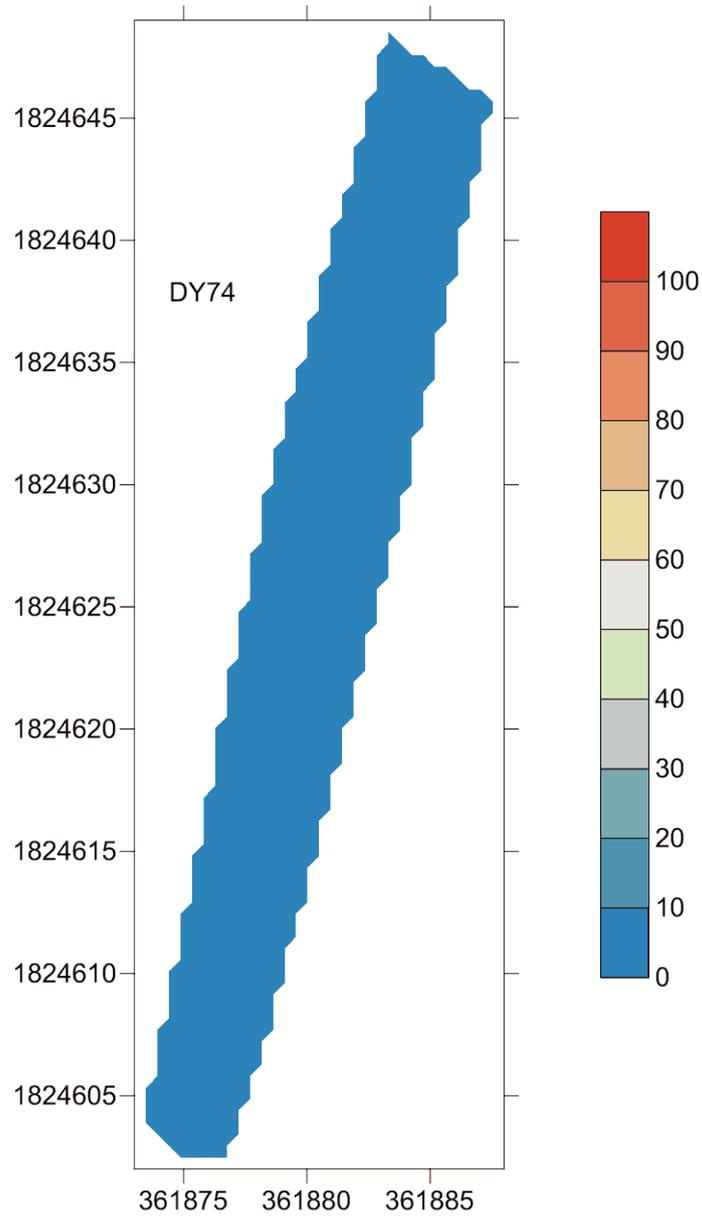


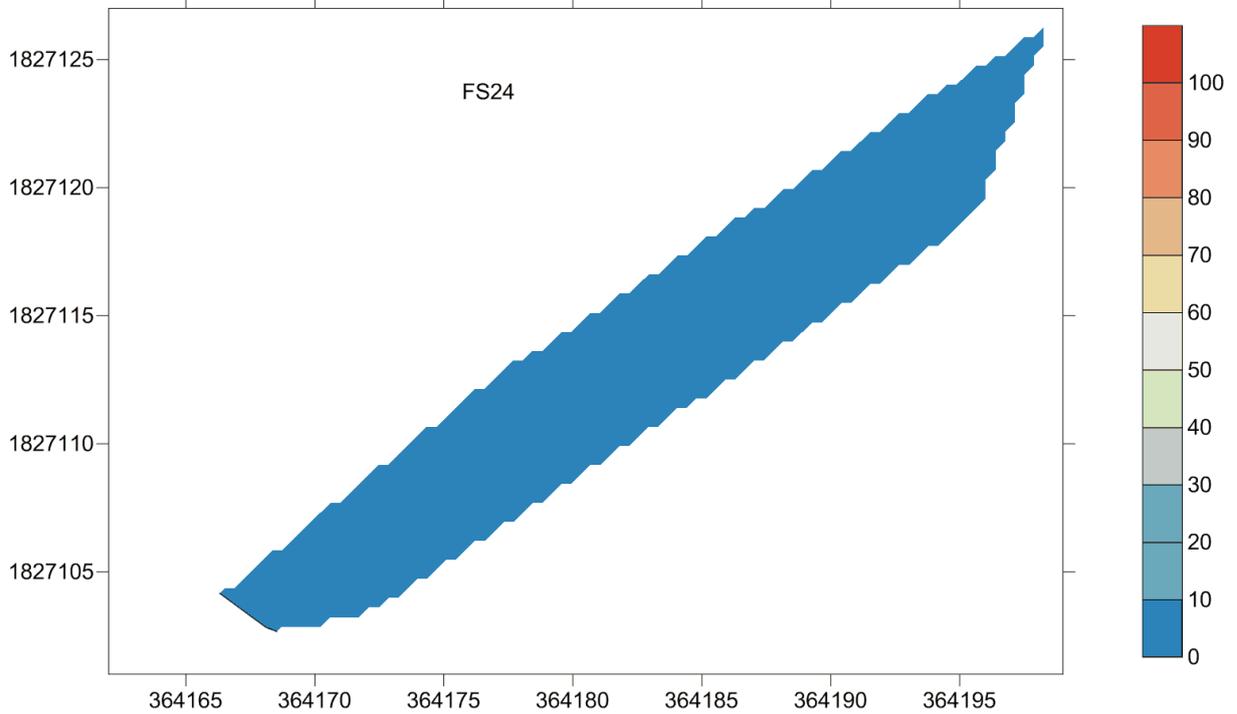
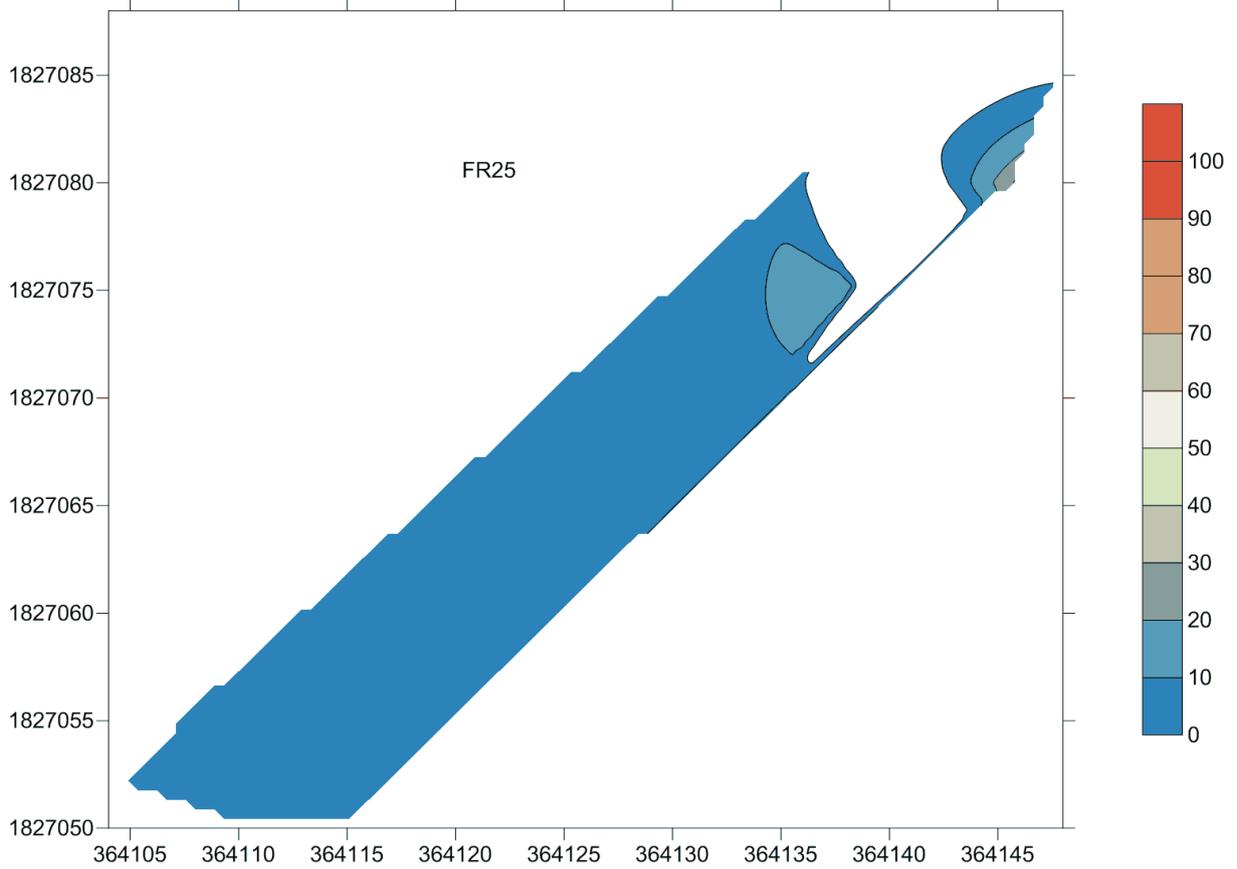
Figure 6 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 2.











3.5.4 Analyse et interprétation des résultats du bloc3 (du PK44 au PK73)

Dans le bloc 3, les résistivités sont faibles et inférieures à 10 ohm.m. La digue semble homogène excepté sur le profil ME31 où elle présente une hétérogénéité assimilable à une cavité. Les dégradations transversales n'ont pas été observées.

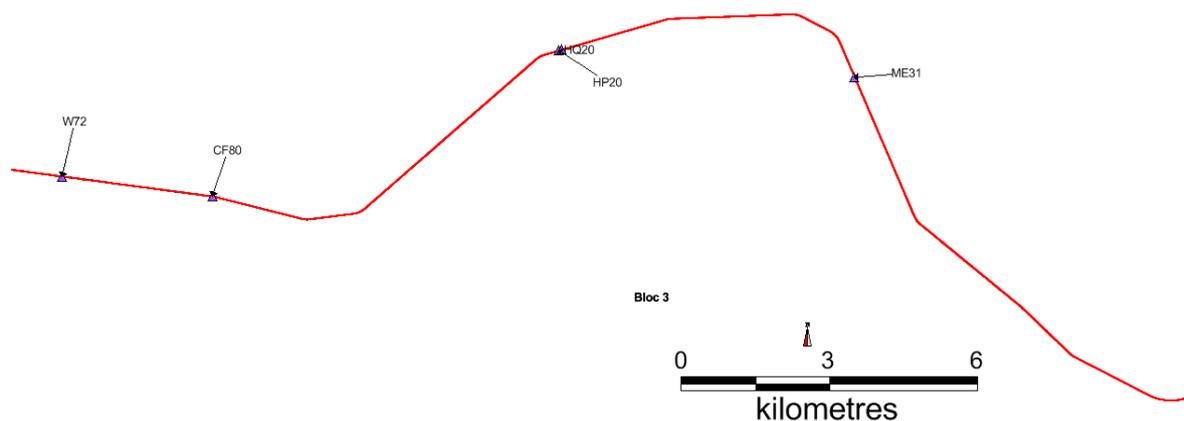
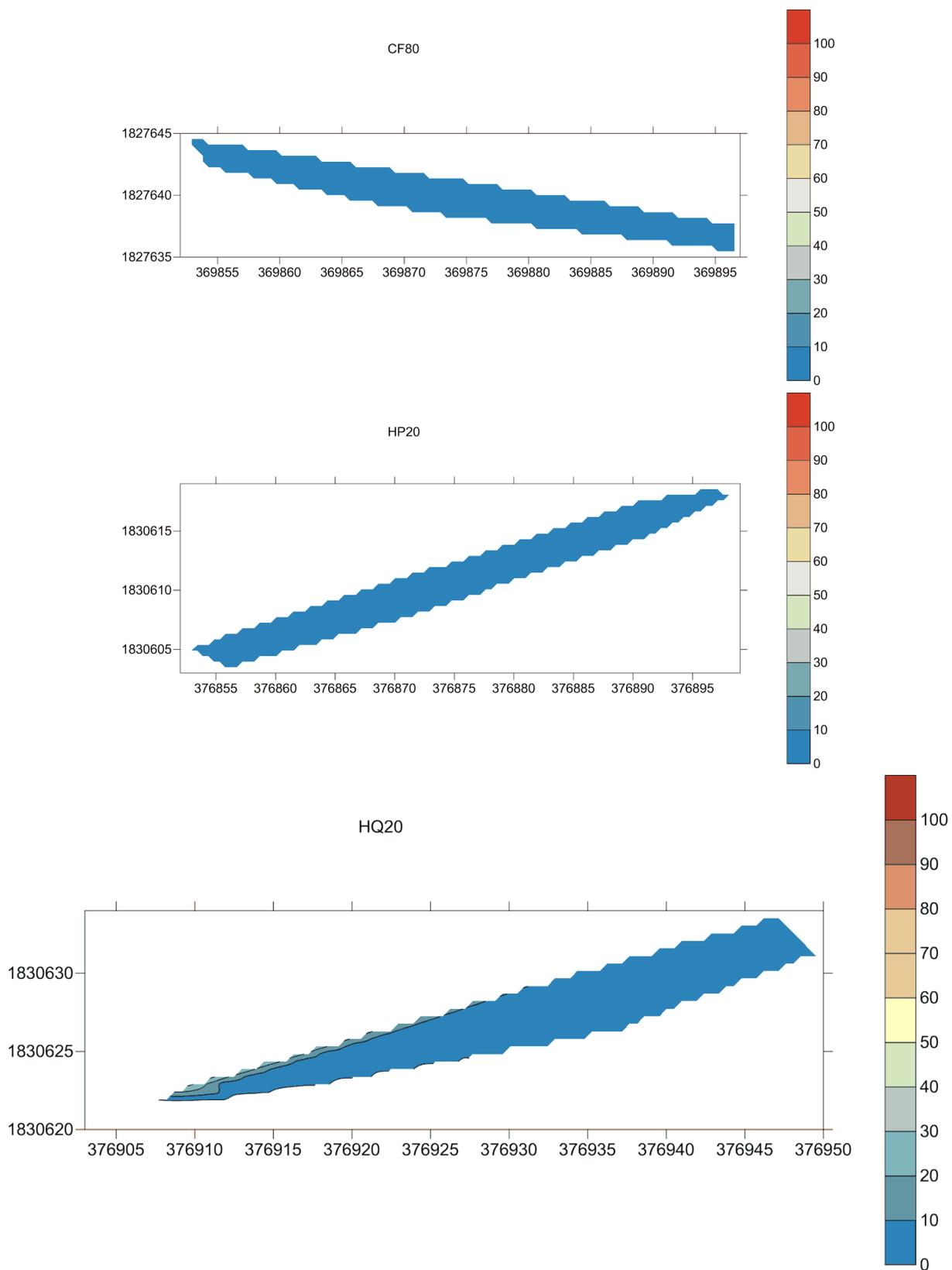
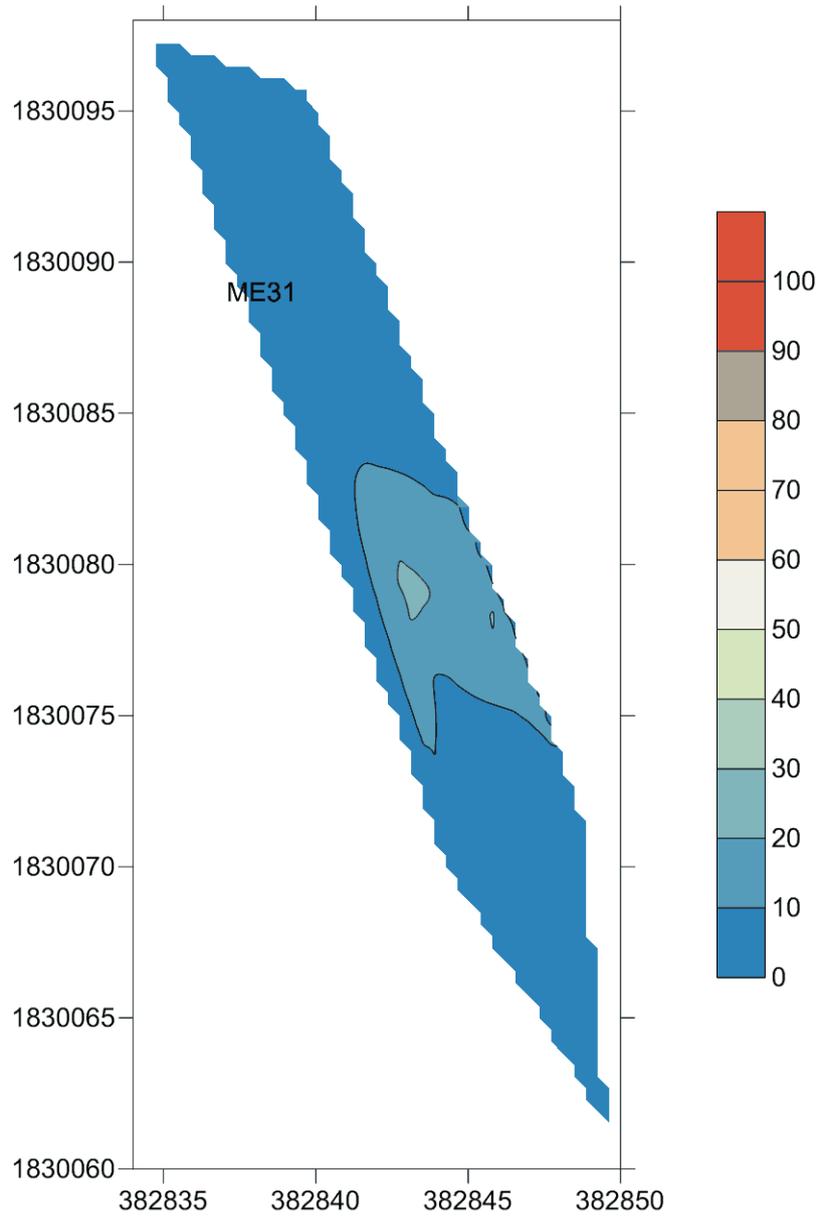
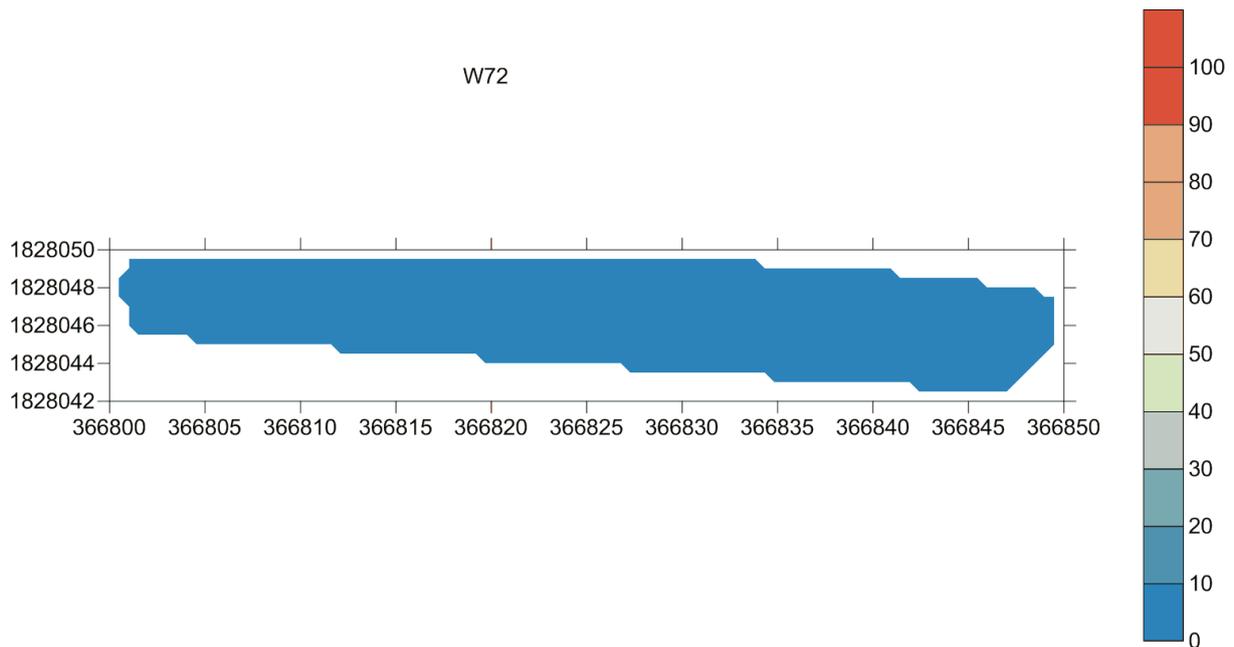


Figure 7 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 3.







3.5.5 Analyse et interprétation des résultats du bloc4 (du PK73 au PK89)

Le bloc 4 commence par de faibles résistivités, inférieures à 10 ohm.m qui augmentent progressivement à l'Est pour atteindre 20 à 30 ohm.m. Par la suite les résistivités baissent à nouveau et sont généralement inférieures à 10 ohm.m. Cette partie de la digue présente des hétérogénéités assimilables à des cavités et à des dégradations transversales.

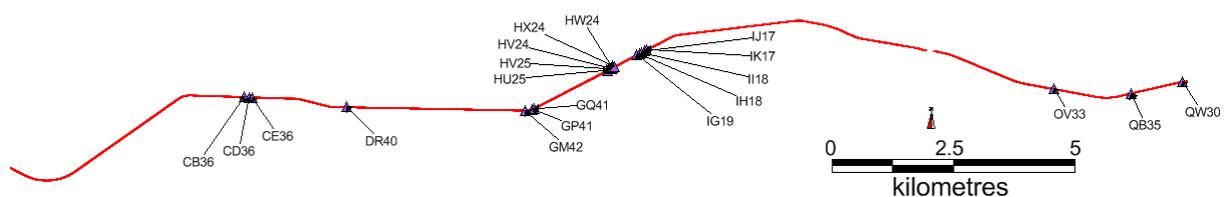
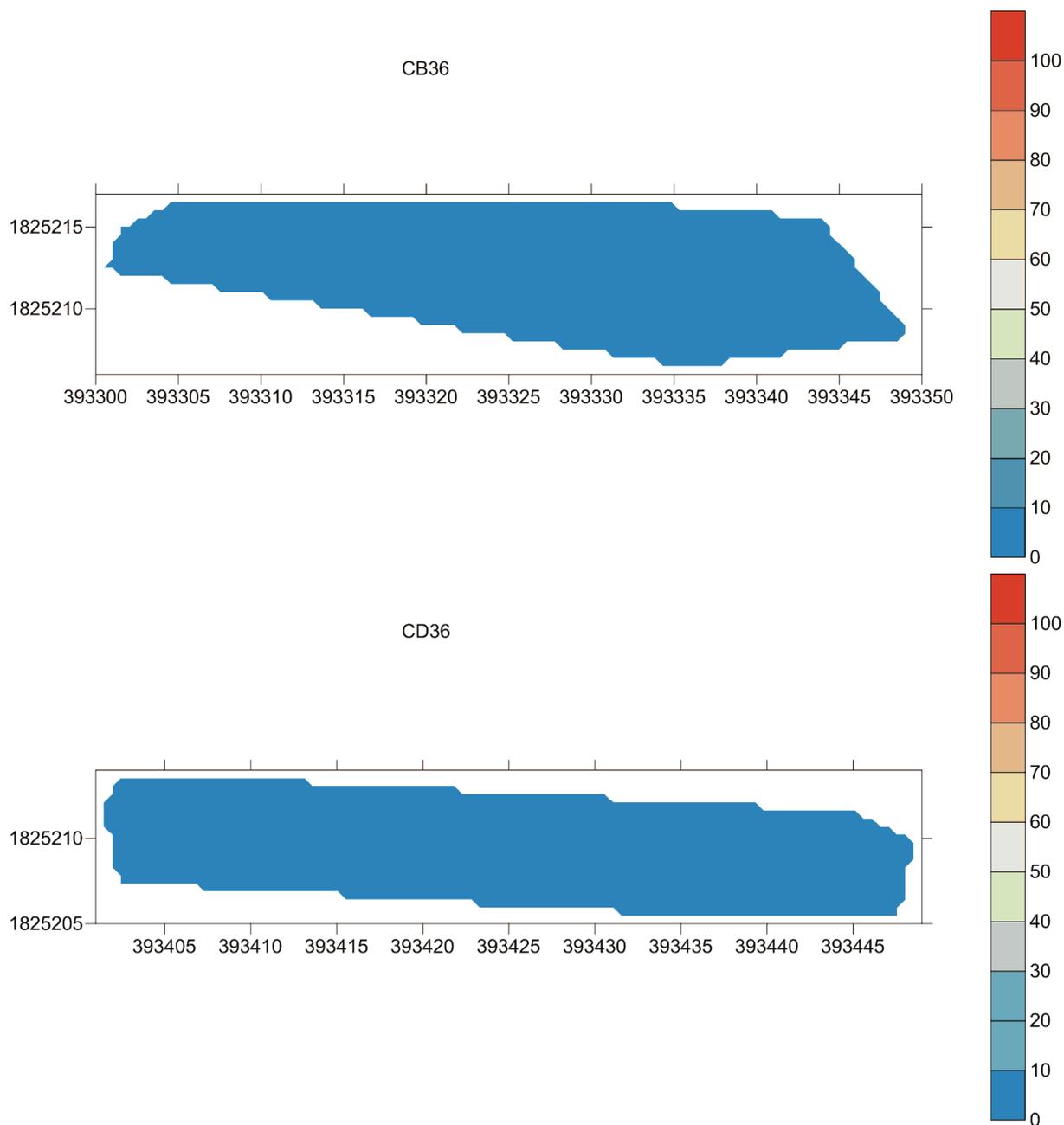
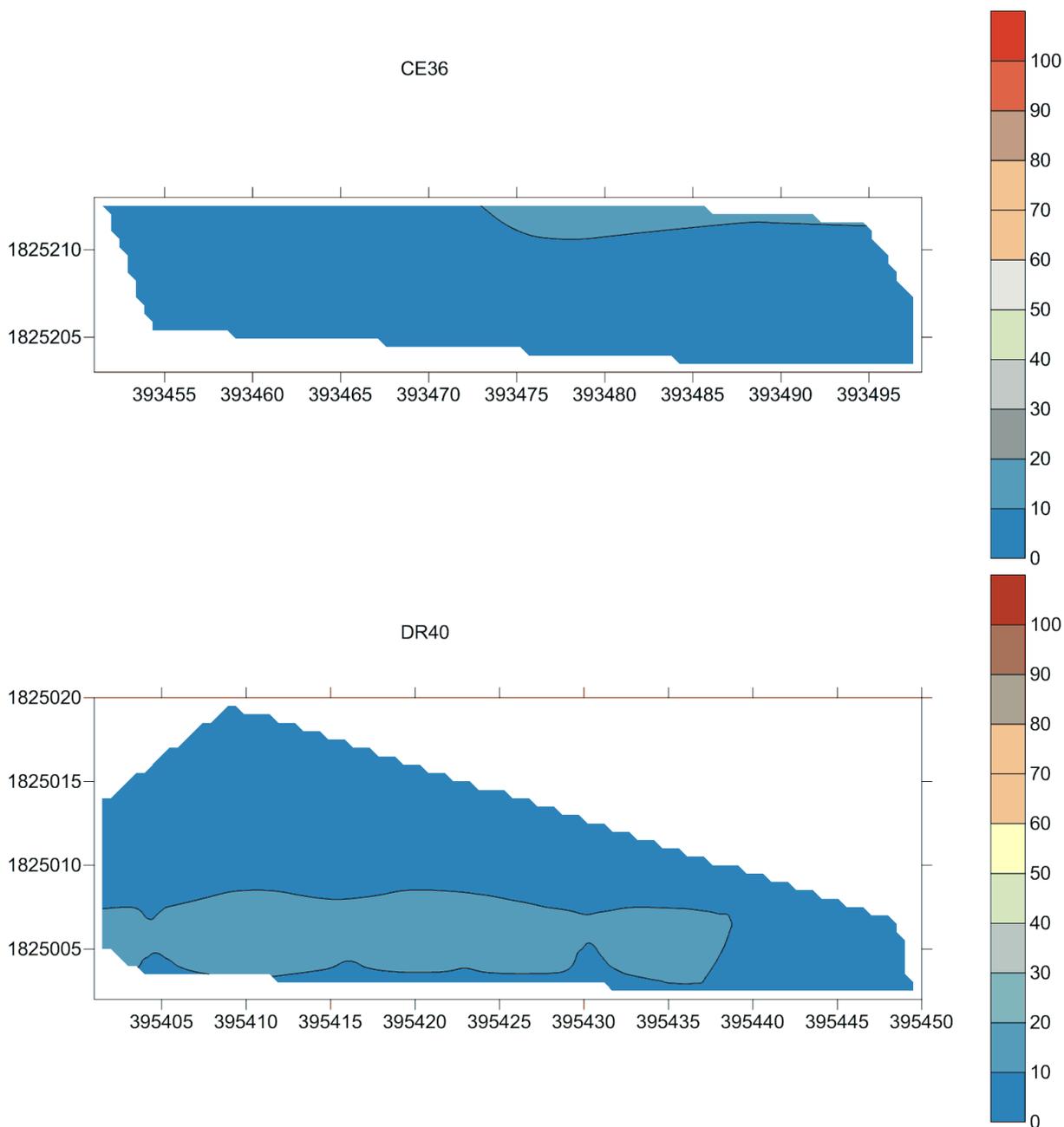
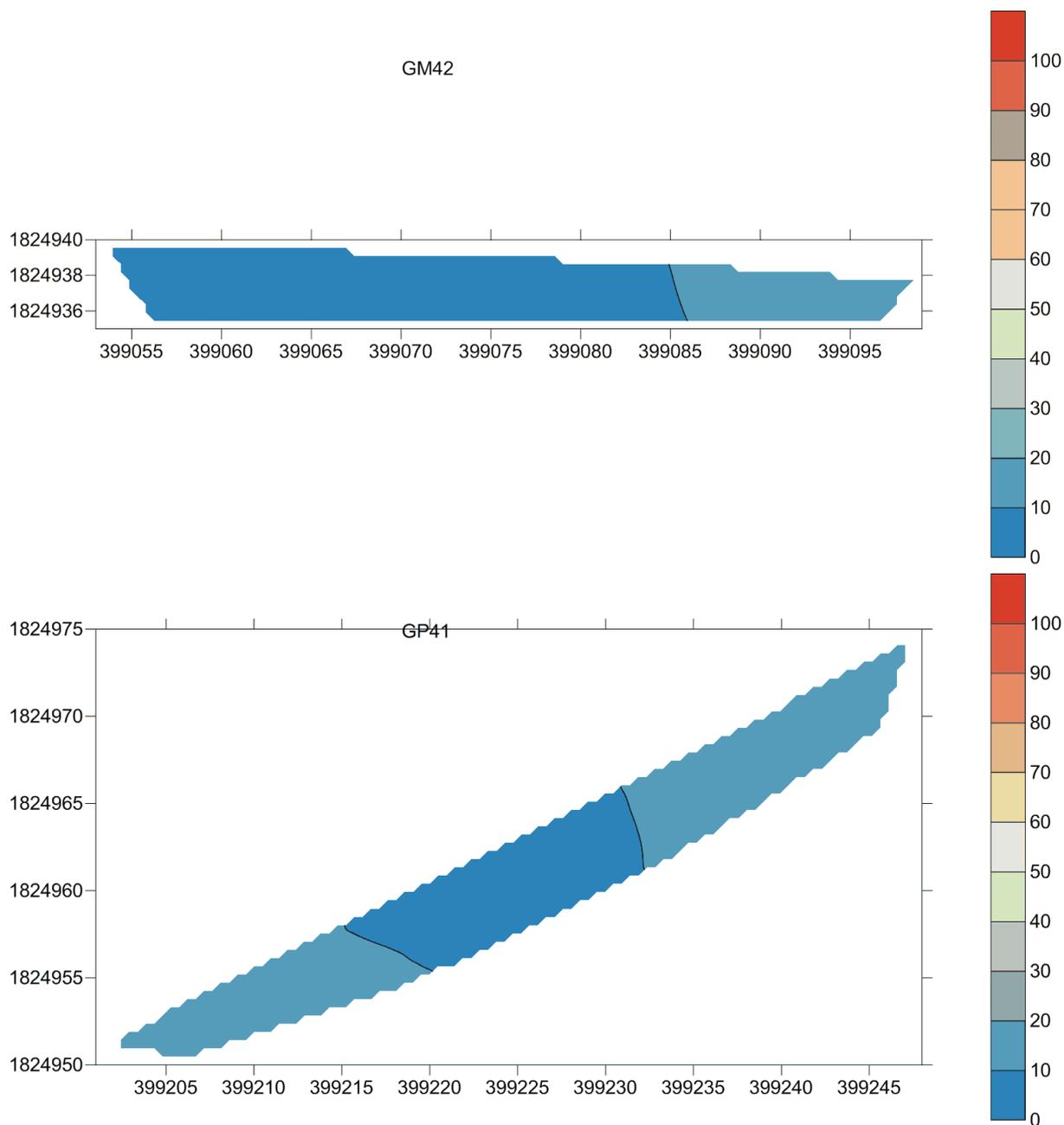
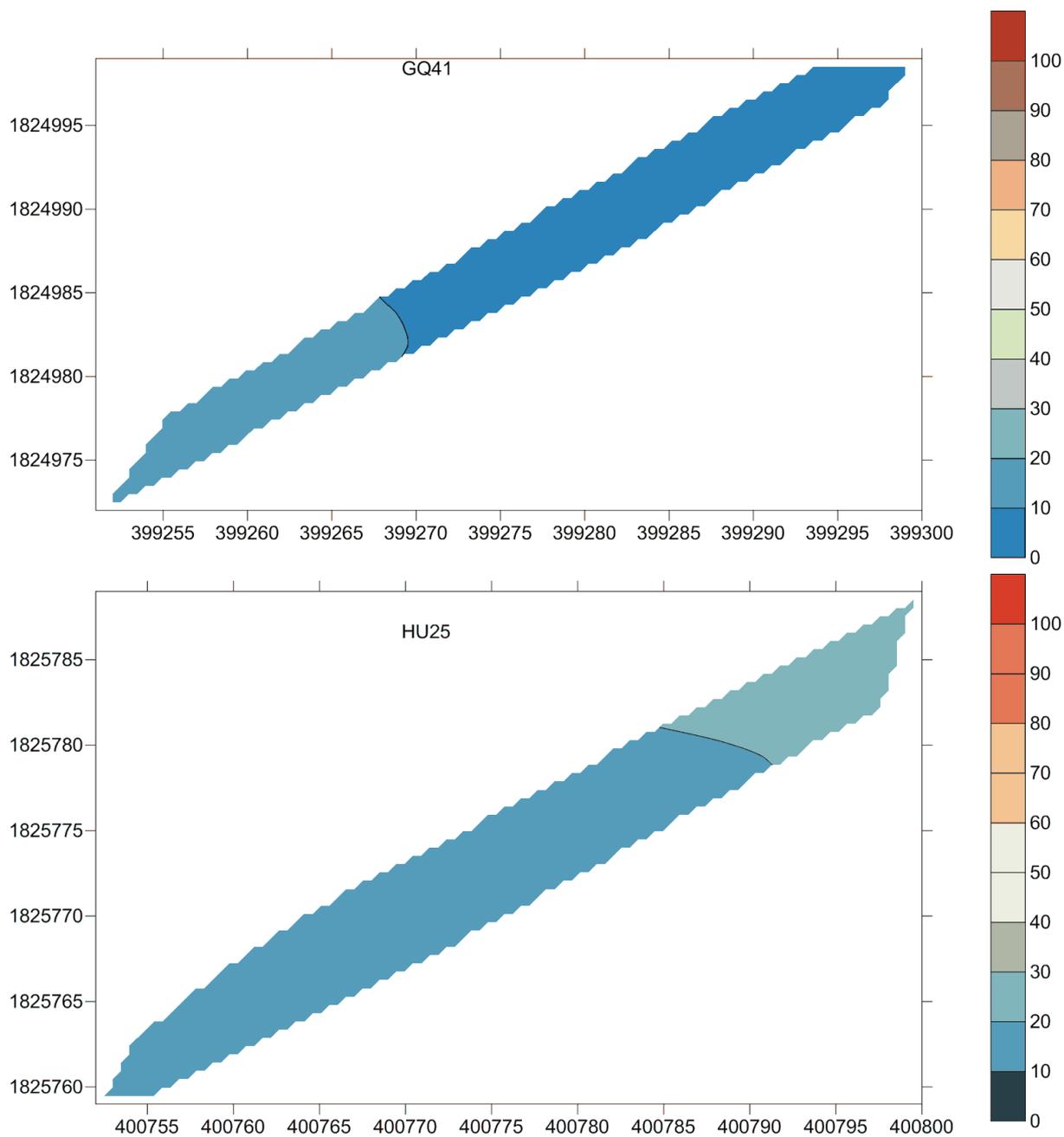


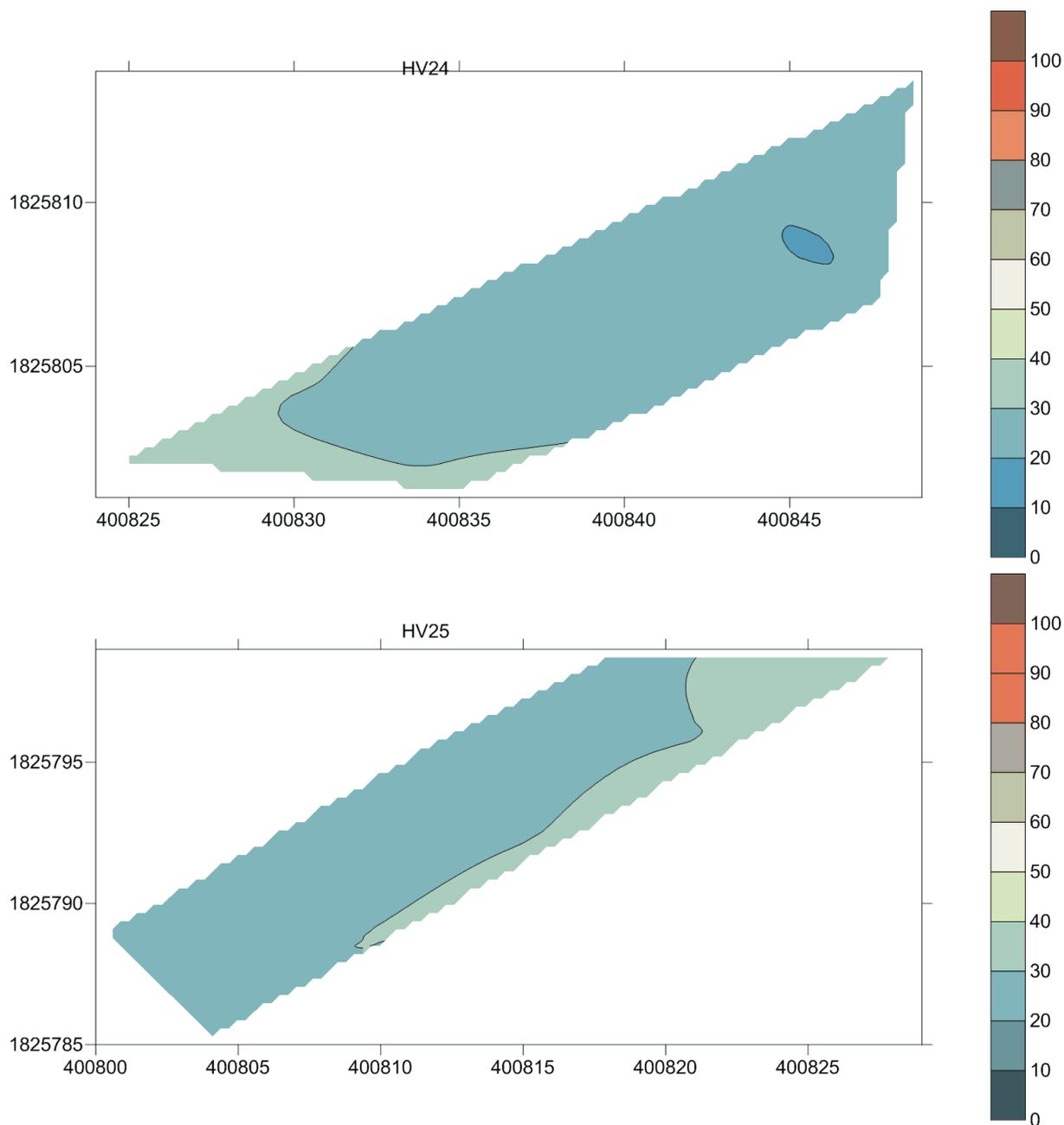
Figure 8 : Emplacement et nom des cartes présentant des dégradations dans le bloc 4

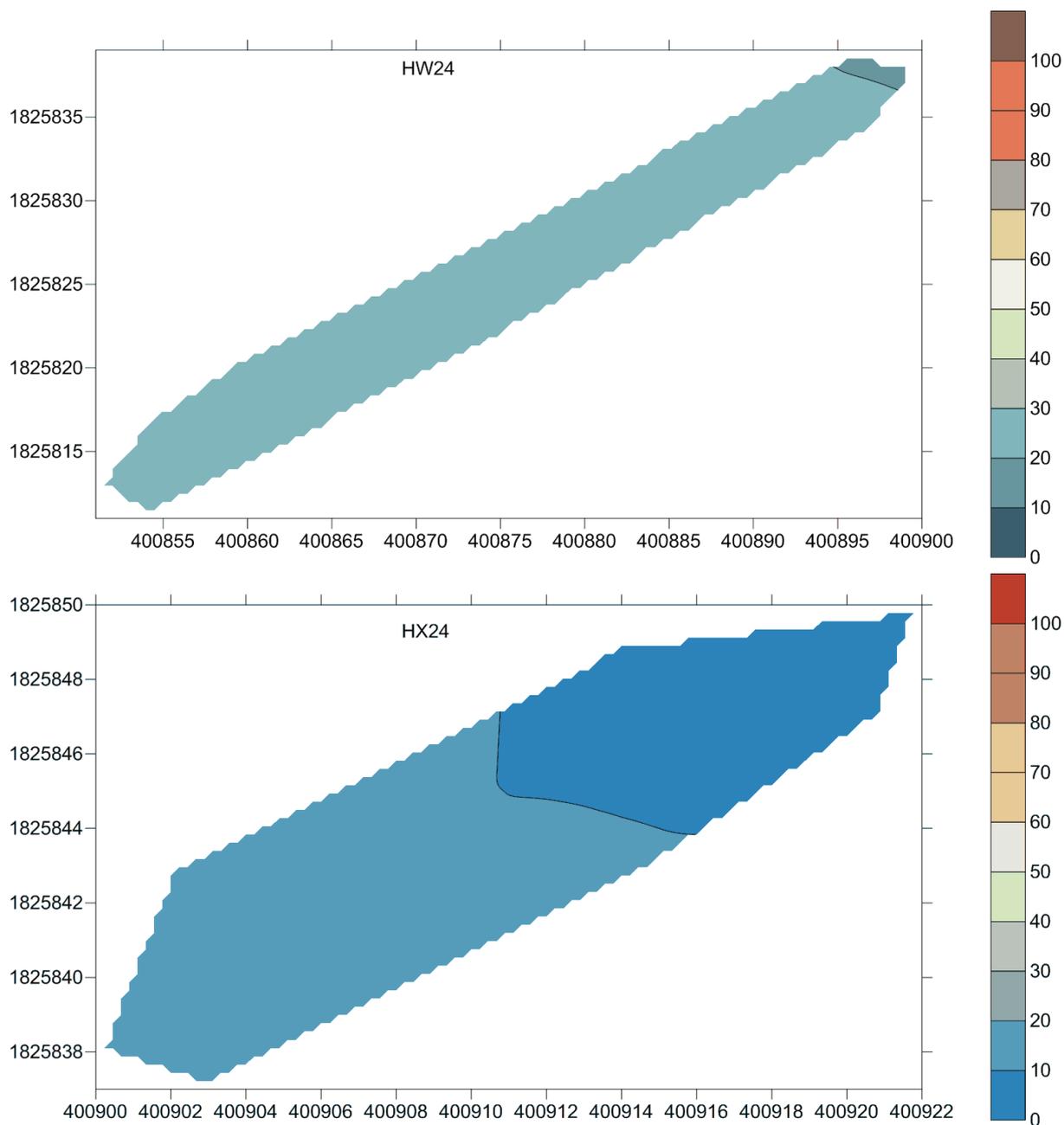


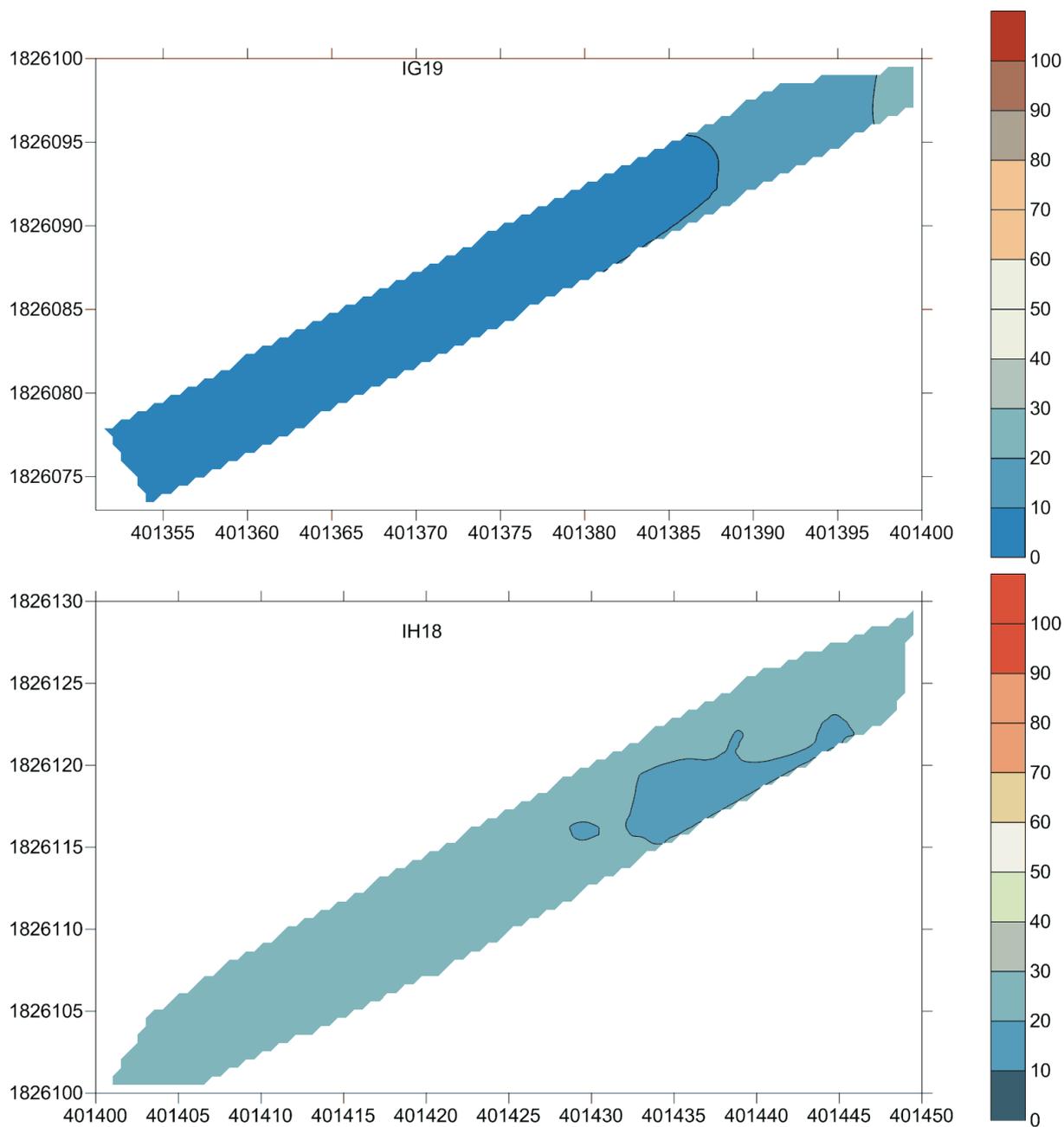


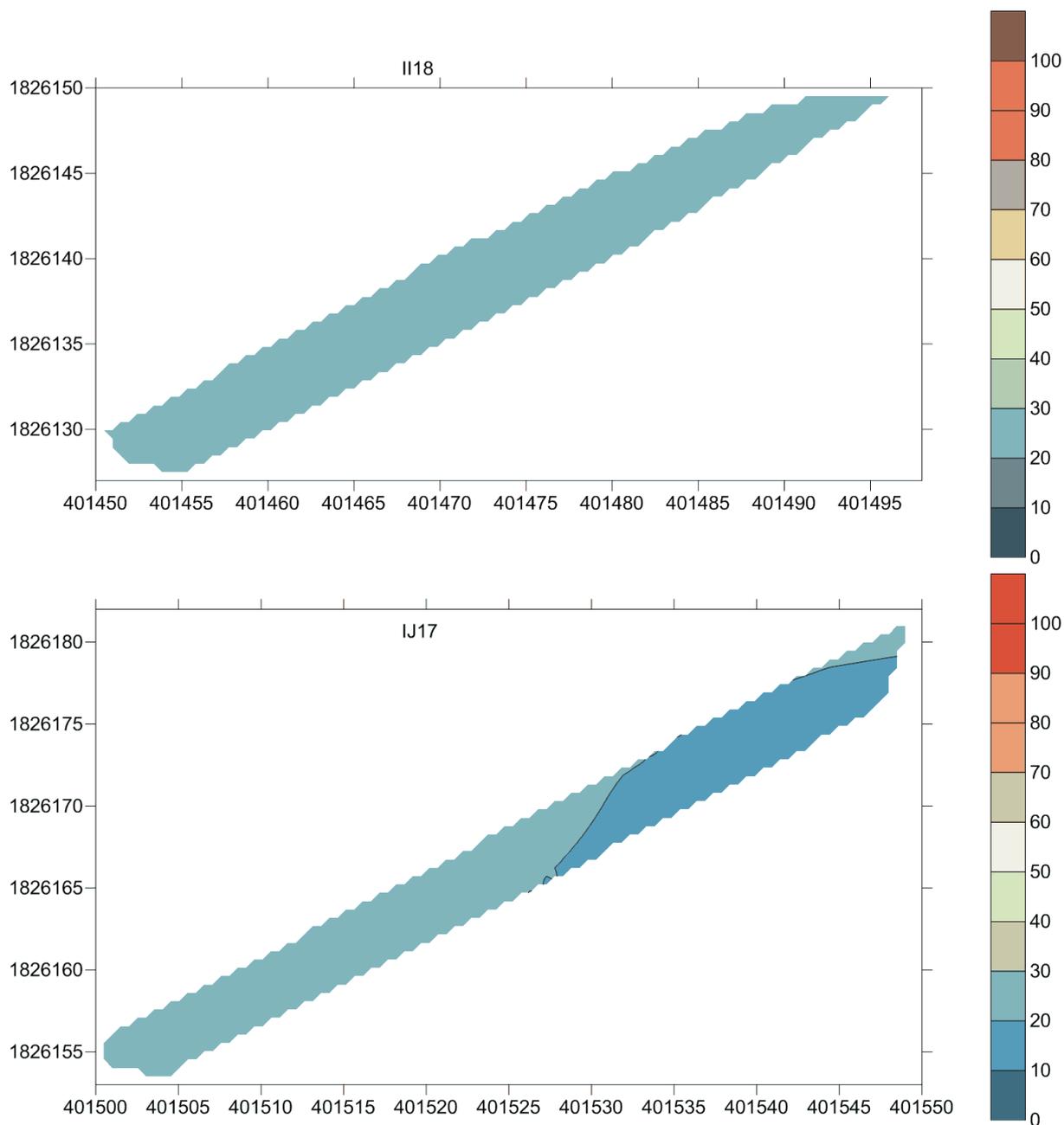


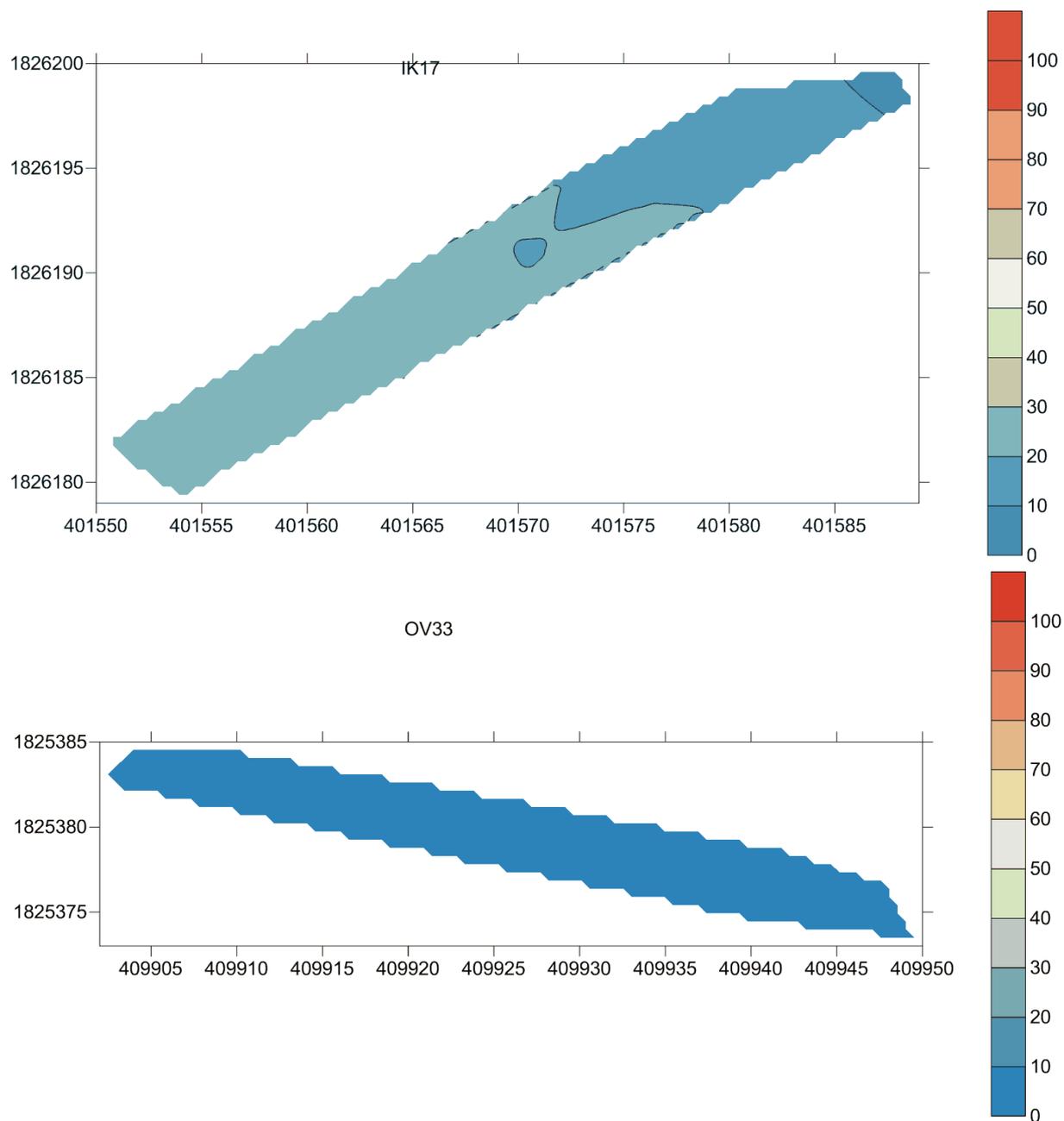


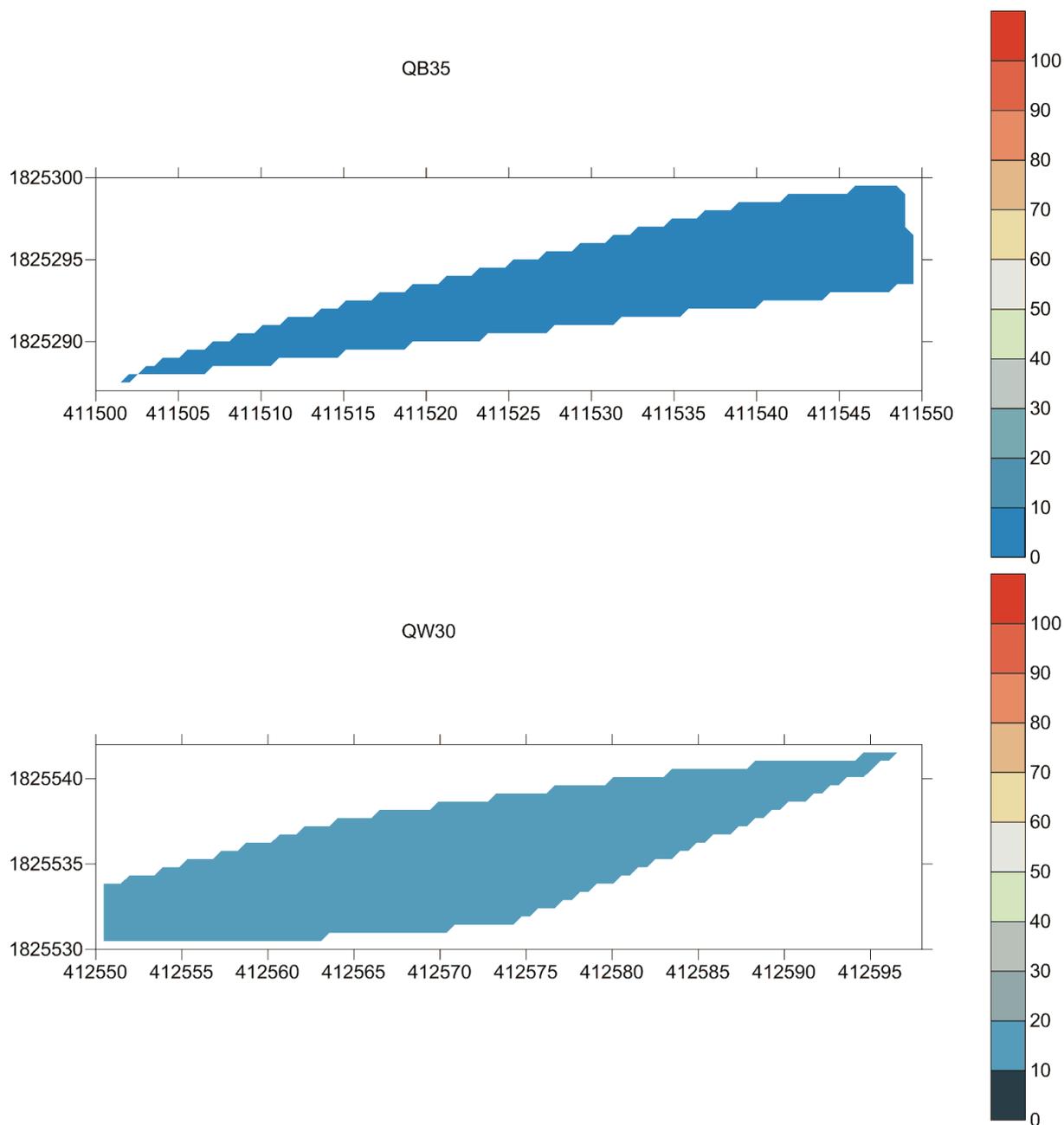












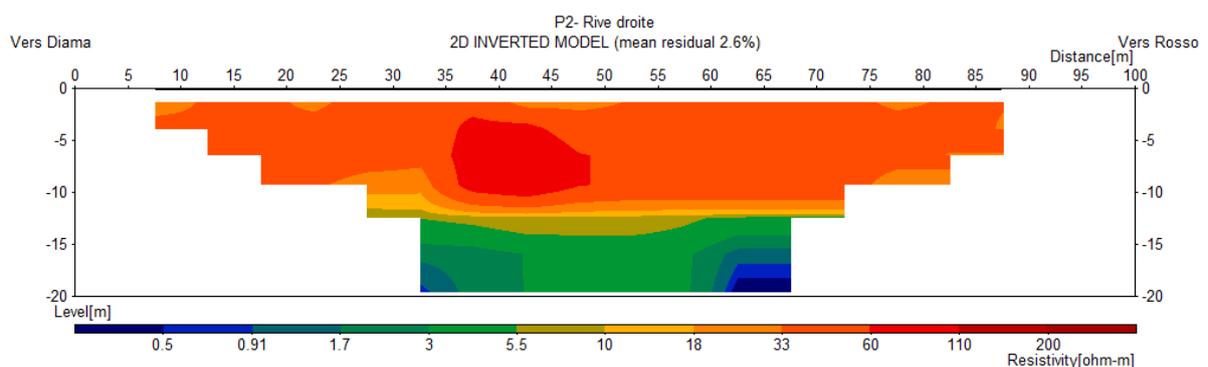
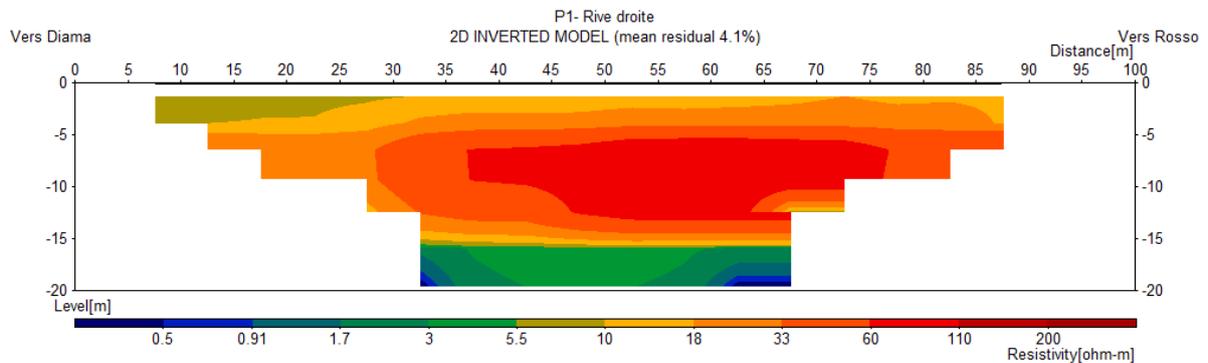
3.6 Résultat des investigations par méthode électrique

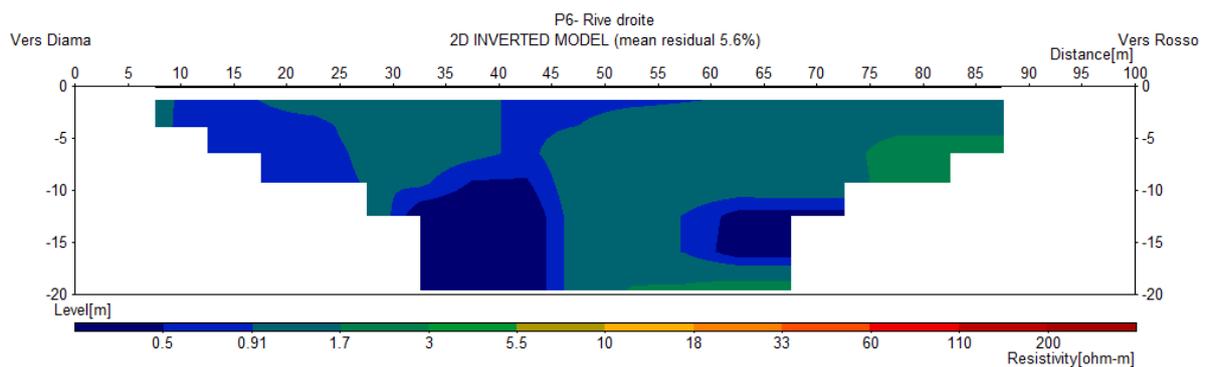
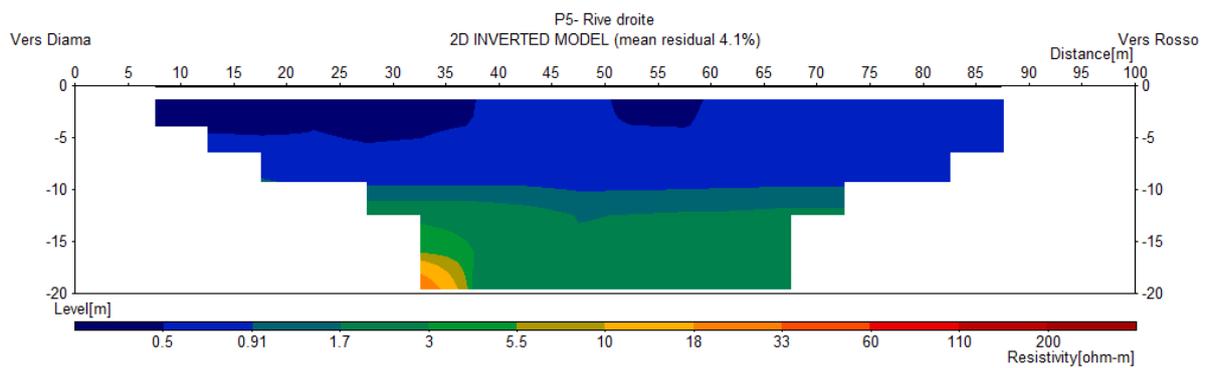
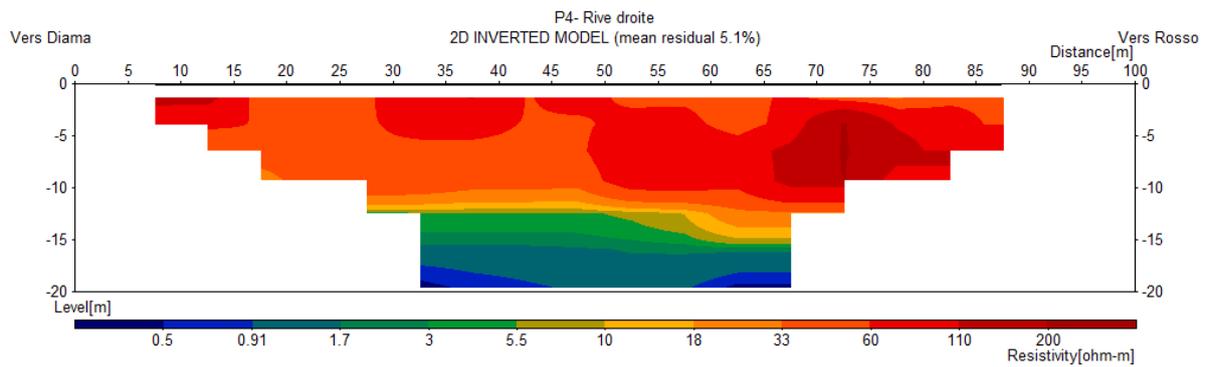
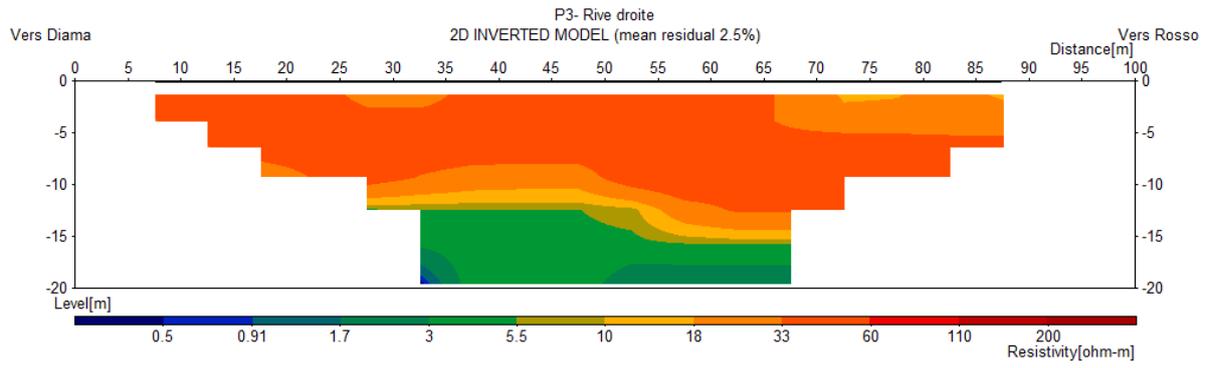
Nous avons réalisé 13 profils de tomographie de résistivité électrique en rive droite. Les coordonnées UTM du centre des profils figurent dans les tableaux ci-dessous :

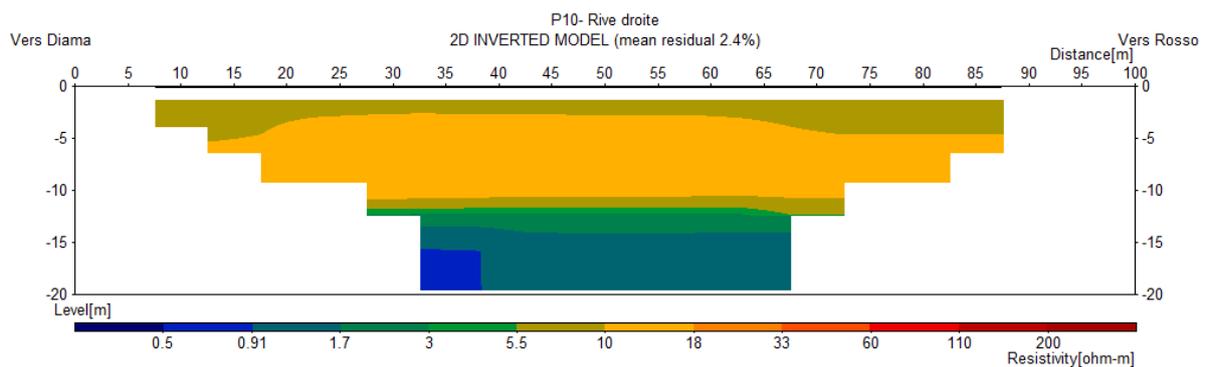
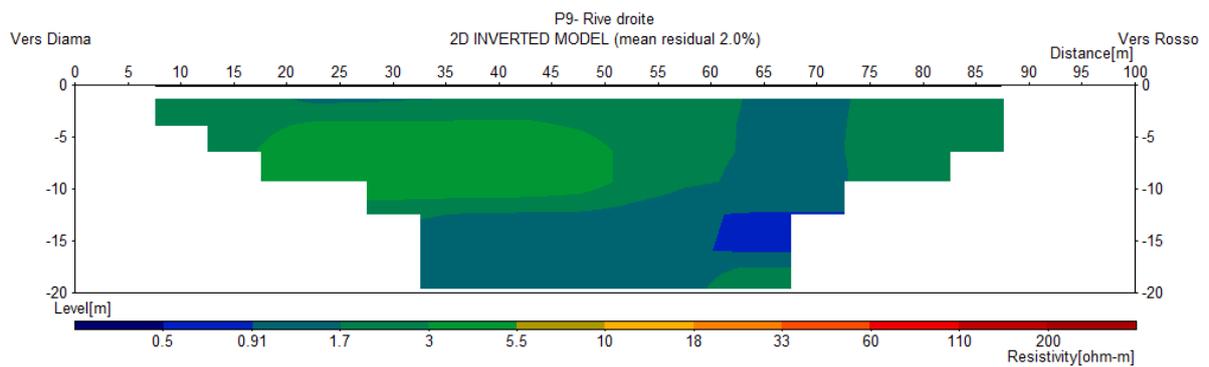
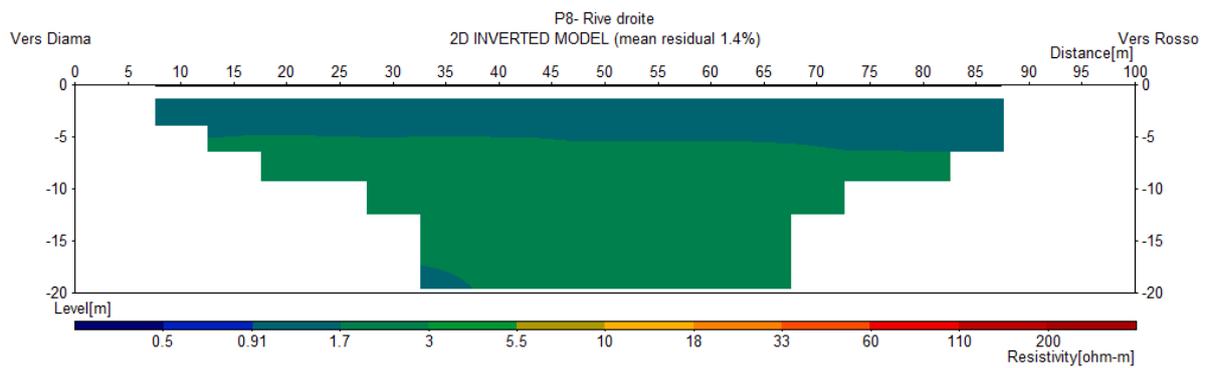
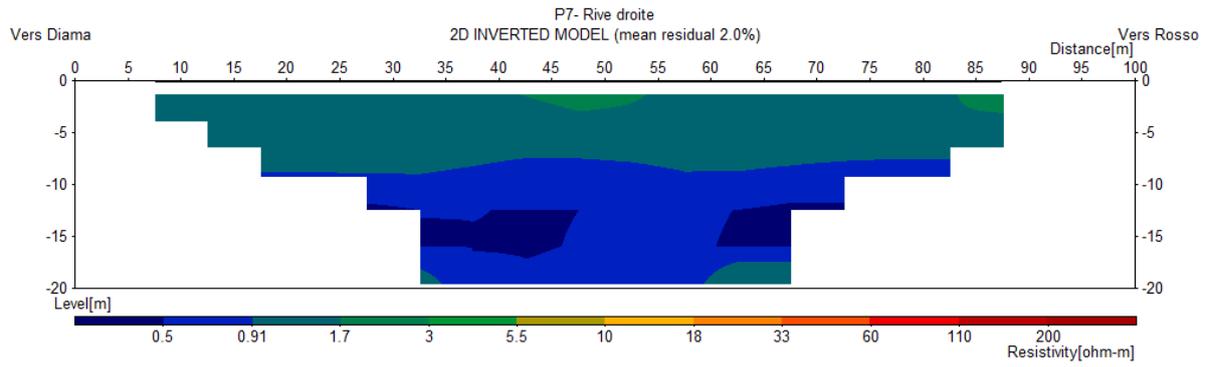
Tableau 3 : Coordonnées UTM des centres des profils en rive droite

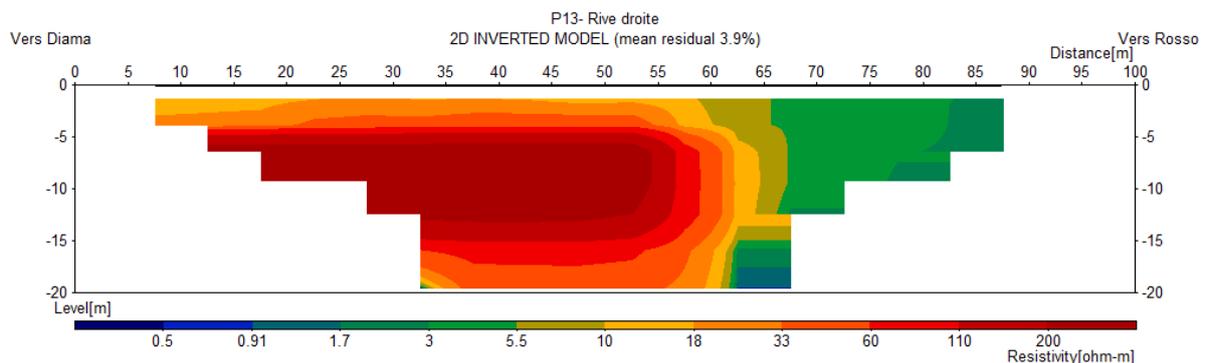
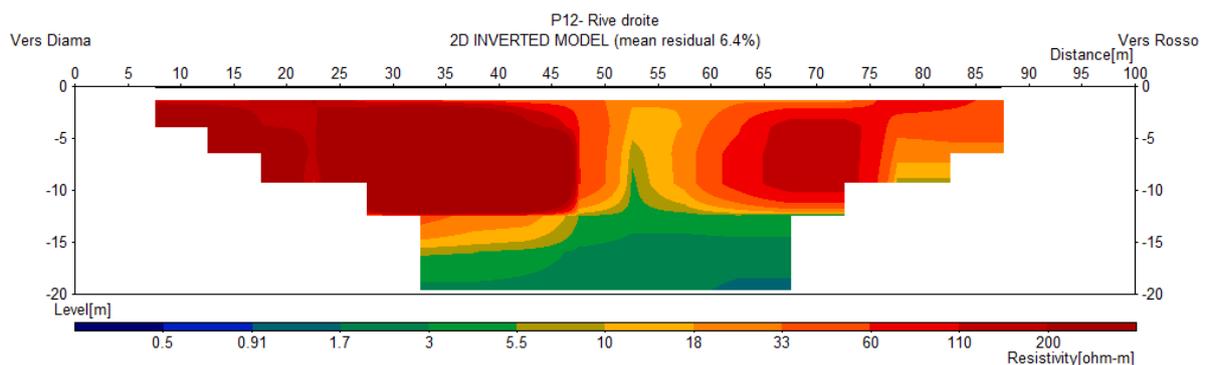
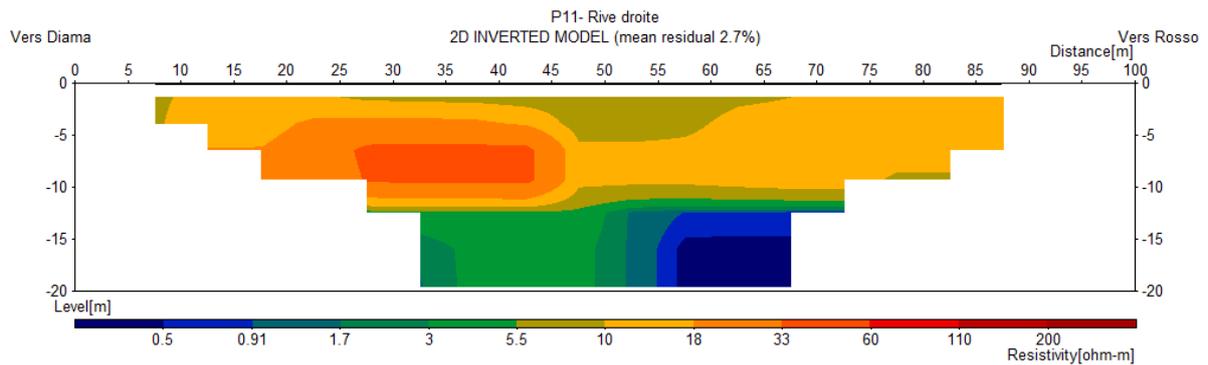
Profils	X	Y
P1	384680	1795886
P2	348662	1796271
P3	350568	1803265
P4	350679	1803557
P5	350646	1807735
P6	356830	1811765
P7	361886	1824652
P8	366831	1828049
P9	376966	1830639
P10	395425	1825006
P11	399225	1824960
P12	400846	1825808
P13	401575	1826193

Les profils de résistivités obtenus après traitement sont représentés sur les figures ci-dessous :









3.7 Analyse et interprétation des profils électriques

A l'exception des profils P8 et P10, les profils ERT de P2 à P11, présentent localement de légères variations de résistivités dans les premiers à deuxièmes mètres assimilables à des dégradations.

Le profil P9 montre une anomalie en surface large de 10 m ($x = 63$ à 73) m qui s'enfonce dans les couches plus profondes.

Le profil P12 montre une dégradation du terrain dans sa partie centrale.

Le profil P13 montre une variation latérale des résistivités qui témoigne de la présence de deux terrains de caractéristiques géotechniques différentes.

4. Conclusion générale et recommandations

Les investigations par méthode électromagnétique montrent que la digue est relativement homogène en profondeur, malgré les nombreuses dégradations observées en surface. Pour s'en assurer, des investigations supplémentaires par tomographie électrique ont été réalisées afin de caractériser la structure des zones homogènes et la géométrie des probables dégradations.

Les profils ERT et électromagnétiques réalisés sur la rive droite du barrage de Diama montrent de façon générale une homogénéité des formations souterraines en place dans les cinq premiers mètres sauf sur quelques profils qui présentent de légères variations de résistivités assimilables à des dégradations.

Les dégradations observées le long de la rive droite du barrage se limitent essentiellement en surface et sont généralement constituées par des orniérages, des ravinements en talus et par des nids de poule.

Pour traiter ces zones de dégradations localisées, nous recommandons alors une purge du premier mètre supérieur du remblai qui sera remplacée par des couches de sols plus résistant et 25 à 50 cm d'une couche de roulement compactée à 95 % de l'OPM.

En rive droite, la crête de digue est principalement revêtue d'une couche de roulement en banco-coquillé d'apport qui pourrait être un matériau plus accessible que la latérite qui n'est disponible qu'à des endroits très éloignés du site du projet.