



Modélisation des transferts sol-plante et détermination des teneurs dans la plante dans l'outil SANISOL

Avril 2021

Rédaction et réalisation :

Benoît Pereira, Benjamin Lobet, Aubry Vandeuren et Pierre Delmelle

(GT4 SANISOL ; ELIE-UCLouvain)



Suivi des travaux et relecture :

Amandine Liénard (SPAA), Gilles Colinet (ULg-GxABT)

Stéphanie Berzigotti, Esther Goidts et Pol Gosselin (SPW-DGO3)

Marie Jailler et Jean-François Heilier (SPAQUE)

Jérôme Petit et Suzanne Remy (ISSeP)

Table des matières

Introduction	3
1 Statistiques descriptives des enregistrements disponibles pour modéliser les transferts sol-plante	3
1.1 Jeux de données et paires de mesures sol-plantes quantifiées	3
1.2 Jeux de données retenus pour la prédiction des teneurs dans la plante	6
1.3 Présentation des jeux de données sélectionnés pour la prédiction des teneurs en métaux dans la plante	8
2 Modélisation des transferts sol-plante	22
2.1 Méthode statistique utilisée et choix des modèles	22
2.2 Présentation des modèles et qualité de la prédiction	23
3 Détermination des teneurs dans la plante dans l'outil SANISOL	28
3.1 Principe général	28
3.2 Règles suivies par l'outil SANISOL pour la détermination d'une teneur en métal pour un fruit/légume produit dans un potager en l'absence de modèle prédictif basé sur les caractéristiques du sol	29
3.3 Détermination d'une teneur en métal dans l'outil SANISOL : tableau de synthèse pour chaque végétal	32
3.4 Calcul de l'exposition aux métaux par la consommation de végétaux dans l'outil SANISOL	36
4 Logigrammes utilisés pour fournir des indications supplémentaires en partie 2 de l'outil SANISOL	37
4.1 Délivrance d'un message d'avertissement en cas de transfert sol-plante inhabituel grâce à la prise en compte de l'erreur de prédiction des teneurs dans la plante	37
4.2 Délivrance d'un message d'avertissement en cas d'incertitude élevée dans une indication donnée à cause des limitations dans le jeu de données disponible	39
Représentation graphique des jeux de données sol-plante disponibles pour la carotte, la courgette, le haricot, la pomme de terre et la salade.	41
Représentation graphique des jeux de données sol-plante des nouveaux fruits et légumes.	87

Introduction

L'outil SANISOL, financé par le Service public de Wallonie et réalisé par l'Université de Liège (ULiège-GxABT), SPAQuE, l'ISSEP, l'Université catholique de Louvain (UCLouvain) et l'ASBL Espace Environnement a pour objectif de fournir des informations sur la problématique des métaux lourds dans les potagers de Wallonie et sur les recommandations liées à l'utilisation de ces sols. En répondant à diverses questions concernant la qualité du potager et les modalités d'usage de ce dernier, l'outil SANISOL fournit des recommandations concernant le risque lié au jardinage et à la consommation de fruits et légumes ainsi que des renseignements sur la qualité des fruits et légumes produits.

Ce rapport a pour objectif de présenter les méthodes appliquées et les choix réalisés pour déterminer les teneurs dans la plante de l'outil SANISOL, ainsi que les indications données par l'outil SANISOL quant à la qualité des produits du potager. Il a été réalisé par le GT4 du projet SANISOL (ELIE-UCLouvain) en collaboration avec le GT1(ULg-GxABT) dans le cadre du second avenant à la subvention SANISOL 2019. Ce rapport remplace les précédents rapports sur le même sujet précédemment réalisés dans le cadre du projet SANISOL :

- Maud Le Bel, Marie Jailler et Thierry Namèche. Délivrable 2.2 : Choix des équations et des modèles de transfert sol-plante les plus pertinents pour les métaux. Rapport final. Mai 2019.
- Benoît Pereira, Aubry Vandeuren, Jolan Wolter et Pierre Delmelle. Rapport final de la convention de recherche intitulée : « Optimisation des modèles de transfert sol-plante en Wallonie pour l'aide à la détermination de recommandations concernant la production de biomasse alimentaire sur un sol contaminé », 2019.

1 Statistiques descriptives des enregistrements disponibles pour modéliser les transferts sol-plante

1.1 Jeux de données et paires de mesures sol-plantes quantifiées

Les travaux précédemment réalisés sur la subvention SANISOL par le GT1¹ ont mis en évidence la présence d'informations utiles pour modéliser les transferts sol-plante que l'on peut diviser en cinq grands jeux de données, selon le laboratoire ou le projet producteur des résultats analytiques :

LEGUMAP : le jeu de données du projet LEGUMAP (financé par SPAQuE) réalisée en 2007. Il reprend les analyses de sols et de légumes de 90 jardins potagers à Charleroi.

1. Voir : Benoît Pereira, Jolan Wolter, Aubry Vandeuren et Pierre Delmelle, 2019. Rapport final de la convention intitulée : « Optimisation des modèles de transfert sol-plante en Wallonie pour l'aide à la détermination de recommandations concernant la production de biomasse alimentaire sur un sol contaminé ».

P2 conv. A : le jeu de données constitué lors de la première campagne du projet POLLUSOL 2 (financé par SPAQuE) réalisée en 2009. Il rassemble les analyses de sols et de légumes d'environ 200 jardins potagers répartis sur quatre communes de Wallonie : Colfontaine, Charleroi, Châtelet et Seraing.

P2 conv. B : le jeu de données constitué lors de la seconde campagne (2010) du projet POLLUSOL 2 réalisée en 2010. Il rassemble les analyses de sols et de légumes d'environ 200 jardins potagers répartis sur six communes de Wallonie : La Louvière, Amay, Engis, Trooz, Verviers et Aubange.

Malvoz : le jeu de données constitué par l'Institut provincial Ernest Malvoz à Liège qui réunit un ensemble d'analyses sols et plantes réalisées entre 2017 et 2020. Il s'agit d'analyses du site des Coins de Terre de Bressoux et de jardins potagers collectifs ou privés situés principalement en Province de Liège.

BAPPET : le jeu de données extrait de la base de données BAPPET (de l'ADEME). Ce jeu de données reprend les résultats d'analyses sols et plantes obtenus dans un grand nombre de publications scientifiques ces vingt dernières années.

L'analyse de ces jeux de données a mis en évidence des limitations de leur usage (problèmes de limites de quantification analytiques trop élevées, biais entre jeux de données, conditions non représentatives des sols wallons. Pour plus de détails, voir : Pereira et al., 2019²). Ces limitations expliquent que les enregistrements retenus pour modéliser les transferts sol-plante dans ce travail proviendront uniquement des jeux de données P2 conv. B et Malvoz.

Chaque jeu de données contient un certain nombre de résultats de mesure non quantifiés, renseignés par le laboratoire comme étant inférieurs à une valeur limite, la limite de quantification analytique³. La limite de quantification pour un paramètre correspond à la valeur mesurée en dessous de laquelle le laboratoire d'analyse considère que l'erreur aléatoire de mesure devient trop élevée. Pour les dix paramètres que nous cherchons à modéliser (teneurs dans les légumes, pour As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Mn et Mo, en mg/kg de matière fraîche), les valeurs des limites de quantifications pour les jeux de données Malvoz⁴ et P2 conv. B sont présentées à la Table 1.

2. Voir : Benoît Pereira, Jolan Wolter, Aubry Vandeuren et Pierre Delmelle, 2019. Rapport final de la convention intitulée : « Optimisation des modèles de transfert sol-plante en Wallonie pour l'aide à la détermination de recommandations concernant la production de biomasse alimentaire sur un sol contaminé ».

3. Correspond en réalité parfois à une limite de quantification multipliée par un coefficient de sécurité. Cette limite de quantification "de rapportage" est donc plus élevée la limite de quantification analytique.

4. Pour ce jeu de données, il y a parfois plusieurs limites de quantification pour un même élément. Ces valeurs limites sont néanmoins très proches. La Table renseigne la valeur limite la plus couramment renseignée dans les bulletins analytiques du laboratoire.

TABLE 1 – Valeurs des limites de quantifications, en mg/kg de matière fraîche, pour les analyses de végétaux des jeux de données Malvoz et P2 conv. B.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mn	Mo
P2 conv. B	0.002	0.005	0.013	0.100	0.002	0.030	0.010	0.100	0.100	0.020
Malvoz	0.050	0.010	0.050	0.050	0.006	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050

Le nombre total de données disponibles dans le jeu de données P2 conv. B pour la carotte, la courgette, le haricot, la pomme de terre et la salade est de 125, 123, 149, 112 et 192 respectivement. La Table 2 présente le nombre total de données disponibles dans le jeu de données Malvoz, ce nombre étant variable selon l'élément contrairement au jeu de données P2 conv. B.

Le nombre de paires sol-plantes quantifiées du jeu de données Malvoz est présenté à la Table 3, et à la Table 4 pour le jeu de données P2 conv. B.

TABLE 2 – Jeu de données Malvoz : nombre total de paires sol-plante.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Bette	40	42	40	40	39	40	40	40	42	40
Carotte	45	50	45	45	45	45	45	45	50	45
Chou	40	45	40	40	40	40	40	40	45	40
Courgette	49	49	48	48	48	48	48	48	49	48
Fraise	20	21	20	20	19	20	20	20	21	20
Framboise	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23
Haricot	64	64	64	64	63	64	64	64	64	64
Menthe	20	22	20	20	20	20	20	20	22	20
Persil	26	29	26	26	26	26	26	26	29	26
Poireau	22	25	21	21	21	21	21	21	25	21
Poivron	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Po. de terre	37	41	37	37	37	37	37	37	41	37
Salade	74	85	72	72	71	72	72	72	84	72
Tomate	47	48	46	46	46	46	46	46	48	46

TABLE 3 – Jeu de données Malvoz : nombre de paires sol-plante quantifiées.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Bette	8	38	36	40	6	40	18	36	36	40
Carotte	0	49	12	45	0	45	7	33	45	45
Chou	2	34	23	40	2	40	5	33	23	40
Courgette	0	1	2	48	0	48	26	30	2	48
Fraise	0	10	3	20	0	20	10	9	16	20
Framboise	1	14	2	23	0	23	14	19	5	23
Haricot	1	7	24	64	0	64	36	51	15	64
Menthe	9	12	19	20	11	20	11	20	22	20
Persil	9	27	26	26	6	26	10	24	28	26
Poireau	1	22	9	21	0	21	4	10	13	21
Poivron	0	12	4	24	0	24	5	9	3	24
Po. de terre	0	36	4	37	0	37	17	14	15	37
Salade	23	78	64	72	5	72	20	68	79	72
Tomate	0	40	7	46	0	46	27	15	2	46

TABLE 4 – Jeu de données P2 conv. B : nombre de paires sol-plante quantifiées.

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Mn	Mo
Carotte	108	122	65	125	1	63	107	125	125	105
Courgette	5	32	17	123	0	61	13	123	123	120
Haricot	44	75	94	149	0	142	95	149	149	149
Pomme de terre	27	108	12	112	0	39	32	112	112	112
Salade	183	190	185	192	12	137	189	192	192	183

1.2 Jeux de données retenus pour la prédiction des teneurs dans la plante

Les jeux de données P2 conv. B et Malvoz contiennent des analyses réalisées par des laboratoires différents, pour un nombre variable d'éléments, type de légumes et sols correspondants. Les échantillons de sols et de légumes ont été prélevés, préparés et analysés par différentes équipes/personnes et laboratoires, à des années différentes. Or « *des différences, même considérées comme minimales, dans le matériel d'échantillonnage, la méthode d'échantillonnage, la préparation des échantillons ou dans les protocoles analytiques peuvent avoir un impact majeur sur les valeurs de concentrations observées dans un jeu de données géochimique* »⁵. Ainsi, des jeux de données géochimiques différents basés sur des protocoles d'échantillonnage et d'analyse similaires peuvent présenter un décalage (« *shift* ») l'un par rapport à l'autre, que l'on appelle communément « *bias* ».

5. Reimann, Clemens, et al. "New soil composition data for Europe and Australia : demonstrating comparability, identifying continental-scale processes and learning lessons for global geochemical mapping." *Science of the Total Environment* 416 (2012) : 239-252.

En cas de biais entre jeux de données géochimiques, il n'est généralement pas possible de pouvoir déterminer le jeu de données présentant des valeurs « vraies » de celui qui serait affecté par des « erreurs systématiques » (constantes ou proportionnelles à la valeur mesurée) à moins d'avoir à disposition des analyses de matériaux de références réalisées au moment de l'acquisition des données par les laboratoires/personnes à l'origine des jeux de données, ce qui n'est pas le cas ici.

En cas de présence d'un biais entre P2 conv. B et Malvoz, le jeu de données résultant de la réunion de ceux-ci donnera lieu à un problème d'homogénéité. La prédiction des teneurs dans la plante sur base d'un jeu de données présentant un problème d'homogénéité donnerait lieu à des résultats incohérents. Par exemple, la teneur prédite dans la plante ne dépendrait plus uniquement des caractéristiques du sol, mais de l'origine des données utilisées pour construire un modèle prédictif.

En dehors des raisons purement liées à l'application de protocoles d'échantillonnage et d'analyse, il y a beaucoup de raisons (facteurs) qui peuvent expliquer un décalage lié aux conditions de terrains entre les jeux de données P2 conv. B et Malvoz. Par exemple, ce ne sont pas exactement les mêmes sols mesurés dans les deux jeux de données. Ce ne sont pas non plus les mêmes conditions météorologiques qui peuvent, d'une année à l'autre, influencer les transferts de métaux du sol vers la plante. Si un décalage entre les jeux de données provient des conditions de terrain, il est normal de ne pas chercher à s'affranchir de ce décalage, car les modèles de prédiction doivent prendre en compte la variabilité de ces conditions qui pourraient se présenter à l'avenir. Dans le cas d'un décalage lié à l'application de protocoles d'échantillonnage et d'analyse, il n'est pas approprié de réunir les deux jeux de données ensemble.

Il n'existe cependant pas une méthode ad hoc ou un test statistique permettant de mettre en évidence un problème d'homogénéité lié à des différences dans l'application de protocoles d'échantillonnage et d'analyse. Un problème d'homogénéité se présente potentiellement pour les 5 légumes qui existent dans les jeux de données P2 conv. B et Malvoz : la carotte, la courgette, le haricot, la pomme de terre et la salade. Au vu de l'absence de méthode ad hoc, il a été choisi de déterminer la présence d'un problème d'homogénéité sur base de l'avis des différents partenaires de la subvention SANISOL versés dans la matière (ULg-GxABT, Laboratoire Provincial de Liège, SPAQuE, SPW-DGO3) après prise en compte de l'analyse graphique des jeux de données (voir Annexe 1). Ce travail a conclu à l'absence de problème d'homogénéité de l'ensemble des données Malvoz + POLLUSOL 2, sauf pour les jeux de données qui portent sur l'arsenic et le couple chrome-haricot.

1.3 Présentation des jeux de données sélectionnés pour la prédiction des teneurs en métaux dans la plante

Il y a 14 fruits et légumes pour lesquels on dispose d'au moins 20 paires de données sol-plante quantifiées. Il s'agit des cinq légumes présents dans la base de données POL-LUSOL 2 : la carotte, la courgette, le haricot, la pomme de terre et la salade ainsi que de neuf fruits et légumes présents dans la base de données Malvoz : fraise, framboise, persil, menthe, bette, choux, poireau, poivron et tomate. Les jeux de données d'analyses de sol et de plante disponibles pour ces 14 fruits et légumes sont illustrés par des statistiques descriptives dans les 22 Tables qui suivent.

Abréviations utilisées dans les tableaux de statistiques descriptives

MS : matière sèche (%);

MF : matière fraîche (%);

n : nombre de résultats analytiques;

nQ : nombre de résultats analytiques quantifiés;

Statistiques calculées uniquement sur les résultats analytiques quantifiés :

sd : écart-type;

mad : *median absolute deviation* : déviation absolue médiane;

min : minimum des résultats analytiques;

c5, c10 ,c25,c75 ,c90 ,c95 : centile 5, 10, 25, 75, 90 et 95 de la distribution des résultats analytiques;

med : médiane de la distribution des résultats analytiques (ou centile 50);

max : maximum des résultats analytiques.

TABLE 5 – Bette : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	40	42	40	40	39	40	40	40	42	40
nQ	34	39	40	40	24	40	18	38	42	40
moy	26.9	3.99	48.4	131.8	1.49	769	3.5	38.7	314	974
sd	9.4	3.56	14.7	95.1	0.81	244	2.0	10.0	235	756
mad	8.2	1.93	11.1	133.4	0.71	196	0.4	9.6	294	805
min	8.6	0.51	18.0	14.0	0.50	197	2.2	16.0	22	88
c5	11.1	1.29	28.5	17.0	0.53	463	2.5	20.0	36	96
c10	13.2	1.48	34.0	20.0	0.58	510	2.5	22.4	65	199
c25	20.5	1.75	41.5	34.0	0.83	612	2.6	32.2	95	328
med	27.5	3.80	48.0	141.5	1.47	769	2.8	41.0	295	886
c75	31.8	4.88	55.8	214.2	1.89	868	3.1	46.7	469	1414
c90	39.7	5.38	61.1	239.5	2.20	989	5.5	49.0	607	1714
c95	40.3	5.96	72.7	266.9	2.66	1115	9.0	50.0	768	1910
max	47.0	23.00	88.0	351.0	4.00	1408	9.0	53.0	828	3692

TABLE 6 – Bette : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	40	42	40	40	39	40	40	40	42	40
nQ	8	40	36	40	9	40	37	36	36	40
moy	0.0740	0.2787	0.1667	1.919	0.0107	16.16	0.4244	0.1980	0.4451	47.85
sd	0.0373	0.3106	0.1331	0.917	0.0052	17.23	0.6694	0.0971	0.4974	39.68
mad	0.0163	0.1334	0.0712	0.964	0.0044	6.45	0.1334	0.1186	0.2706	41.51
min	0.0500	0.0150	0.0550	0.360	0.0049	0.36	0.0810	0.0580	0.0530	2.10
c5	0.0500	0.0477	0.0600	0.438	0.0053	3.09	0.0980	0.0697	0.0595	3.79
c10	0.0500	0.0587	0.0600	0.691	0.0058	4.07	0.1060	0.0790	0.0685	4.67
c25	0.0500	0.0990	0.0785	1.200	0.0070	4.77	0.1500	0.1200	0.1150	14.00
med	0.0610	0.2250	0.1200	1.900	0.0090	8.30	0.2200	0.1800	0.2550	45.50
c75	0.0750	0.2800	0.1750	2.500	0.0130	19.75	0.3400	0.2625	0.5225	66.15
c90	0.1110	0.5040	0.3650	3.200	0.0156	37.50	0.7500	0.3300	0.9100	98.30
c95	0.1355	1.0100	0.4550	3.500	0.0188	57.30	1.3440	0.3525	1.6500	121.20
max	0.1600	1.5000	0.6100	3.900	0.0220	71.00	3.3000	0.4600	2.1000	180.00

TABLE 7 – Carotte : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	121	175	168	170	170	169	104	170	175	170
nQ	121	174	168	170	157	169	82	170	175	170
moy	20.7	3.56	51.8	75.0	0.57	984	3.6	37.0	291	744
sd	17.0	4.95	23.0	58.9	0.67	679	3.0	17.1	293	637
mad	7.6	1.94	15.1	32.3	0.26	306	1.0	15.2	170	426
min	6.0	0.24	18.6	14.0	0.04	308	1.5	11.8	22	66
c5	7.0	0.45	25.8	18.5	0.07	439	1.7	16.4	52	125
c10	8.2	0.60	28.8	22.4	0.10	477	1.7	19.7	65	192
c25	10.5	1.03	37.0	36.9	0.14	595	2.1	24.2	97	269
med	15.5	2.08	46.0	53.1	0.28	800	2.8	35.4	190	501
c75	21.8	4.18	59.0	99.6	0.64	1027	3.5	44.3	405	1069
c90	47.8	6.91	86.3	165.9	1.64	1731	6.8	53.9	612	1548
c95	54.1	9.66	97.6	214.1	2.14	2509	7.2	62.5	815	2054
max	99.8	46.57	162.4	270.0	4.00	4825	24.0	129.5	1856	3692

TABLE 8 – Carotte : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	121	175	168	170	170	169	104	170	175	170
nQ	118	172	81	170	1	169	75	158	155	170
moy	0.0078	0.0769	0.0359	0.480		1.00	0.0611	0.0608	0.0956	3.82
sd	0.0077	0.0833	0.0319	0.187		0.62	0.0518	0.0593	0.1196	2.50
mad	0.0037	0.0497	0.0119	0.148		0.42	0.0252	0.0297	0.0563	1.58
min	0.0020	0.0050	0.0130	0.212		0.35	0.0005	0.0210	0.0100	0.94
c5	0.0020	0.0080	0.0130	0.251		0.43	0.0140	0.0210	0.0131	1.52
c10	0.0020	0.0130	0.0140	0.292		0.49	0.0234	0.0210	0.0160	1.68
c25	0.0040	0.0220	0.0160	0.361		0.60	0.0310	0.0210	0.0280	2.28
med	0.0060	0.0500	0.0220	0.455	0.0030	0.86	0.0470	0.0410	0.0600	3.09
c75	0.0090	0.1015	0.0500	0.559		1.20	0.0680	0.0800	0.1300	4.59
c90	0.0140	0.1599	0.0690	0.700		1.52	0.1130	0.1237	0.2240	6.90
c95	0.0191	0.2200	0.0980	0.761		2.08	0.1615	0.1600	0.2609	8.04
max	0.0630	0.5690	0.2060	1.700		4.39	0.2860	0.4380	1.2000	18.00

TABLE 9 – Chou : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	40	45	40	40	40	40	40	40	45	40
nQ	34	44	40	40	17	40	7	40	45	40
moy	20.4	3.08	49.6	64.0	1.37	842	2.4	34.3	193	822
sd	7.3	2.77	20.5	51.8	1.16	584	0.5	14.3	182	1610
mad	5.9	1.20	11.9	41.5	0.37	266	0.1	17.0	111	283
min	8.6	1.10	25.0	14.0	0.50	290	2.0	11.0	22	96
c5	10.6	1.15	30.7	16.0	0.50	468	2.1	19.6	64	150
c10	11.0	1.40	35.0	17.0	0.50	490	2.1	20.9	65	236
c25	16.0	1.58	36.4	25.0	0.64	580	2.1	22.5	74	320
med	20.0	2.45	43.0	53.0	0.75	786	2.1	34.0	141	459
c75	23.8	3.05	54.0	79.8	2.18	862	2.7	45.2	257	655
c90	31.0	5.00	81.6	137.4	2.92	1040	3.0	50.1	318	1099
c95	34.0	5.81	88.3	152.0	4.00	1400	3.1	51.2	532	1907
max	37.0	18.00	113.0	260.0	4.00	4070	3.3	80.0	1036	10387

TABLE 10 – Chou : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	40	45	40	40	40	40	40	40	45	40
nQ	2	34	23	40	4	40	34	33	23	40
moy		0.0803	0.1608	0.712	0.0082	5.91	1.2315	0.1299	0.2361	11.67
sd		0.1106	0.1020	0.391	0.0022	5.53	2.1114	0.0667	0.2917	11.95
mad		0.0282	0.1038	0.356	0.0022	3.19	0.5411	0.0593	0.1038	7.19
min	0.0600	0.0140	0.0500	0.230	0.0060	0.41	0.0900	0.0590	0.0490	0.84
c5		0.0169	0.0600	0.249	0.0062	1.18	0.1065	0.0596	0.0491	1.80
c10		0.0186	0.0600	0.306	0.0063	1.39	0.1130	0.0600	0.0500	2.25
c25		0.0300	0.0890	0.438	0.0068	2.38	0.1500	0.0740	0.0800	3.25
med		0.0380	0.1300	0.630	0.0080	3.70	0.5100	0.1100	0.1300	7.75
c75		0.0798	0.2250	0.888	0.0095	7.83	1.2625	0.1800	0.2100	17.00
c90		0.1610	0.2760	1.310	0.0104	13.10	2.6100	0.2100	0.6700	25.50
c95		0.2215	0.2800	1.552	0.0107	15.05	4.6750	0.2480	0.7820	30.45
max	0.0600	0.6100	0.4700	1.800	0.0110	28.00	11.0000	0.3000	1.2000	57.00

TABLE 11 – Courgette : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	118	172	170	168	171	170	98	170	172	171
nQ	118	170	170	168	156	170	81	169	172	171
moy	19.2	3.33	48.1	79.8	0.56	977	3.4	37.0	312	786
sd	16.0	3.13	23.0	64.2	0.62	697	2.1	17.7	310	631
mad	5.6	2.62	15.1	44.3	0.29	339	1.0	15.3	191	563
min	5.3	0.24	15.6	14.0	0.04	123	1.7	2.0	9	27
c5	6.7	0.41	23.1	18.7	0.05	394	1.8	14.0	36	104
c10	8.6	0.59	26.9	20.9	0.06	470	1.8	20.0	63	193
c25	10.7	1.02	34.2	33.9	0.14	592	2.2	25.0	109	285
med	13.7	2.75	44.8	54.9	0.30	818	2.8	35.1	210	640
c75	19.1	4.57	54.8	103.5	0.65	1095	3.7	45.8	423	1103
c90	36.5	6.25	65.2	181.2	1.65	1416	6.7	55.5	614	1623
c95	52.3	8.36	104.7	228.7	1.96	2046	7.0	64.2	856	1889
max	99.8	19.98	162.4	264.0	2.67	4825	12.0	129.5	1856	3297

TABLE 12 – Courgette : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	118	172	170	168	171	170	98	170	172	171
nQ	23	44	21	168	0	170	87	152	17	171
moy	0.0027	0.0095	0.0258	0.489		0.78	0.1119	0.0535	0.0274	3.31
sd	0.0016	0.0060	0.0137	0.192		0.44	0.0567	0.0480	0.0237	2.14
mad	0.0000	0.0037	0.0074	0.193		0.32	0.0445	0.0252	0.0059	1.51
min	0.0020	0.0050	0.0130	0.208		0.07	0.0260	0.0210	0.0100	0.94
c5	0.0020	0.0050	0.0130	0.257		0.35	0.0483	0.0210	0.0100	1.20
c10	0.0020	0.0050	0.0140	0.283		0.38	0.0500	0.0210	0.0106	1.51
c25	0.0020	0.0058	0.0150	0.336		0.48	0.0710	0.0210	0.0120	1.96
med	0.0020	0.0080	0.0200	0.453		0.69	0.1000	0.0380	0.0150	2.98
c75	0.0020	0.0102	0.0360	0.617		0.96	0.1485	0.0600	0.0290	4.00
c90	0.0046	0.0140	0.0500	0.736		1.27	0.1760	0.1193	0.0592	5.80
c95	0.0059	0.0186	0.0510	0.798		1.50	0.2168	0.1545	0.0690	6.83
max	0.0080	0.0340	0.0540	1.250		3.20	0.3600	0.2720	0.0890	17.00

TABLE 13 – Fraise : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	20	21	20	20	19	20	20	20	21	20
nQ	20	21	20	20	17	20	10	20	21	20
moy	34.0	4.59	52.0	201.6	1.79	777	3.0	43.5	503	1405
sd	9.0	1.10	13.0	79.3	0.54	89	0.3	10.5	210	408
mad	5.2	1.04	11.1	57.8	0.53	86	0.4	8.9	144	326
min	12.0	2.20	35.0	25.0	0.50	580	2.6	20.0	74	320
c5	15.8	2.40	35.9	41.1	1.14	618	2.6	20.9	105	668
c10	19.6	2.80	38.7	47.4	1.33	695	2.6	30.9	195	835
c25	33.0	4.00	42.8	178.8	1.42	721	2.7	39.2	430	1204
med	35.5	4.90	49.5	221.5	1.94	786	3.0	45.0	527	1510
c75	40.5	5.50	58.5	257.8	2.05	825	3.3	51.0	624	1674
c90	43.0	5.70	67.6	272.0	2.29	849	3.3	52.5	774	1821
c95	43.1	5.80	73.7	272.1	2.42	868	3.3	57.1	797	1842
max	45.0	5.90	86.0	274.0	2.90	987	3.3	59.0	871	1900

TABLE 14 – Fraise : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	20	21	20	20	19	20	20	20	21	20
nQ	0	10	3	20	0	20	19	9	16	20
moy		0.0243		0.481		1.67	0.1431	0.0689	0.1431	2.12
sd		0.0145		0.127		0.48	0.0638	0.0127	0.0848	1.39
mad		0.0148		0.163		0.59	0.0741	0.0000	0.1186	0.52
min		0.0100	0.0600	0.230		0.85	0.0500	0.0600	0.0500	1.10
c5		0.0100		0.325		0.99	0.0581	0.0600	0.0500	1.19
c10		0.0100		0.348		1.18	0.0678	0.0600	0.0550	1.29
c25		0.0118		0.387		1.30	0.0950	0.0600	0.0675	1.48
med		0.0200	0.0800	0.485		1.70	0.1500	0.0600	0.1500	1.80
c75		0.0300		0.605		1.95	0.1700	0.0700	0.1700	2.05
c90		0.0464		0.651		2.30	0.2260	0.0900	0.2500	3.04
c95		0.0482		0.660		2.31	0.2530	0.0900	0.2725	3.61
max		0.0500	0.0800	0.660		2.60	0.2800	0.0900	0.3400	7.50

TABLE 15 – Framboise : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23
nQ	21	22	23	23	17	23	14	22	23	23
moy	34.4	4.79	51.3	163.9	1.39	741	3.7	42.4	474	1346
sd	12.3	2.31	16.6	98.6	0.59	192	1.7	13.3	301	819
mad	11.9	1.56	16.3	134.9	0.53	95	0.7	8.9	270	931
min	16.0	1.37	18.0	19.0	0.50	197	2.1	11.0	36	88
c5	17.0	1.61	19.6	20.5	0.51	402	2.2	12.4	75	327
c10	20.0	1.83	27.0	25.0	0.55	476	2.4	22.2	97	396
c25	27.0	3.23	43.0	68.0	0.80	686	2.9	36.8	242	622
med	35.0	4.90	52.0	178.0	1.55	815	3.4	48.0	521	1436
c75	41.0	5.78	63.0	250.0	1.87	858	3.9	51.5	635	1814
c90	45.0	6.73	68.8	283.2	1.95	894	4.4	54.0	706	2155
c95	47.0	8.70	74.4	302.9	2.04	915	6.1	54.9	743	2468
max	71.0	11.00	76.0	307.0	2.21	975	9.0	59.0	1400	3382

TABLE 16 – Framboise : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	23	23	23	23	22	23	23	23	23	23
nQ	1	14	2	23	0	23	22	19	5	23
moy		0.0280		0.832		2.02	0.3677	0.1712	0.1906	3.17
sd		0.0245		0.382		0.74	0.1666	0.1381	0.2376	0.87
mad		0.0067		0.326		0.59	0.1779	0.0445	0.0460	0.74
min		0.0100	0.1000	0.250		1.00	0.0600	0.0600	0.0490	1.20
c5		0.0100		0.374		1.01	0.0915	0.0816	0.0520	1.93
c10		0.0127		0.426		1.10	0.1500	0.0888	0.0550	2.22
c25		0.0200		0.600		1.60	0.2700	0.1040	0.0640	2.75
med	0.0700	0.0210		0.780		2.00	0.3750	0.1200	0.0800	3.00
c75		0.0292		0.985		2.55	0.4975	0.1750	0.1500	3.65
c90		0.0300		1.180		2.88	0.5100	0.2380	0.4260	4.20
c95		0.0580		1.290		3.17	0.5195	0.4170	0.5180	4.29
max		0.1100	0.1700	2.100		3.60	0.7800	0.6600	0.6100	5.00

TABLE 17 – Haricot : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	145	213	211	213	212	211	134	211	213	213
nQ	145	202	211	213	188	211	106	200	213	213
moy	19.7	3.43	47.5	79.1	0.56	940	3.3	37.0	287	717
sd	16.0	4.78	21.2	68.5	0.64	707	2.7	17.2	283	630
mad	6.8	2.05	17.7	33.9	0.25	319	0.9	15.1	168	434
min	5.3	0.24	12.0	5.6	0.04	123	1.5	5.1	9	27
c5	7.1	0.43	16.9	16.0	0.06	225	1.7	14.4	27	112
c10	8.3	0.60	25.0	18.8	0.09	394	1.7	18.4	47	150
c25	10.2	0.85	34.2	35.1	0.15	554	2.1	24.9	88	242
med	13.9	2.12	44.4	50.8	0.27	788	2.7	35.4	176	473
c75	20.6	4.47	57.2	100.2	0.64	981	3.3	44.6	439	1055
c90	46.7	5.70	70.7	199.0	1.61	1582	5.2	53.9	661	1600
c95	53.4	9.37	86.9	238.6	2.03	2390	7.1	63.1	798	1878
max	99.8	46.57	162.4	307.0	3.43	4825	24.0	129.5	1856	3692

TABLE 18 – Haricot : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	145	213	211	213	212	211	134	211	213	213
nQ	79	105	124	213	0	211	134	208	117	213
moy	0.0041	0.0123	0.0475	0.627		2.17	0.8484	0.2792	0.0432	4.38
sd	0.0049	0.0158	0.1095	0.441		1.68	1.8221	0.5416	0.0568	3.28
mad	0.0015	0.0030	0.0141	0.199		0.68	0.3047	0.0845	0.0133	1.04
min	0.0020	0.0050	0.0130	0.240		0.60	0.0350	0.0210	0.0100	1.80
c5	0.0020	0.0050	0.0132	0.318		1.08	0.1765	0.0330	0.0100	2.42
c10	0.0020	0.0050	0.0140	0.364		1.20	0.2230	0.0410	0.0110	2.69
c25	0.0020	0.0060	0.0170	0.418		1.42	0.3600	0.0610	0.0160	3.10
med	0.0030	0.0070	0.0245	0.532		1.85	0.5350	0.1000	0.0220	3.70
c75	0.0050	0.0110	0.0493	0.699		2.44	0.8595	0.2445	0.0360	4.59
c90	0.0062	0.0220	0.0800	0.958		3.28	1.2000	0.4495	0.1000	5.98
c95	0.0101	0.0324	0.1000	1.100		4.00	1.3535	1.3650	0.1592	7.96
max	0.0410	0.1100	1.2000	5.400		22.00	19.0000	3.5000	0.3500	43.00

TABLE 19 – Menthe : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	20	22	20	20	20	20	20	20	22	20
nQ	20	22	20	20	19	20	11	20	22	20
moy	35.4	3.83	50.5	144.8	1.07	834	3.1	43.8	370	1144
sd	14.2	1.55	10.8	76.9	0.42	112	0.7	9.8	204	540
mad	10.4	1.33	13.3	127.5	0.42	93	0.9	8.9	133	511
min	20.0	1.80	31.0	25.0	0.50	601	2.1	21.0	74	320
c5	20.9	1.82	31.0	53.5	0.53	619	2.1	25.8	86	554
c10	23.7	2.31	34.6	55.0	0.59	738	2.2	26.0	163	566
c25	26.2	2.90	46.0	65.5	0.80	780	2.7	39.8	249	703
med	31.0	3.25	50.0	156.5	0.88	824	3.2	46.5	332	1046
c75	40.5	4.90	60.2	184.2	1.40	899	3.6	51.0	460	1441
c90	49.4	5.64	62.0	247.2	1.51	978	4.0	53.1	588	1721
c95	71.0	5.70	62.4	267.0	1.90	1002	4.1	54.0	778	1910
max	71.0	8.30	69.0	267.0	1.90	1038	4.2	55.0	872	2510

TABLE 20 – Menthe : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	20	22	20	20	20	20	20	20	22	20
nQ	9	12	19	20	11	20	20	20	22	20
moy	0.4433	0.0868	0.6547	3.651	0.0267	18.20	1.2640	0.5710	2.4713	42.99
sd	0.5170	0.1027	0.6735	2.429	0.0252	12.06	1.2119	0.6092	5.1935	56.28
mad	0.0890	0.0378	0.1927	1.208	0.0074	12.68	0.3188	0.2150	0.3039	15.57
min	0.0500	0.0100	0.1200	1.400	0.0060	3.60	0.1900	0.0900	0.0990	7.20
c5	0.0700	0.0100	0.1830	1.495	0.0065	5.03	0.2375	0.1185	0.1670	7.58
c10	0.0900	0.0110	0.2220	1.680	0.0070	5.73	0.4020	0.1290	0.3020	8.86
c25	0.1100	0.0275	0.3100	2.025	0.0085	8.30	0.5575	0.2125	0.3625	13.00
med	0.1600	0.0405	0.3900	2.800	0.0120	14.50	0.7600	0.2850	0.5350	20.00
c75	0.6500	0.1175	0.6900	3.607	0.0445	28.00	1.2075	0.7350	0.8700	39.00
c90	1.3000	0.1700	1.5000	7.900	0.0690	31.80	3.6100	1.9000	5.8000	83.30
c95	1.3000	0.2555	1.6400	8.800	0.0690	39.15	3.7200	1.9000	17.4050	161.50
max	1.3000	0.3600	2.9000	8.800	0.0690	42.00	4.1000	1.9000	18.0000	228.00

TABLE 21 – Persil : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	26	29	26	26	26	26	26	26	29	26
nQ	21	27	26	26	16	26	10	24	29	26
moy	24.7	3.20	53.5	103.5	1.51	723	4.1	37.8	263	811
sd	9.9	1.94	23.9	74.2	0.89	235	2.6	12.3	198	618
mad	7.4	1.84	19.3	94.1	0.94	204	0.9	10.4	242	476
min	8.6	0.51	18.0	16.0	0.50	197	2.1	11.0	25	88
c5	11.0	1.16	19.8	17.2	0.51	220	2.1	19.1	36	91
c10	13.0	1.30	26.5	19.0	0.54	375	2.2	20.3	52	125
c25	18.0	1.70	39.2	35.5	0.77	628	2.6	26.2	74	336
med	23.0	2.64	47.5	101.5	1.44	798	3.0	43.0	257	641
c75	30.0	4.40	68.0	140.2	1.94	900	3.6	47.2	399	1116
c90	35.0	5.58	86.5	207.5	2.17	969	9.0	49.7	531	1790
c95	44.0	6.47	87.8	243.2	2.65	974	9.0	50.9	610	2001
max	47.0	8.60	113.0	252.0	4.00	984	9.0	52.0	747	2064

TABLE 22 – Persil : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	26	29	26	26	26	26	26	26	29	26
nQ	9	29	26	26	8	26	26	26	28	26
moy	0.1644	0.1019	0.5053	1.988	0.0151	15.21	0.9881	0.4341	1.0882	34.39
sd	0.1060	0.0974	0.7062	1.483	0.0113	9.23	0.7542	0.4194	1.5020	32.24
mad	0.0593	0.0712	0.1631	0.593	0.0052	7.04	0.5560	0.2372	0.4374	18.09
min	0.0600	0.0170	0.0780	0.800	0.0070	4.40	0.1300	0.0600	0.0940	5.80
c5	0.0640	0.0182	0.1025	1.025	0.0070	5.68	0.2575	0.0970	0.1051	7.93
c10	0.0680	0.0200	0.1150	1.150	0.0070	6.75	0.3150	0.1050	0.1410	10.10
c25	0.0800	0.0360	0.1725	1.300	0.0077	8.20	0.5725	0.1625	0.2100	14.25
med	0.1000	0.0880	0.2500	1.700	0.0110	12.00	0.7900	0.3100	0.4850	20.50
c75	0.2500	0.1200	0.4300	2.175	0.0160	22.00	1.2000	0.5550	1.0550	36.75
c90	0.2820	0.1820	1.0050	2.400	0.0292	29.00	1.8000	0.8700	2.9100	67.00
c95	0.3060	0.2440	1.6500	2.850	0.0341	31.75	2.8000	1.0750	3.7900	95.25
max	0.3300	0.4900	3.4000	8.800	0.0390	37.00	3.1000	2.0000	6.6000	146.00

TABLE 23 – Poireau : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	22	25	21	21	21	21	21	21	25	21
nQ	20	23	21	21	11	21	4	20	25	21
moy	23.2	3.82	55.8	77.6	1.72	985	4.3	37.0	314	1248
sd	9.6	3.64	26.4	58.4	1.24	755	3.2	16.6	325	2178
mad	7.4	1.60	19.3	54.9	1.11	200	0.7	12.6	178	474
min	8.6	0.80	18.0	14.0	0.50	197	2.1	12.0	22	88
c5	10.9	1.11	25.0	20.0	0.53	470	2.2	18.7	42	96
c10	11.9	1.24	35.0	22.0	0.57	620	2.4	19.9	68	190
c25	17.8	1.95	36.0	29.0	0.87	707	2.8	21.0	110	450
med	22.5	2.78	49.0	57.0	1.40	815	3.0	42.0	250	640
c75	28.0	4.30	65.0	109.0	1.95	969	4.6	47.0	286	968
c90	34.3	6.58	87.0	136.0	4.00	1400	7.2	50.1	706	2042
c95	37.5	8.42	113.0	170.0	4.00	1408	8.1	52.5	978	2064
max	47.0	18.00	113.0	230.0	4.00	4070	9.0	80.0	1400	10387

TABLE 24 – Poireau : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	22	25	21	21	21	21	21	21	25	21
nQ	1	23	9	21	1	21	17	11	13	21
moy		0.0589	0.0933	0.759		3.06	0.1650	0.1327	0.1505	6.43
sd		0.0454	0.0418	0.373		4.87	0.1339	0.1581	0.1304	3.57
mad		0.0282	0.0445	0.222		0.44	0.0741	0.0297	0.0652	2.52
min		0.0220	0.0500	0.310		1.10	0.0500	0.0500	0.0500	2.80
c5		0.0241	0.0500	0.340		1.20	0.0660	0.0550	0.0500	3.00
c10		0.0250	0.0500	0.350		1.20	0.0700	0.0600	0.0512	3.40
c25		0.0265	0.0600	0.540		1.60	0.0700	0.0600	0.0600	4.10
med	0.1700	0.0440	0.0800	0.690	0.0590	1.80	0.1200	0.0800	0.1000	5.30
c75		0.0795	0.1400	0.770		2.20	0.1800	0.1150	0.1500	7.50
c90		0.0900	0.1420	1.400		3.50	0.3160	0.1500	0.3400	10.00
c95		0.0900	0.1460	1.500		4.80	0.4720	0.3750	0.4000	12.00
max		0.2300	0.1500	1.600		24.00	0.5200	0.6000	0.4600	18.00

TABLE 25 – Poivron : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
nQ	13	16	24	24	12	24	11	13	24	24
moy	33.5	5.49	35.4	125.8	1.70	487	3.4	46.2	333	1024
sd	4.2	5.16	23.7	108.2	0.44	306	1.9	7.5	303	910
mad	3.0	0.96	34.1	160.9	0.22	108	0.1	4.4	525	1142
min	26.0	0.57	10.0	14.0	0.56	130	2.5	29.0	24	88
c5	26.6	0.65	11.0	15.2	0.94	142	2.5	33.2	25	143
c10	27.2	0.72	11.0	16.0	1.27	150	2.6	36.6	26	163
c25	31.0	4.05	12.0	19.5	1.64	168	2.8	44.0	34	198
med	35.0	5.05	37.5	124.5	1.85	738	2.9	50.0	395	1192
c75	37.0	5.22	56.2	242.5	1.95	756	3.0	52.0	632	1700
c90	37.0	7.43	59.7	251.4	2.00	780	3.3	52.0	677	1770
c95	37.0	12.78	65.1	258.8	2.06	801	6.1	52.4	765	1800
max	37.0	23.00	86.0	260.0	2.14	816	9.0	53.0	828	3692

TABLE 26 – Poivron : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
nQ	0	13	4	24	0	24	7	19	3	24
moy		0.0248	0.1015	1.090		2.44	0.1133	0.3863		4.01
sd		0.0092	0.0327	0.531		1.40	0.0659	0.4214		2.06
mad		0.0089	0.0082	0.526		1.41	0.0415	0.1334		2.15
min		0.0140	0.0790	0.320		0.38	0.0610	0.0500	0.0600	1.00
c5		0.0146	0.0802	0.513		0.65	0.0613	0.0950		1.66
c10		0.0150	0.0814	0.533		0.77	0.0616	0.1160		2.00
c25		0.0180	0.0850	0.628		1.37	0.0760	0.1650		2.40
med		0.0240	0.0885	1.045		2.30	0.0900	0.2100	0.1100	3.95
c75		0.0300	0.1050	1.325		3.23	0.1200	0.5150		5.05
c90		0.0380	0.1320	1.820		4.45	0.1840	0.6680		6.80
c95		0.0408	0.1410	2.170		4.60	0.2170	0.8560		7.82
max		0.0420	0.1500	2.300		5.80	0.2500	1.9000	0.2200	9.10

TABLE 27 – Pomme de terre : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	108	153	147	149	149	148	88	149	153	149
nQ	108	152	147	149	138	148	69	148	153	149
moy	21.4	3.30	50.3	76.1	0.59	1026	3.1	37.7	327	780
sd	17.0	3.59	22.4	60.0	0.69	713	1.7	17.7	382	699
mad	6.9	2.39	17.8	32.0	0.25	345	1.0	16.3	199	428
min	5.7	0.26	15.3	14.1	0.04	197	1.5	7.4	23	61
c5	7.3	0.45	23.8	19.8	0.06	415	1.6	16.4	52	134
c10	8.6	0.61	27.6	23.4	0.08	480	1.7	19.8	67	200
c25	10.9	0.86	35.2	37.0	0.15	604	2.1	24.7	110	284
med	14.3	2.46	46.0	53.2	0.26	816	2.7	35.2	212	519
c75	23.4	4.20	59.0	98.1	0.63	1106	3.4	47.0	451	1049
c90	48.3	6.93	78.5	153.5	1.80	1921	4.9	55.6	657	1736
c95	63.0	9.54	88.2	214.8	2.14	2674	6.9	65.4	797	2075
max	83.0	22.26	162.4	272.0	3.50	4611	10.1	129.5	3434	4261

TABLE 28 – Pomme de terre : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	108	153	147	149	149	148	88	149	153	149
nQ	55	147	17	149	1	148	87	126	49	149
moy	0.0029	0.0452	0.0364	1.304		1.21	0.3201	0.0470	0.0443	4.24
sd	0.0013	0.0526	0.0192	0.446		0.32	0.1876	0.0629	0.0341	1.78
mad	0.0000	0.0222	0.0237	0.445		0.29	0.1705	0.0000	0.0237	1.02
min	0.0020	0.0050	0.0130	0.370		0.47	0.0430	0.0210	0.0100	1.10
c5	0.0020	0.0073	0.0138	0.696		0.81	0.1090	0.0210	0.0114	2.53
c10	0.0020	0.0086	0.0140	0.745		0.86	0.1396	0.0210	0.0120	2.87
c25	0.0020	0.0155	0.0160	0.990		1.00	0.1700	0.0210	0.0160	3.20
med	0.0020	0.0300	0.0370	1.200	0.0070	1.19	0.2750	0.0210	0.0280	3.73
c75	0.0030	0.0490	0.0500	1.600		1.38	0.4500	0.0445	0.0660	4.89
c90	0.0040	0.1094	0.0620	1.942		1.62	0.6006	0.0900	0.0920	5.93
c95	0.0050	0.1335	0.0650	2.100		1.81	0.6740	0.1273	0.1100	7.33
max	0.0080	0.3700	0.0650	2.500		2.37	0.8590	0.4930	0.1400	16.20

TABLE 29 – Salade : analyses de sols du jeu de données sol-plante (mg/kg MS).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	189	277	263	262	263	262	153	264	276	264
nQ	189	275	263	262	226	262	107	263	276	264
moy	19.5	3.27	47.7	68.6	0.50	919	3.5	34.2	273	685
sd	15.4	4.47	20.7	54.5	0.55	640	2.8	15.2	280	608
mad	6.3	1.76	16.4	31.5	0.22	315	1.2	13.6	153	360
min	5.7	0.24	15.3	14.0	0.04	197	1.5	2.0	22	61
c5	7.5	0.49	25.0	17.0	0.07	382	1.6	14.8	50	119
c10	8.6	0.61	27.7	20.0	0.09	460	1.7	17.7	59	166
c25	10.6	1.01	33.7	33.0	0.15	561	2.0	23.4	85	246
med	14.0	1.96	43.4	49.7	0.27	762	2.8	32.0	169	449
c75	21.0	3.70	56.0	88.0	0.52	978	3.5	42.2	390	969
c90	40.5	5.90	74.3	141.0	1.40	1421	6.5	51.8	601	1515
c95	53.1	9.37	88.0	207.5	1.73	2196	7.6	59.5	791	1873
max	99.8	46.57	162.4	264.0	2.61	4825	24.0	105.3	1856	3692

TABLE 30 – Salade : analyses de plantes du jeu de données sol-plante (mg/kg MF).

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
n	189	277	263	262	263	262	153	264	276	264
nQ	188	271	248	262	26	262	134	261	268	264
moy	0.0190	0.1369	0.1155	0.700	0.0056	4.18	0.1942	0.0976	0.2554	8.61
sd	0.0217	0.1894	0.1284	0.453	0.0060	4.95	0.2054	0.1380	0.3992	10.68
mad	0.0104	0.0712	0.0586	0.291	0.0030	1.95	0.1105	0.0549	0.1119	3.71
min	0.0020	0.0050	0.0140	0.210	0.0020	0.57	0.0140	0.0210	0.0120	1.41
c5	0.0030	0.0120	0.0204	0.283	0.0020	0.91	0.0310	0.0210	0.0204	1.90
c10	0.0040	0.0160	0.0254	0.310	0.0020	1.33	0.0400	0.0210	0.0300	2.29
c25	0.0070	0.0300	0.0377	0.401	0.0020	1.85	0.0695	0.0330	0.0550	3.48
med	0.0120	0.0680	0.0715	0.564	0.0040	2.88	0.1290	0.0580	0.1150	5.20
c75	0.0240	0.1650	0.1455	0.860	0.0058	4.78	0.2530	0.1070	0.2600	9.36
c90	0.0403	0.3090	0.2400	1.200	0.0105	7.49	0.3691	0.2100	0.6012	18.07
c95	0.0556	0.4885	0.3663	1.466	0.0165	11.00	0.6105	0.2700	1.0000	25.68
max	0.1780	1.3500	1.0000	3.100	0.0290	63.00	1.2000	1.6000	2.6600	107.00

2 Modélisation des transferts sol-plante

2.1 Méthode statistique utilisée et choix des modèles

La méthodologie suivie est similaire à celle réalisée lors des précédents travaux portant sur la modélisation des transferts sol-plantes réalisés dans le cadre de l'élaboration de l'outil SANISOL⁶.

Une transformation logarithmique a été appliquée aux données (logarithme en base 10) car les teneurs en métaux dans les sols et dans les plantes suivent une distribution qui s'approche d'une distribution log-normale. Cette transformation présente l'avantage de mieux respecter les hypothèses de la régression linéaire (exogénéité des variables explicatives, normalité des termes d'erreur,...). Le modèle construit à partir de variables ayant subi une transformation logarithmique fournit un modèle avec un intercept nul après transformation inverse de celui-ci (par ex. : $\log(Y) = a + b \times \log(X)$ back-transformé donne une équation de type $Y = 10^{(a+b \times \log(X))}$). Pour une teneur dans le sol proche de 0, les concentrations prédites dans la plante prendront donc une valeur proche de 0.

Du jeu de données constitué par les enregistrements disponibles pour modéliser un couple métal-plante, le choix a été pris de ne pas considérer les mesures non quantifiées (inférieures à la limite de quantification⁷). Une autre option aurait été de remplacer ces mesures non quantifiées par une valeur de remplacement (typiquement la valeur de la limite de quantification multipliée par 0.5, 0.7 ou 1). Cette option n'a pas été retenue pour les deux raisons suivantes. La première est que la valeur choisie pour remplacer la valeur non quantifiée peut influencer fortement le résultat de la modélisation, d'autant plus fortement que la quantité de données non quantifiées est importante dans le jeu de données à modéliser. L'autre raison est que le remplacement des valeurs non quantifiées par une valeur de remplacement fournirait un résultat incohérent dans le cas du rassemblement de jeux de données avec des limites de quantifications différentes. Dans les enregistrements disponibles pour modéliser les transferts sol-plante, les valeurs des limites de quantification diffèrent souvent d'un facteur 10 selon le laboratoire qui a produit la mesure.

Le calcul des modèles de régression a été effectuée en trois étapes. Les valeurs aberrantes multivariées ont d'abord été éliminées pour créer un ensemble de données robuste en utilisant une méthode qui repose sur l'estimation d'une matrice de covariance robuste comme décrite par Filmozer et al. (2005)⁸. L'algorithme *leaps-and-bounds* a ensuite été utilisé (voir le package *leaps*⁹ du logiciel libre R) pour identifier les principales variables

6. Voir : Benoît Pereira, Johan Wolter, Aubry Vandeuren et Pierre Delmelle, 2019. Rapport final de la convention intitulée : « Optimisation des modèles de transfert sol-plante en Wallonie pour l'aide à la détermination de recommandations concernant la production de biomasse alimentaire sur un sol contaminé ».

7. Elle correspond au seuil en dessous duquel aucune valeur numérique n'est fournie par le laboratoire, car celui-ci estime que l'imprécision relative de la mesure sous ce seuil est trop grande

8. Filzmoser, P., Garrett, R. G., & Reimann, C. (2005). Multivariate outlier detection in exploration geochemistry. *Computers & geosciences*, 31(5), 579-587.

9. Lumley, T., & Lumley, M. T. (2013). Package 'leaps'. Regression Subset Selection. Thomas Lumley Based on Fortran Code by Alan Miller. Available online : <http://CRAN.R-project.org/package=leaps>

explicatives des teneurs dans la plante. Dans cet algorithme, le *Bayesian Information Criterion* (BIC) et le coefficient de détermination du modèle (R^2) sont calculés et utilisés pour déterminer, parmi tous les modèles possibles, celui qui donne la plus grande puissance de prédiction et la plus faible erreur de prédiction. Enfin, le modèle de prédiction du contenu en métal de la plante à partir des variables « sol » sélectionnées par l'algorithme *leaps-and-bounds* a été calculé à partir de l'ensemble des données disponibles pour le couple métal-plante en utilisant la procédure de régression linéaire robuste *lmrob* du package *robustbase*¹⁰ du logiciel libre R.

Pour un couple métal-plante, les modèles sont présentés uniquement si le coefficient de détermination (R^2) du modèle est supérieur à 0.2. Tous les modèles sont hautement statistiquement significatifs ($pvalue < 0.001$) et toutes les variables explicatives modèles ont une valeur statistiquement différente de 0 ($pvalue < 0.05$). Pour chaque modèle, le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur moyenne exprimée en valeur absolue sont fournis comme indicateurs de qualité du modèle. De plus, la gamme des teneurs mesurées dans les sols du jeu de données utilisé pour la modélisation permet d'apprécier le domaine de validité du modèle de transfert sol-plante.

2.2 Présentation des modèles et qualité de la prédiction

Abréviations utilisées dans les tables :

Modèle : modèle linéaire prédictif des concentrations en métaux dans la plante (*vg* ; en mg/kg MF). Outre les concentrations du sol (en mg/kg MS), le modèle peut comporter les variables explicatives suivantes : le *pH* (pH KCl), la *MO* (matière organique, en % MS) et le *Fe* (en % MS).

R^2 : coefficient de détermination du modèle de régression linéaire.

n : nombre de données du jeu de données complet.

nq : nombre de données du jeu de données contenant uniquement des mesures de sol et plante supérieures aux limites de quantification analytique et qui sont retenues pour l'établissement du modèle.

Er. (ppm) : erreur absolue moyenne d'estimation des teneurs dans la plante à l'aide du modèle prédictif, exprimé en mg/kg de matière fraîche.

Vg med. : médiane des teneurs mesurées dans les végétaux du jeu de données utilisé pour la modélisation, exprimée en mg/kg de matière fraîche.

Vg gam. : gamme des teneurs mesurées dans les végétaux du jeu de données utilisé pour la modélisation, exprimée en mg/kg de matière fraîche.

Sol med. : médiane des teneurs mesurées dans les sols du jeu de données utilisé pour la modélisation, exprimée en mg/kg de matière sèche.

Vg gam. : gamme des teneurs mesurées dans les sols du jeu de données utilisé pour la modélisation, exprimée en mg/kg de matière sèche.

10. Rousseeuw, P., Croux, C., Todorov, V., Ruckstuhl, A., Salibián-Barrera, M., Verbeke, T., ... & Maechler, M. (2009). Robustbase : basic robust statistics. URL <http://CRAN.R-project.org/package=robustbase>.

TABLE 31 – Arsenic : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.91 + 0.532 \log_{10}(\text{As})$	0.00521	0.36	121	118	0.006	0.002 - 0.022	14.8	5.98 - 99.8
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.75 + 0.255 \log_{10}(\text{As}) - 0.0223 \text{ C} + 0.151 \log_{10}(\text{Fe})$	0.00242	0.29	145	79	0.003	0.002 - 0.01	15.9	5.29 - 83
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.51 + 0.665 \log_{10}(\text{As}) - 0.0284 \text{ C}$	0.02190	0.24	189	188	0.011	0.002 - 0.089	14.0	5.7 - 99.8

TABLE 32 – Cadmium : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Bette	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.04 + 0.605 \log_{10}(\text{Cd})$	0.14300	0.43	39	38	0.2300	0.049 - 1	4.40	0.51 - 23
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.92 + 0.618 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.383 \text{ pH}$	0.08310	0.60	174	172	0.0500	0.005 - 0.44	2.10	0.244 - 46.6
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.94 + 0.135 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.0258 \text{ C}$	0.00747	0.20	202	104	0.0070	0.005 - 0.028	1.93	0.244 - 46.6
Persil	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.39 + 0.94 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.4 \text{ pH} - 0.0826 \text{ C}$	0.06410	0.79	27	27	0.0940	0.017 - 0.49	2.62	0.51 - 8.6
Po. de terre	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.078 + 0.613 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.261 \text{ pH}$	0.03440	0.68	152	147	0.0270	0.005 - 0.255	2.62	0.255 - 22.3
Poireau	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.857 + 0.283 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.12 \text{ C}$	0.02840	0.62	23	21	0.0420	0.022 - 0.09	2.78	0.8 - 8.6
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.43 + 0.648 \log_{10}(\text{Cd}) - 0.434 \text{ pH}$	0.19200	0.53	275	268	0.0695	0.006 - 1.35	2.11	0.244 - 46.6

TABLE 33 – Chrome : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.653 + 0.346 \log_{10}(\text{Cr}) - 0.196 \text{ pH} - 0.0326 \text{ C}$	0.0314	0.27	172	81	0.022	0.013 - 0.12	48.0	19.3 - 128
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.77 + 0.218 \log_{10}(\text{Cr}) - 0.0323 \text{ C}$	0.0154	0.25	147	100	0.022	0.013 - 0.057	45.2	16.9 - 117
Persil	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.74 + 1.18 \log_{10}(\text{Cr}) + 0.0211 \text{ C}$	0.3360	0.43	28	26	0.210	0.078 - 1.2	48.0	18 - 113
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.633 + 0.449 \log_{10}(\text{Cr}) - 0.136 \text{ pH} - 0.0521 \text{ C}$	0.1390	0.25	270	247	0.070	0.014 - 0.63	43.1	15.3 - 162

TABLE 34 – Cuivre : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.199 + 0.182 \log_{10}(\text{Cu}) - 0.0608 \text{ pH} - 0.0108 \text{ C}$	0.187	0.29	174	170	0.454	0.238 - 0.82	53.6	14 - 270
Chou	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.893 + 0.621 \log_{10}(\text{Cu}) - 0.0827 \text{ C}$	0.345	0.54	43	39	0.615	0.23 - 1.8	48.0	14 - 260
Fraise	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.31 + 0.373 \log_{10}(\text{Cu}) - 0.188 \text{ pH} - 0.0602 \text{ C}$	0.141	0.58	20	20	0.485	0.23 - 0.66	238.0	25 - 274
Persil	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.357 + 0.195 \log_{10}(\text{Cu}) - 0.0836 \text{ pH}$	0.628	0.37	28	26	1.650	0.8 - 2.4	101.0	16 - 252
Po. de terre	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.392 + 0.23 \log_{10}(\text{Cu}) - 0.0983 \text{ pH} - 0.008 \text{ C}$	0.556	0.39	150	149	1.250	0.44 - 2.5	51.3	14.1 - 272
Poivron	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.34 + 0.932 \log_{10}(\text{Cu}) + 0.0381 \text{ C}$	0.575	0.57	24	24	1.040	0.51 - 2.3	173.0	14 - 260

TABLE 35 – Nickel : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.539 + 0.318 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.303 \text{ pH} - 0.0415 \text{ C}$	0.0563	0.65	174	99	0.0660	0.03 - 0.438	38.1	14 - 129
Chou	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.226 + 0.0433 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.14 \text{ pH}$	0.0708	0.35	43	32	0.1000	0.059 - 0.29	35.0	11 - 56
Courgette	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.7 + 0.242 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.112 \text{ pH} - 0.0299 \text{ C}$	0.0394	0.34	169	91	0.0555	0.03 - 0.222	39.0	2 - 129
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.763 + 0.563 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.336 \text{ pH} - 0.0576 \text{ C}$	0.1240	0.56	200	193	0.0900	0.03 - 0.72	35.9	5.09 - 129
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.204 + 0.391 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.198 \text{ pH} - 0.035 \text{ C}$	0.1000	0.34	270	207	0.0740	0.03 - 0.44	33.7	2 - 105

TABLE 36 – Manganèse : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.459 + 0.365 \log_{10}(\text{Mn}) - 0.228 \text{ pH} - 0.0156 \text{ C}$	0.545	0.46	173	169	0.860	0.354 - 4.39	800	308 - 4830
Courgette	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.361 + 0.17 \log_{10}(\text{Mn}) - 0.159 \text{ pH}$	0.412	0.28	122	122	0.668	0.317 - 2.37	854	123 - 4830
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.403 + 0.369 \log_{10}(\text{Mn}) - 0.052 \text{ pH} - 0.282 \log_{10}(\text{Fe})$	0.683	0.24	147	147	1.590	0.857 - 3.6	824	123 - 4830
Poivron	$\log_{10}(\text{Vg}) = 3.09 + 0.678 \log_{10}(\text{Mn}) - 0.799 \text{ pH}$	1.410	0.78	24	24	2.300	0.38 - 5.8	740	140 - 816
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.6 + 0.44 \log_{10}(\text{Mn}) - 0.178 \text{ pH} - 0.038 \text{ C}$	3.770	0.30	269	261	2.800	0.567 - 17.5	776	204 - 4830

TABLE 37 – Molibdène : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.08 + 0.401 \log_{10}(\text{Mo}) - 0.0201 \text{ C} - 0.456 \log_{10}(\text{Fe})$	0.0362	0.32	59	54	0.042	0.023 - 0.215	2.76	1.52 - 24
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.93 + 0.253 \log_{10}(\text{Mo}) + 0.469 \text{ pH} - 0.865 \log_{10}(\text{Fe})$	0.4880	0.64	70	70	0.630	0.035 - 2.63	2.58	1.5 - 24
Po. de terre	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.75 + 0.595 \log_{10}(\text{Mo}) + 0.196 \text{ pH} - 0.569 \log_{10}(\text{Fe})$	0.2350	0.37	51	51	0.282	0.043 - 0.714	2.63	1.5 - 10.1
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -4.03 + 0.31 \log_{10}(\text{Mo}) + 0.446 \text{ pH}$	0.2060	0.30	81	78	0.124	0.023 - 1.02	2.60	1.5 - 24

TABLE 38 – Nickel : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.539 + 0.318 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.303 \text{ pH} - 0.0415 \text{ C}$	0.0563	0.65	174	99	0.0660	0.03 - 0.438	38.1	14 - 129
Chou	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.226 + 0.0433 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.14 \text{ pH}$	0.0708	0.35	43	32	0.1000	0.059 - 0.29	35.0	11 - 56
Courgette	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.7 + 0.242 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.112 \text{ pH} - 0.0299 \text{ C}$	0.0394	0.34	169	91	0.0555	0.03 - 0.222	39.0	2 - 129
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.763 + 0.563 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.336 \text{ pH} - 0.0576 \text{ C}$	0.1240	0.56	200	193	0.0900	0.03 - 0.72	35.9	5.09 - 129
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -0.204 + 0.391 \log_{10}(\text{Ni}) - 0.198 \text{ pH} - 0.035 \text{ C}$	0.1000	0.34	270	207	0.0740	0.03 - 0.44	33.7	2 - 105

TABLE 39 – Plomb : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Bette	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.83 + 0.517 \log_{10}(\text{Pb})$	0.5190	0.26	42	36	0.255	0.053 - 1.8	400	36 - 828
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.55 + 0.886 \log_{10}(\text{Pb}) - 0.225 \text{ pH} - 0.0457 \text{ C}$	0.0981	0.73	175	155	0.059	0.01 - 1.2	201	22.6 - 1860
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.53 + 0.544 \log_{10}(\text{Pb}) - 0.14 \text{ pH} - 0.0532 \text{ C}$	0.0398	0.46	213	117	0.022	0.01 - 0.19	226	22.6 - 1860
Menthe	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.88 + 0.633 \log_{10}(\text{Pb})$	0.5380	0.28	22	22	0.390	0.099 - 3.1	322	74 - 872
Persil	$\log_{10}(\text{Vg}) = -2.72 + 0.547 \log_{10}(\text{Pb}) + 0.187 \text{ pH}$	1.5100	0.48	29	28	0.475	0.094 - 4	251	25 - 747
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.5 + 0.716 \log_{10}(\text{Pb}) - 0.115 \text{ pH} - 0.0466 \text{ C}$	0.3040	0.38	276	267	0.100	0.012 - 2.1	162	21.8 - 1860

TABLE 40 – Zinc : modèles de transferts sol-plante

	Modèle	Er. (ppm)	R ²	n	nQ	Vg med.	Vg gam.	Sol med.	Sol gam.
Bette	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.35 + 0.692 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.287 \text{ pH}$	53.30	0.63	42	40	47.00	3.7 - 125	1070	88 - 3690
Carotte	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.24 + 0.345 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.245 \text{ pH} - 0.0116 \text{ C}$	1.96	0.66	174	170	3.09	1.12 - 15.9	504	66.5 - 3690
Courgette	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1 + 0.204 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.172 \text{ pH}$	1.88	0.33	171	171	2.98	0.985 - 8	640	27.4 - 3300
Haricot	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.845 + 0.121 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.097 \text{ pH} + 0.00377 \text{ C}$	1.66	0.24	213	213	3.66	1.8 - 9.7	481	27.4 - 3690
Menthe	$\log_{10}(\text{Vg}) = -1.39 + 1.23 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.143 \text{ pH}$	34.90	0.59	21	20	19.00	7.2 - 158	1050	320 - 2510
Persil	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.4 + 1.13 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.555 \text{ pH} + 0.053 \text{ C}$	23.70	0.78	28	26	20.00	5.8 - 146	627	88 - 2060
Po. de terre	$\log_{10}(\text{Vg}) = 0.653 + 0.155 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.0826 \text{ pH} + 0.00641 \text{ C}$	1.40	0.40	150	149	3.67	2.18 - 7.75	506	61.4 - 3760
Poireau	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.49 + 0.249 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.259 \text{ pH} + 0.031 \text{ C}$	1.30	0.83	23	20	5.10	2.8 - 10	627	88 - 2060
Poivron	$\log_{10}(\text{Vg}) = 3.32 + 0.355 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.609 \text{ pH} - 0.0182 \text{ C}$	1.96	0.55	24	24	4.20	1.6 - 9.1	1280	140 - 3690
Salade	$\log_{10}(\text{Vg}) = 1.19 + 0.402 \log_{10}(\text{Zn}) - 0.225 \text{ pH} - 0.0129 \text{ C}$	8.16	0.36	271	263	5.10	1.41 - 40.6	452	61.4 - 3690

3 Détermination des teneurs dans la plante dans l'outil SANISOL

3.1 Principe général

Les choix réalisés pour la détermination des teneurs dans la plante dans l'outil SANISOL sont illustrés sous forme graphique dans l'arbre de décision de la Figure 1. En partant de la gauche, l'arbre commence par la question « $N > 20$ », soit s'agit-il d'un des 14 végétaux pour lesquels nous disposons de 20 mesures (quantifiées ou non) à la fois dans le sol et dans la plante ($N > 20$) ? Si la réponse à cette question est positive (« oui » : flèche verte), on se dirige vers la partie haute de l'arbre de décision. Dans ce cas, la détermination des teneurs dans la plante concernera à la fois la partie 1 et la partie 2 de l'outil SANISOL. Si la réponse à cette question est négative (« non » : flèche rouge), on se dirige vers la partie basse de l'arbre de décision. Dans ce cas, la détermination des teneurs dans la plante concernera uniquement la partie 1 de l'outil SANISOL, car aucune information n'est donnée en partie 2 lorsque nous disposons de moins de 20 mesures (quantifiées ou non) à la fois dans le sol et dans la plante ($N < 20$).

Dans le cas d'une réponse positive à « $N > 20$ », si un modèle de transfert sol-plante existe (« Modèle ? »), l'outil SANISOL utilisera le résultat de ce modèle pour la détermination des teneurs dans la plante. S'il n'existe pas de modèle (« non » : flèche rouge), l'outil SANISOL utilisera alors le résultat d'une « règle de détermination des teneurs dans la plante » numérotées de 1 à 11 et explicitées dans la section suivante. Ces règles sont principalement motivées par le souhait de disposer d'une teneur en métal pour le végétal produit dans un potager wallon en l'absence de modèle prédictif basé sur les caractéristiques du sol. En présence d'une proportion faible de valeurs non quantifiées ($< 50\%$ LQ) et de suffisamment de mesures quantifiées ($nQ \geq 20$) dans le jeu de données de mesures sol-plante, les règles 1 ou 2 sont appliquées. Les règles 7 à 10 concernent la prédiction des teneurs en Pb et Cd pour une série de fruits/légumes et sont établies sur base du principe de précaution (« Pb ou Cd ? Principe de précaution ? »). Pour les quelques cas concernés (voir section 3.3), les teneurs prédites dans la plante sont légèrement surestimées par rapport à ce qu'on pourrait estimer à partir de l'inspection des données sol-plante disponibles. Ces choix ont été posés étant donné les risques sanitaires présentés par l'exposition à Cd et Pb.

Dans le cas d'une réponse négative à « $N > 20$ », si une plante modèle/substitut existe (« plante modèle/substitut ? »), l'outil SANISOL utilisera le résultat que fournirait la plante modèle/substitut correspondant(e) pour la détermination des teneurs dans la plante. Les plantes modèle/substituts ont été déterminées sur base de l'avis des différents partenaires de la subvention SANISOL versés dans la matière (ULg-GxABT, Laboratoire Provincial de Liège, SPAQuE, SPW-DGO3). Les plantes modèles sont les suivantes :

la carotte pour les légumes-racines (radis, salsifis/panais, betterave rouge et navet) ;

la salade (laitue) pour les légumes-feuilles (mâche, chicon, épinard et chicorée) ;

la **courgette** pour les légumes-fruits (concombre, courge et potiron) ;

le **chou** pour le chou-fleur, le brocoli et le chou de Bruxelles.

Si $N < 20$ et qu'il n'existe pas de plante modèle/substitut, les teneurs dans la plante seront déterminées comme étant équivalentes à la concentration en métal attendue dans un produit du commerce (déterminé par SPAQUE¹¹ sur base de la compilation de plusieurs sources).

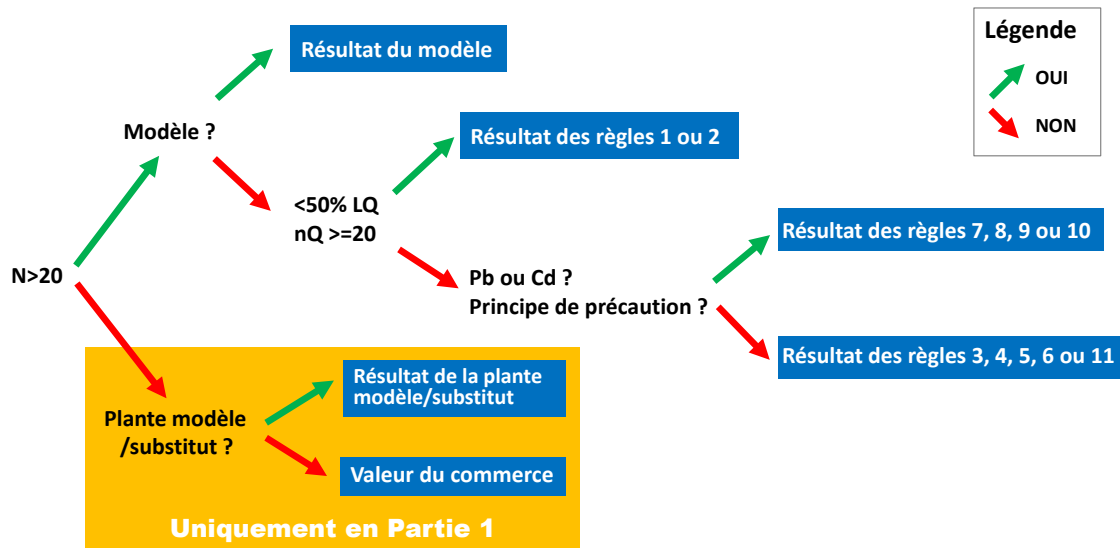


FIGURE 1 – Arbre de décision pour la détermination de la teneur dans le produit du potager

3.2 Règles suivies par l'outil SANISOL pour la détermination d'une teneur en métal pour un fruit/légume produit dans un potager en l'absence de modèle prédictif basé sur les caractéristiques du sol

En l'absence de modèle prédictif basé sur les caractéristiques du sol, des règles à suivre pour la détermination d'une teneur en métal pour le végétal produit dans un potager ont été déterminées sur base de l'inspection graphique des données sol-plante disponibles (voir Annexes 1 et 2) et de certains principes expliqués dans la section qui précède. Pour détailler ces règles, nous utiliserons les abréviations suivantes :

- *Com* : concentration en métal attendue dans un fruit/légume/herbe du commerce (déterminé par SPAQuE¹² sur base de la compilation de plusieurs sources)
- *c10, c90* : centile 10 et 90 des concentrations en métaux des sols des potagers wallons (déterminé à partir de la base de données POLLUSOL 2)
- *Med* : concentration médiane en métal dans un fruit/légume/herbe des données disponibles dans la base de données de transfert sol-plante.

11. M. LE BEL, M. JAILLER, et T. NAMECHE. Délivrables 2.6 et 2.7 : Proposition de scénarii « jardinier » pour les particuliers et les professionnels. Rapport final. Mai 2019.

12. M. LE BEL, M. JAILLER, et T. NAMECHE. Délivrables 2.6 et 2.7 : Proposition de scénarii « jardinier » pour les particuliers et les professionnels. Rapport final. Mai 2019.

- *LQma*, *LQp2* : limite de quantification analytique de la détermination de la teneur du métal dans le végétal du laboratoire de Malvoz (*LQma*) ou du laboratoire ayant réalisé les analyses de la seconde campagne de POLLUSOL 2 (*LQp2*).
- *Vg* : concentration en métal attendue dans un fruit/légume/herbe produit dans le potager.

Les règles 1 à 4 suivent des principes précédemment utilisés dans l'outil SANISOL 2019 pour déterminer une teneur en métal pour le végétal produit dans un potager. Les **règles 1 et 2** consistent à attribuer au végétal produit dans le potager la valeur centrale (médiane¹³) du jeu de donnée disponible pour celui-ci ($Vg = Med$) en présence (règle 1) ou en l'absence (règle 2) d'une valeur du commerce. Les règles 1 et 2 s'appliquent lorsque l'on dispose d'un minimum de 20 données quantifiées¹⁴ pour le couple métal-végétal. Les **règles 3 et 4** consistent à attribuer la valeur de la limite de quantification (ou un multiple de celle-ci) au végétal produit dans le potager. Ces règles s'appliquent lorsque plus de 50% du jeu de données est constitué de mesures non quantifiées ($<LQ$). Lorsque la proportion de données non quantifiée est comprise entre 50% et 75%, la valeur attribuée au végétal correspond à la limite de quantification ($Vg = LQ$), tandis que lorsque cette proportion est supérieure à 75%, la valeur attribuée correspond à 0.7 fois la valeur de la limite ($Vg = 0.7 \times LQ$). La règle 3 ne considère que les situations pour lesquelles la valeur du commerce est supérieure à la limite de quantification (NB : Dans le cas des cinq légumes POLLUSOL 2, il s'agit de la LQ du jeu de donnée POLLUSOL 2, car il est le plus représenté). La règle 4 correspond aux situations pour lesquelles il n'y a pas de valeur du commerce pour le couple métal-végétal.

La **règle 5** consiste à attribuer la valeur du commerce au végétal produit dans le potager ($Vg = Com$) lorsque la valeur du commerce est inférieure à la limite de quantification et que la majorité du jeu de données disponible pour le couple métal-végétal correspond à des mesures non quantifiées ($<LQ$). Selon les données disponibles pour le couple métal-végétal, la valeur du commerce est une valeur plausible pour le légume produit dans le potager. Il serait impossible de déterminer si le légume qui sera produit dans le potager sera supérieur ou inférieur au commerce. Cette règle est motivée par le souhait que l'outil SANISOL ne favorise ni l'achat de légumes en supermarché ni la pratique du jardinage en l'absence d'arguments solides. Il s'agit aussi de limiter le nombre de situations où le produit du potager est systématiquement inférieur ou supérieur au commerce (quelle que soit la teneur en métal du sol du potager) pour rendre ainsi l'outil intuitivement plus cohérent.

La **règle 6** est identique à la règle 1 ($Vg = Med$) lorsque la teneur en métal du sol est supérieure au centile 10 des données POLLUSOL2 ($c10$) mais consiste à attribuer la valeur du commerce au végétal produit dans le potager ($Vg = Com$) lorsque la teneur en métal du sol est inférieure au $c10$. Pour un couple métal-végétal, cette règle ne s'applique que lorsqu'il n'y a pas plus de trois données quantifiées dans le végétal et lorsque le sol

13. Prendre la valeur centrale (médiane) plutôt que la moyenne permet de s'affranchir du risque de la présence de valeurs aberrantes/outliers dans le jeu de données.

14. Il y a 4 exceptions à ce principe général : les règles 1 et 2 ont été attribuées à 3 cas pour lesquels $n=19$ et 1 cas pour lequel $n=17$)

présente des teneurs faibles ($< c10$). Cette règle qui déroge à la règle 1 en cas de sol présentant des teneurs faibles, est motivée par la volonté que dans ce cas l'outil SANISOL n'indique pas de risque de contamination du végétal produit dans le potager et ne surestime pas l'exposition du jardinier. Cette règle ne s'applique qu'en l'absence de données suffisantes permettant d'affirmer que le végétal produit dans le potager présenterait des teneurs supérieures au commerce lorsque la teneur en métal du sol est faible ($< c10$).

Les **règles 7, 8, 9 et 10** s'appliquent uniquement au Cd et Pb et sont motivées par le principe de précaution. En cas de sol présentant des teneurs élevées en métal, elles consistent en l'attribution d'une teneur plus élevée au végétal produit dans le potager que ce que le jeu de données du couple métal-végétal ne permettrait normalement de déterminer. La valeur de la teneur élevée (TE) est fixée ici en fonction de l'examen du jeu de données disponibles pour chaque couple métal-végétal. Pour les règles 7, 9 et 10, la teneur élevée est la VS ($TE = VS$), et pour la règle 8, la teneur élevée correspond au centile 90 des données POLLUSOL 2 ($TE = c90$). Les règles 7 et 8 consistent à attribuer la valeur du commerce au végétal produit dans le potager en cas de teneur du sol inférieure à la teneur élevée TE ($Vg = Com$), et à la médiane des valeurs quantifiées en cas de teneur du sol supérieure à la teneur élevée TE ($Vg = Med$). Ces deux règles s'appliquent à des situations pour lesquelles on dispose de plus de 5 mesures de végétal sur des sols à teneurs élevées pour le calcul d'une médiane. Les règles 9 et 10 ne s'appliquent qu'à un seul cas : la règle 9 au couple plomb-pomme de terre et la règle 10 au couple plomb-courgette. La règle 9 consiste à attribuer la valeur de la limite de quantification de POLLUSOL 2 ($LQp2$) en cas de teneur du sol inférieure à la VS ($Vg = LQp2$), et à la valeur de la limite de quantification de Malvoz ($LQma$) en cas de sol à teneur en métal supérieure à la VS ($Vg = LQma$). Notons que cette règle permet à l'outil SANISOL d'indiquer un possible dépassement de la teneur du commerce en cas de teneur du sol supérieure à la VS ($LQp2 < Com < LQma$). La règle 10 consiste à attribuer au végétal produit dans le potager la valeur de la limite de quantification de POLLUSOL 2 en cas de teneur du sol inférieure à la VS ($Vg = LQp2$), et à la valeur du commerce en cas de sol à teneur en métal supérieure à la VS ($Vg = Com$).

La **règle 11** est spécifique au couple poireau-nickel pour lequel la configuration des données ne permet l'application d'aucune des règles 1 à 10. La règle 11 consiste à attribuer la valeur du commerce au végétal produit dans le potager ($Vg = Com$). Pour ce couple, 48% des données disponibles sont non quantifiées, et il n'y a pas assez de données quantifiées pour appliquer les règles 1 ou 2 ($n=11$). La valeur de la limite de quantification est proche de la teneur du commerce. La valeur du commerce est donc une valeur plausible pour le légume produit dans le potager. Cette règle est motivée par le fait que l'attribution de la valeur du commerce au poireau du potager permet d'éviter la situation où le produit du potager est systématiquement inférieur ou supérieur au commerce et rendre ainsi l'outil intuitivement plus cohérent.

3.3 Détermination d'une teneur en métal dans l'outil SANISOL : tableau de synthèse pour chaque végétal

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Pomme de terre	Règle 1-2	Modèle	Règle 3-4	Modèle	Règle 5	Modèle	Règle 1-2	Règle 3-4	Règle 9	Modèle
Carotte	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle	Règle 5	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle
Radis	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte
Salsifis	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte
Panais	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte
Bettrave	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte
Navet	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte	Carotte
Oignon	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Poireau	Règle 5	Modèle	Règle 5	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 11	Règle 7	Modèle
Tomate	Règle 5	Règle 6	Règle 5	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 3-4	Règle 5	Règle 1-2
Concombre	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette
Poivron	Règle 5	Règle 8	Règle 5	Modèle	Règle 5	Règle 3-4	Modèle	Règle 1-2	Règle 5	Modèle
Courgette	Règle 3-4	Règle 5	Règle 3-4	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Modèle	Modèle	Règle 10	Modèle
Potiron	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette
Courge	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette	Courgette

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Chou	Règle 5	Règle 6	Règle 6	Modèle	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Modèle	Règle 6	Règle 6
Chou-fleur	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou
Brocoli	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou
Chou de Bruxelles	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou	Chou
Salade	Modèle	Modèle	Modèle	Règle 1-2	Règle 5	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle
Mache	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Chicorée	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Epinard	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Chicon	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade	Salade
Céleri branche	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Bette	Règle 5	Modèle	Règle 6	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 6	Modèle	Modèle
Rhubarbe	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Asperge	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Haricot	Modèle	Modèle	Modèle	Règle 1-2	Règle 5	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle	Modèle
Pois	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Pomme	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Poire	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Prune	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Raisin	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Figue	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Fraise	Règle 5	Règle 5	Règle 3-4	Modèle	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 3-4	Règle 7	Règle 1-2
Framboise	Règle 5	Règle 8	Règle 3-4	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2
Mûre	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Groseille	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Noix	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Noisette	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Persil	Règle 5	Modèle	Modèle	Modèle	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 1-2	Modèle	Modèle
Basilique	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Menthe	Règle 3-4	Règle 8	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 5	Règle 1-2	Règle 1-2	Règle 1-2	Modèle	Modèle
Romarin	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Thym	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce
Sauge	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce	Commerce

3.4 Calcul de l'exposition aux métaux par la consommation de végétaux dans l'outil SANISOL

L'exposition aux métaux par la consommation de végétaux est calculée comme étant la somme de l'exposition suite à la consommation de produits du potager et de produits du commerce. L'exposition par la consommation aux végétaux est proportionnelle à la consommation de produit du potager qui est renseignée par l'utilisateur dans l'outil : « *Je consomme des légumes provenant du potager et du commerce dans les proportions suivantes :* ».

Par défaut, en l'absence de données disponible ($N < 20$) et en l'absence de plante modèle/substitut, on se base sur la concentration en métal attendue dans un fruit/légume/herbe du commerce pour la détermination des teneurs dans la plante dans l'outil SANISOL (voir arbre de décision de la Figure 1). Cela signifie que l'exposition par la consommation aux végétaux est identique, quelle que soit la proportion de légumes provenant du potager et du commerce. Lorsqu'il n'existe pas de concentration en métal attendue dans un produit du commerce (aucune donnée dans les sources disponibles), le végétal n'est alors pas pris en compte dans le calcul de l'exposition aux végétaux dans l'outil SANISOL.

Il existe quelques situations (couple métal-plante) pour lesquelles il y a des données disponibles ($N > 20$) et un modèle ou une règle permet de déterminer une teneur en métal pour le végétal, mais il n'existe pas de concentration en métal attendue dans un produit équivalent du commerce (pas de données dans les sources disponibles). L'exposition par la consommation aux végétaux est alors directement proportionnelle à la consommation de produit du potager. Cela signifie que l'exposition est d'autant plus élevée que la proportion de produits provenant du potager (indiquée par l'utilisateur dans l'outil) est élevée, car l'exposition par la consommation aux végétaux commerce étant considérée comme nulle (au vu de l'absence de données). Cette situation pourrait injustement (indirectement) discriminer la consommation de produit du jardin par rapport à la consommation du commerce, puisqu'on sait qu'en réalité les végétaux du commerce ne sont pas exempts de métaux. Cette situation a été corrigée dans l'outil SANISOL pour le calcul de l'exposition par la consommation aux végétaux en attribuant au végétal du commerce la même concentration que celui du potager.

4 Logigrammes utilisés pour fournir des indications supplémentaires en partie 2 de l'outil SANISOL

Les résultats de l'outil SANISOL pour le potager et l'utilisateur encodés sont fournis dans un document en deux parties. La Partie 1 concerne les risques liés au jardinage et à la consommation de fruits et légumes. La Partie 2 concerne les conseils relatifs aux produits du potager. Dans cette Partie, le résultat de l'outil SANISOL consiste principalement en un tableau contenant des indications quant à la qualité des produits du potager. Cette qualité est évaluée uniquement pour les 14 fruits/légumes connus ($n > 20$) en regard à la teneur en métal attendue (à l'exception de l'arsenic, du manganèse, du mercure et du molybdène pour lesquels la connaissance est actuellement limitée), ou pour les autres fruits/légumes si l'utilisateur encode une analyse. Outre les informations sous forme de tableau, d'autres informations sont fournies à l'utilisateur : il s'agit de la délivrance d'un message d'avertissement (1) en cas de transfert sol-plante inhabituel dans le potager de l'utilisateur et (2) en cas d'incertitudes dans les indications données dans le tableau (à cause des limitations dans le jeu de données disponible). Les logigrammes utilisés par l'outil SANISOL pour la délivrance de ces messages d'avertissement sont détaillés dans ce qui suit.

4.1 Délivrance d'un message d'avertissement en cas de transfert sol-plante inhabituel grâce à la prise en compte de l'erreur de prédiction des teneurs dans la plante

Le logigramme détaillé dans cette section a pour objectif d'avertir l'utilisateur de l'outil SANISOL d'une différence importante entre la teneur en métal du produit de son potager qu'il aurait fait analyser et la teneur en métal que l'outil SANISOL prédit pour ce même produit. Cet avertissement a pour objectif d'alerter l'utilisateur de l'outil SANISOL (en partie 2) d'un transfert sol-plante inhabituel dans son potager (ou d'une possible erreur dans l'encodage de la teneur en métal du produit de son potager).

Le logigramme considère donc une plante connue PP, pour laquelle la concentration CC pour un métal MM a été encodée par l'utilisateur dans l'outil SANISOL car il a fait analyser la plante PP produite dans son potager. Soit les trois conditions suivantes :

1. Une concentration CC pour un couple MM-PP a été encodée par l'utilisateur dans l'outil SANISOL.
2. Pour ce couple MM-PP, la détermination d'une teneur en métal dans l'outil SANISOL est réalisée à l'aide d'un modèle ou d'une valeur centrale (règles 1 ou 2 ; voir section 3.3).
3. La détermination d'une teneur en métal pour le couple MM-PP est valide pour la teneur en métal MM du potager de l'utilisateur. Cette validité est vérifiée si :
$$BB \leq Sol \leq BH$$
avec

Sol : concentration en métal MM du sol du potager de l'utilisateur de l'outil SANISOL

BB/BH : Borne Basse (min) / Borne Haute (max) de la gamme de concentration en métal MM du jeu de données disponible pour le couple métal-plante MM-PP

Si ces trois conditions sont remplies, alors l'outil SANISOL suit le logigramme suivant :

Si $CC > Pred + Er \Rightarrow Message 1$

Si $CC < Pred - Er \Rightarrow Message 2$

Avec :

CC : la concentration en métal MM dans la plante connue PP encodée par l'utilisateur (CC étant une valeur supérieure aux limites de quantification).

Pred : la concentration en métal MM prédite dans la plante connue PP.

Er : l'erreur attendue sur la prédiction d'une teneur en métal pour le couple MM-PP.

Message 1 : « Pour PP, la concentration mesurée dans les cas suivants : MM-PP est plus élevée que ce que l'on observe généralement en Wallonie pour un sol équivalent. »

Message 2 : « Pour PP, la concentration mesurée dans les cas suivants : MM-PP est moins élevée que ce que l'on observe généralement en Wallonie pour un sol équivalent. »

Er, l'erreur attendue sur la prédiction, est calculée de façon différente selon que la teneur en métal pour le couple MM-PP résulte de l'application de la règle 1/2 ou d'un modèle. Lorsqu'elle résulte de la règle 1/2, la valeur considérée est la différence entre la médiane et le centile 95 du jeu de données. Lorsqu'elle résulte d'un modèle, la valeur considérée est l'erreur absolue moyenne d'estimation des teneurs dans la plante à l'aide du modèle prédictif (voir section 2.2). Ces valeurs qui ont été choisies comme représentatives de l'erreur attendue sur la prédiction ont l'avantage d'être robustes à la présence d'outliers dans le jeu de données disponible pour le couple MM-PP (NB : l'erreur absolue moyenne d'estimation est estimée à partir d'un modèle calculé par des méthodes robustes, voir section 2.1). Les valeurs d'erreur sur la prédiction *Er* considérée par l'outil sont présentées à la Table 41.

Remarque : dans cette situation (plante connue PP, pour laquelle la concentration CC pour un métal MM a été encodée par l'utilisateur dans l'outil SANISOL), pour calculer l'exposition (Partie 1), l'outil SANISOL prend la valeur résultant du modèle de transfert sol-plante. Pour donner un conseil relatif au produit du potager (Partie 2), la teneur en métal considérée par l'outil SANISOL est celle qui a été encodée par l'utilisateur.

TABLE 41 – Valeur de Er , l'erreur attendue sur la prédiction en mg/kg de mayière fraîche, qui est prise en compte dans l'outil SANISOL pour l'envoi d'un message d'avertissement en Partie 2 de l'outil (voir texte)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Mn	Ni	Pb	Zn
Pomme de terre	0.002	0.0344	/	0.556	/	0.235	0.612	/	/	1.40
Carotte	0.0052	0.0831	0.0314	0.187	/	0.0362	0.545	0.0563	0.0981	1.96
Poireau	/	0.0284	/	0.810	/	0.37	3.000	/	0.29	1.30
Tomate	/	0.0312	/	0.415	/	0.118	0.605	/	/	1.33
Poivron	/	0.024	/	0.575	/	/	1.410	0.541	/	1.96
Courgette	/	/	/	0.346	/	0.108	0.412	0.0394	/	1.88
Chou	/	0.153	0.215	0.345	/	4.24	11.300	0.0708	0.631	23.10
Salade	0.0219	0.192	0.139	0.902	/	0.206	3.770	0.1	0.304	8.16
Bette	/	0.143	0.304	1.600	/	0.856	49.000	0.182	0.519	53.30
Haricot	0.0024	0.0075	0.0154	0.568	/	0.488	0.683	0.124	0.0398	1.66
Fraise	/	/	/	0.141	/	0.111	0.615	/	0.18	1.81
Framboise	/	0.011	/	0.510	/	0.159	1.170	0.251	/	1.29
Persil	/	0.0641	0.336	0.628	/	2.01	19.800	0.765	1.51	23.70
Menthe	/	0.16	1.18	6.000	/	2.96	24.600	1.61	0.538	34.90

4.2 Délivrance d'un message d'avertissement en cas d'incertitude élevée dans une indication donnée à cause des limitations dans le jeu de données disponible

Pour les plantes connues, afin de donner un conseil relatif au produit du potager (en Partie 2), des modèles ou des règles ont été élaborés à partir d'un jeu de données sol-plante. Le jeu de données sol-plante reprend des mesures de plantes ($n > 20$) cultivées sur des sols correspondant à une gamme de teneur en métal. Si le sol du potager de l'utilisateur ne se retrouve pas dans cette gamme, le conseil donné pour un produit du potager est moins fiable. Dans ce cas, l'utilisateur recevra un message d'avertissement. Celui-ci est délivré par l'outil suivant des logigrammes détaillés dans cette section.

Pour rappel, pour chaque couple métal-plante MM-PP d'une plante connue PP, l'outil fournit une information sous forme de tableau concrenant la teneur en métal attendue dans la plante suivant quatre codes couleur :

Vert foncé : « inférieure ou comparable aux produits du commerce ».

Vert clair : « supérieure aux produits du commerce, mais dont la consommation ne présente pas de risque pour votre santé ».

Orange : « supérieure aux produits du commerce pour un métal susceptible de présenter un risque pour votre santé ».

Rouge : « supérieure à la norme de commercialisation (uniquement pour Cd et Pb) ».

Chaque code couleur qui apparait dans le tableau pour un couple métal-plante MM-PP conditionne l'application d'un logigramme :

Vert foncé : si cette couleur apparait dans le tableau pour le couple métal-plante MM-PP, l'outil suivra le logigramme suivant :

$$Sol > BH \implies Message\ 3$$

Vert clair : si cette couleur apparait dans le tableau pour le couple métal-plante MM-PP, l'outil suivra le logigramme suivant :

$$Sol < BB \implies Message\ 3$$

$$Sol > BH \text{ et } P(BH) < Com \Rightarrow Message\ 3$$

Orange : si cette couleur apparait dans le tableau pour le couple métal-plante MM-PP, l'outil suivra le logigramme suivant :

$$Sol < BB \implies Message\ 3$$

$$Sol > BH \text{ et } P(BH) < Com \Rightarrow Message\ 3$$

Rouge : si cette couleur apparait dans le tableau pour le couple métal-plante MM-PP, l'outil suivra le logigramme suivant :

$$Sol > BH \text{ et } P(BH) < Norm \Rightarrow Message\ 3$$

Avec :

Sol : concentration en métal MM du sol du potager de l'utilisateur.

BB/BH : Borne Basse (min) / Borne Haute (max) de la gamme de concentration en métal MM dans le sol du jeu de données disponible pour le couple métal-plante MM-PP.

P(BH) : concentration en métal MM dans le légume connu PP prédit par l'outil SANISOL pour un sol ayant une concentration en métal BH (et une teneur en Fe, MO et un pH équivalent au sol du potager de l'utilisateur de l'outil).

Com : teneur en métal MM du légume PP dans le commerce.

Norm : valeur normative CE n°1881/2006 pour le métal MM et le légume PP.

Message 3 : « Les teneurs en certains métaux (MM1, MM2,...) du sol de votre potager ne correspondent pas aux concentrations pour lesquelles nous avons une connaissance des transferts des métaux du sol vers la/les plante(s) PP1, PP2.... En particulier, l'information donnée dans le tableau pour les cases MM1-PP1, MM2-PP2, ... présente une plus grande incertitude. Si vous souhaitez confirmer vos résultats, il vous est conseillé de faire analyser vos fruits/légumes. »

Annexe 1 : Représentation graphique des jeux de données sol-plante disponibles pour la carotte, la courgette, le haricot, la pomme de terre et la salade.

Abréviations utilisées

c : valeur de concentration représentative de la concentration en métal d'un légume acheté dans le commerce en Wallonie (valeur utilisée dans l'outil SANISOL) ;

n : utilisé pour indiquer la norme (teneur maximale tolérée en Cd et Pb selon la réglementation européenne EC 1881/2006) pour la commercialisation du fruit ou du légume.

Malvoz : jeu de données constitué par l'Institut provincial Ernest Malvoz (Province de Liège) ;

LQ.ma : limite de quantification de jeu de données Malvoz. LQ.ma.sup et LQ.ma.inf sont utilisés pour indiquer les valeurs supérieures et inférieures des limites de quantifications analytiques renseignées par le laboratoire, lorsqu'il y en a plusieurs.

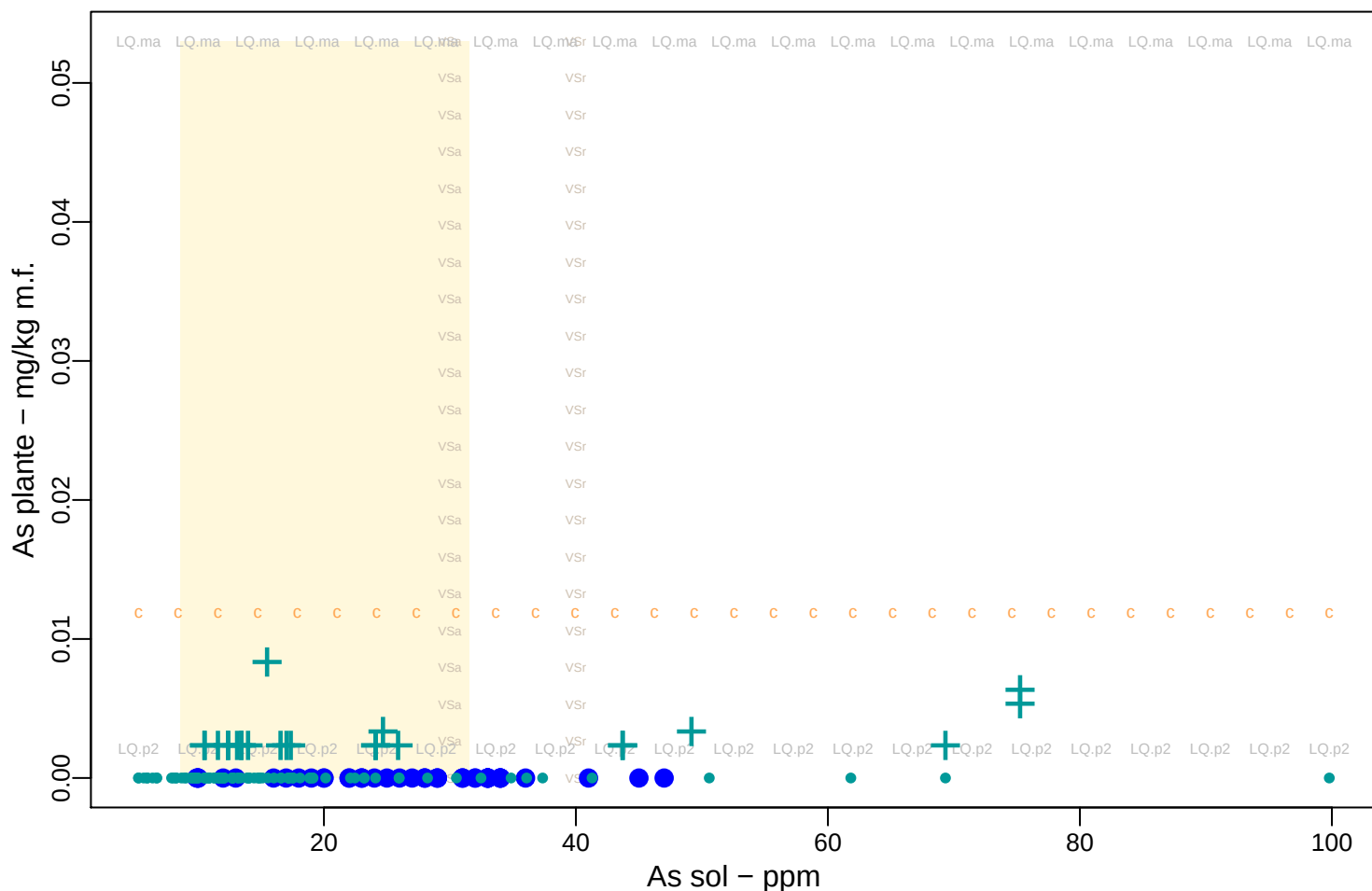
POLLUSOL 2 : projet POLLUSOL 2, financé par SPAQuE et réalisé entre 2009 et 2012. L'objectif principal du projet est la caractérisation des sols et des eaux souterraines des bassins urbains et péri-industriels de Wallonie touchés par la pollution atmosphérique de proximité ; l'échantillonnage et l'analyse de sol et de légumes ont été réalisés lors de deux campagnes réparties sur deux années : 2009 et 2010. Les graphiques illustrent uniquement les données de la seconde campagne (2010) retenues pour le projet SANISOL. Cette campagne concerne environ 200 jardins potagers répartis sur six communes de Wallonie : La Louvière, Amay, Engis, Trooz, Verviers et Aubange ;

LQ.p2 : limite de quantification analytique du laboratoire (AGROLAB) qui a réalisé l'analyse des légumes du projet POLLUSOL 2. Plus précisément, il s'agit des valeurs de limite de quantification analytique de la seconde campagne (2010) du projet POLLUSOL 2 ;

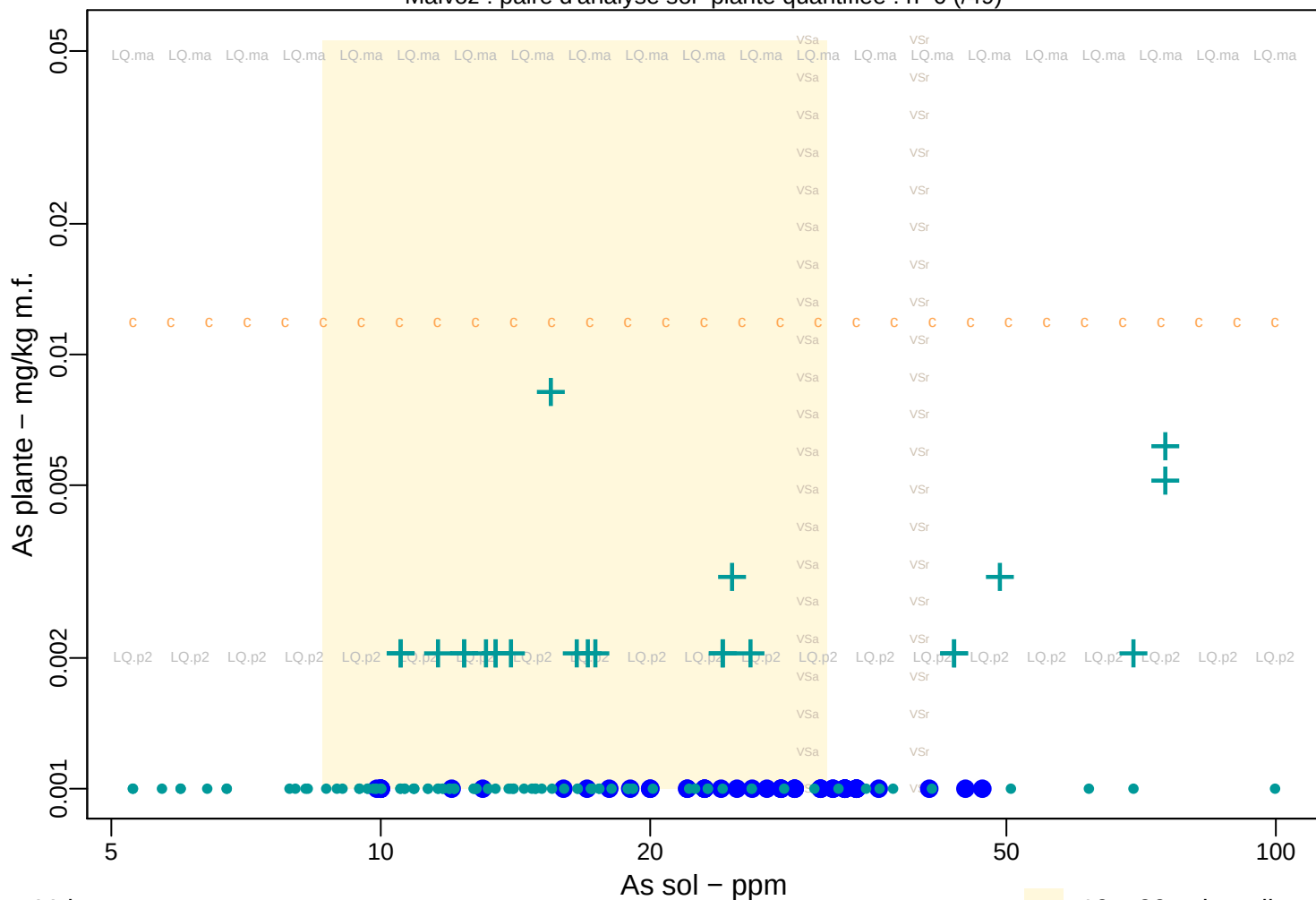
c10-c90 sols wallons : centile 10 et 90 de la distribution des résultats de mesure des sols de potager wallons (n=398) de l'étude POLLUSOL 2 ;

VS : valeur seuil du Décret wallon relatif à la gestion et à l'assainissement des sols (M.B. 22.03.2018). VSa : Valeur Seuil correspondant à un usage agricole. VSr : Valeur Seuil correspondant à un usage résidentiel. Si ces deux valeurs sont équivalentes, les graphiques les représentent simplement par « VS ».

Malvoz + (n=0) ● <LQ (n=49)
 Courgette
 POLLUSOL 2 + (n=23) ● <LQ (n=95)



Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=0 (/49)



C Valeur commerce

c10-c90 sols wallons

Malvoz

+

(n=0)

•

<LQ (n=37)

Pomme de terre

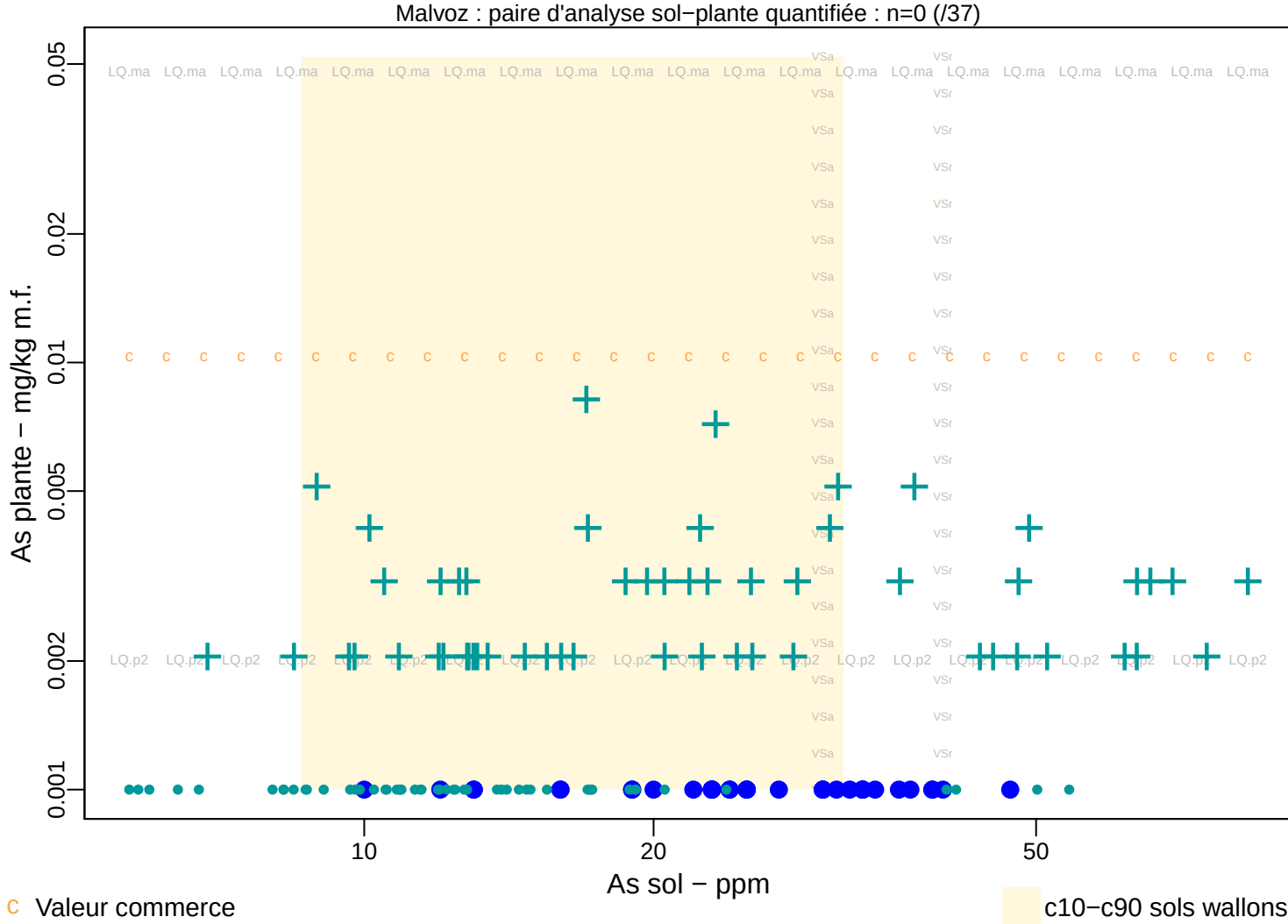
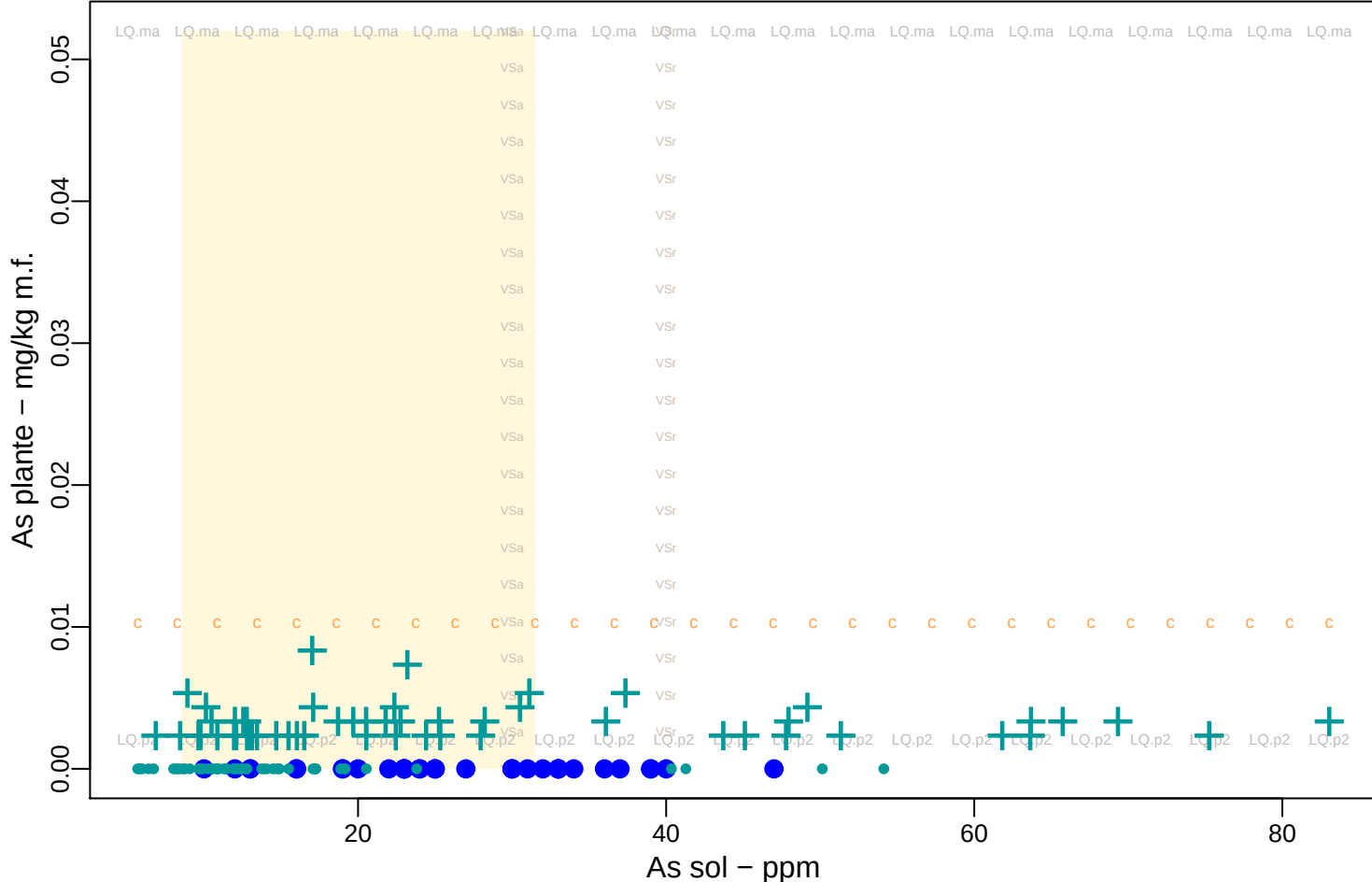
+

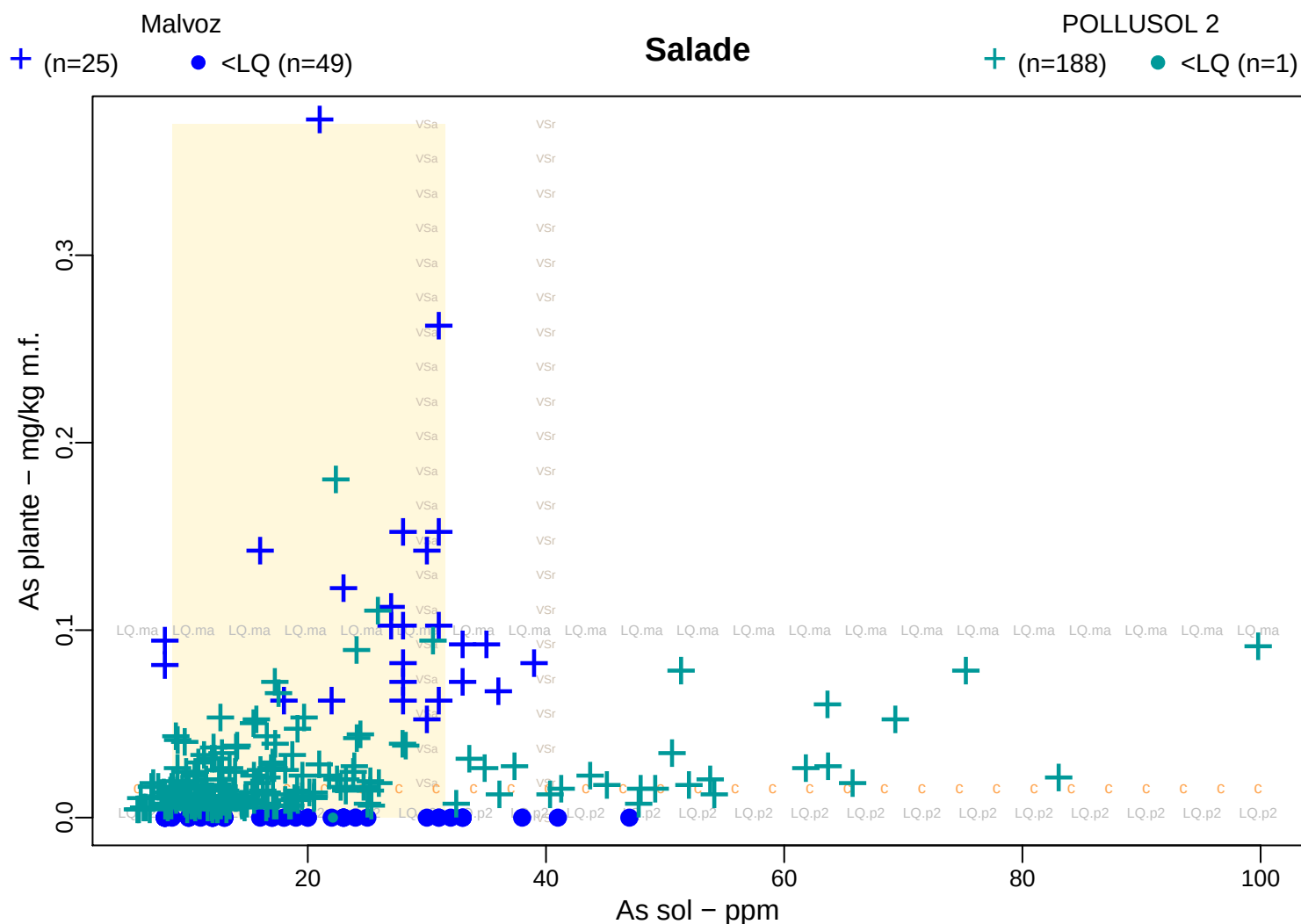
(n=55)

•

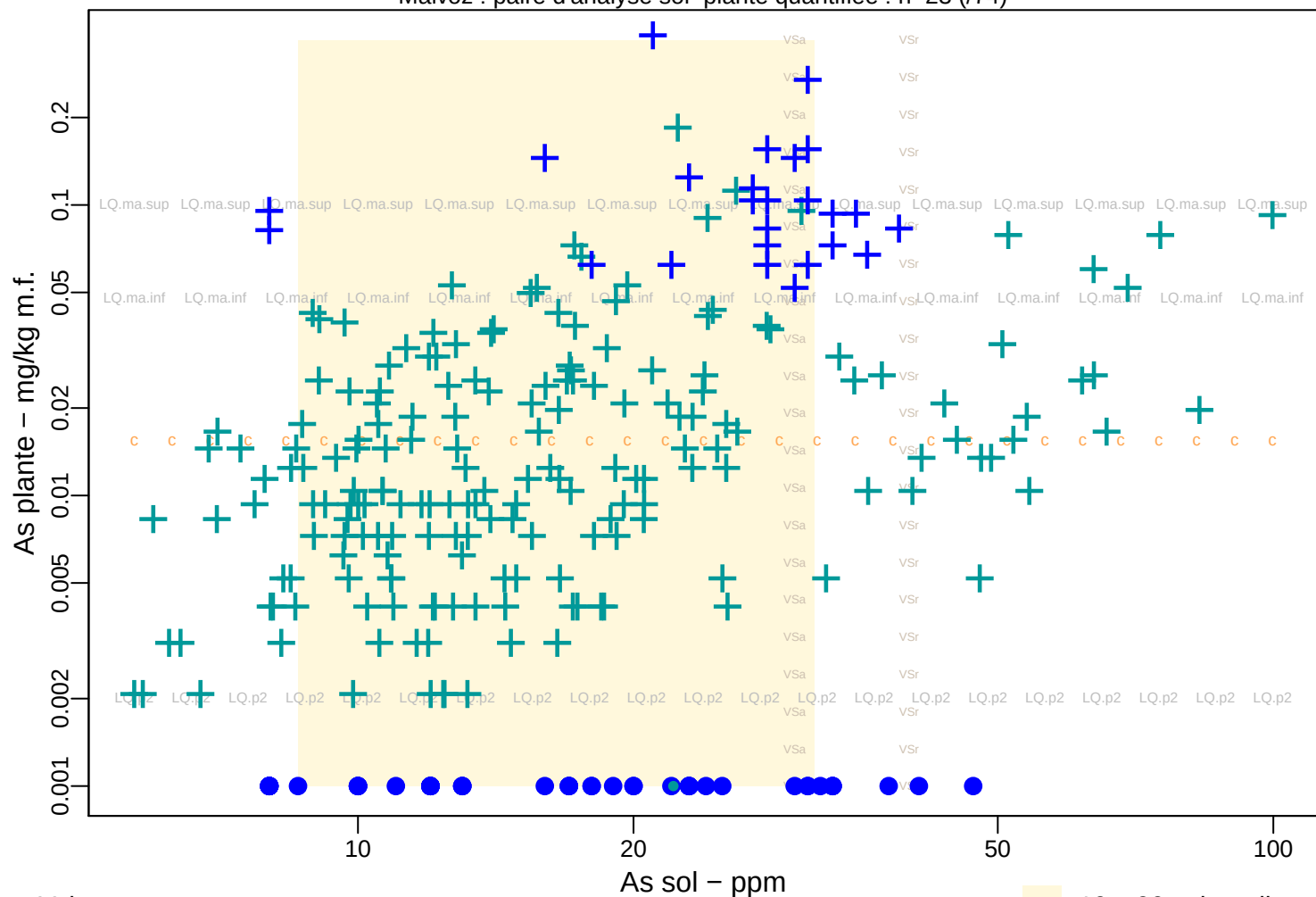
<LQ (n=53)

POLLUSOL 2



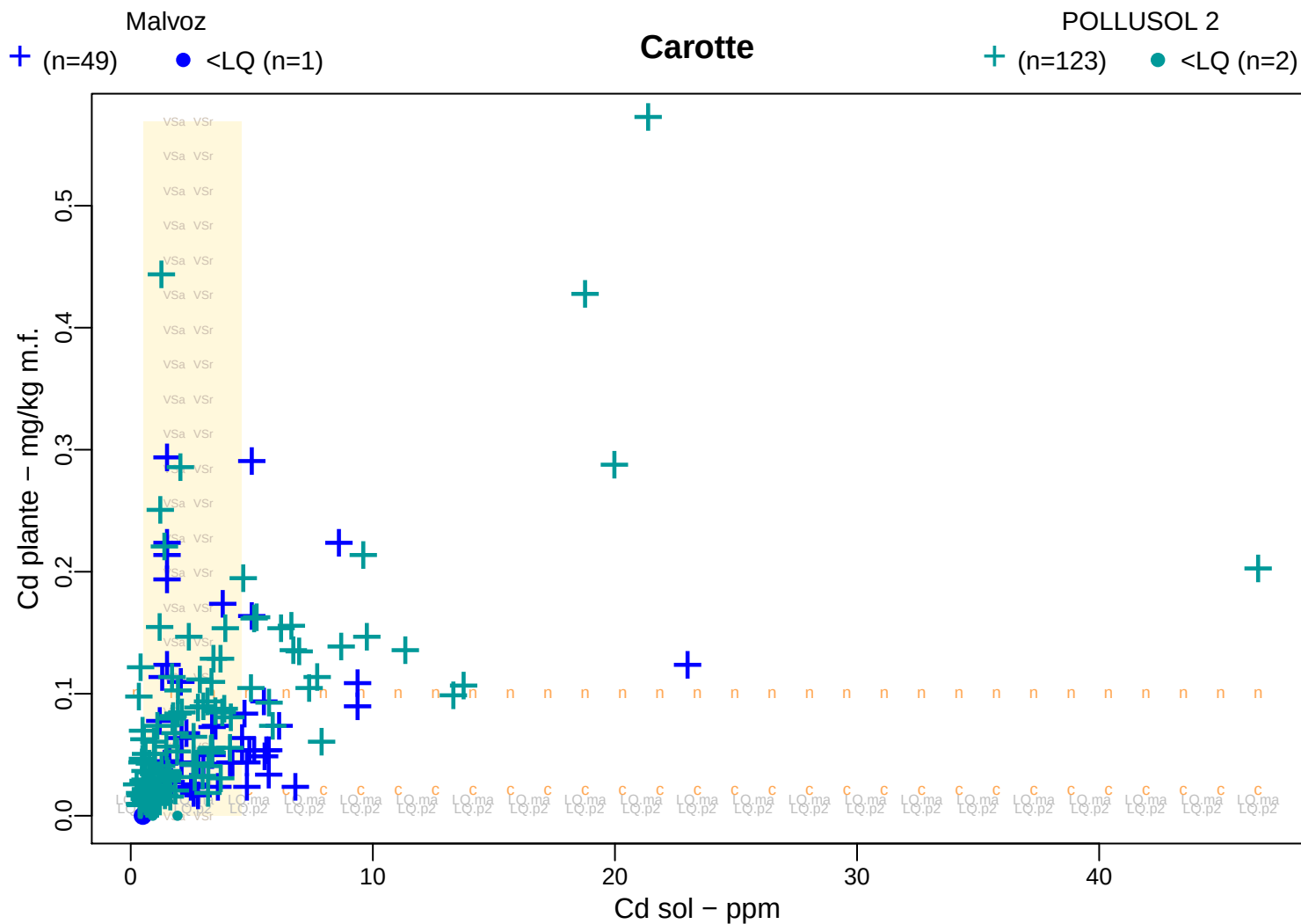


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=23 (/74)

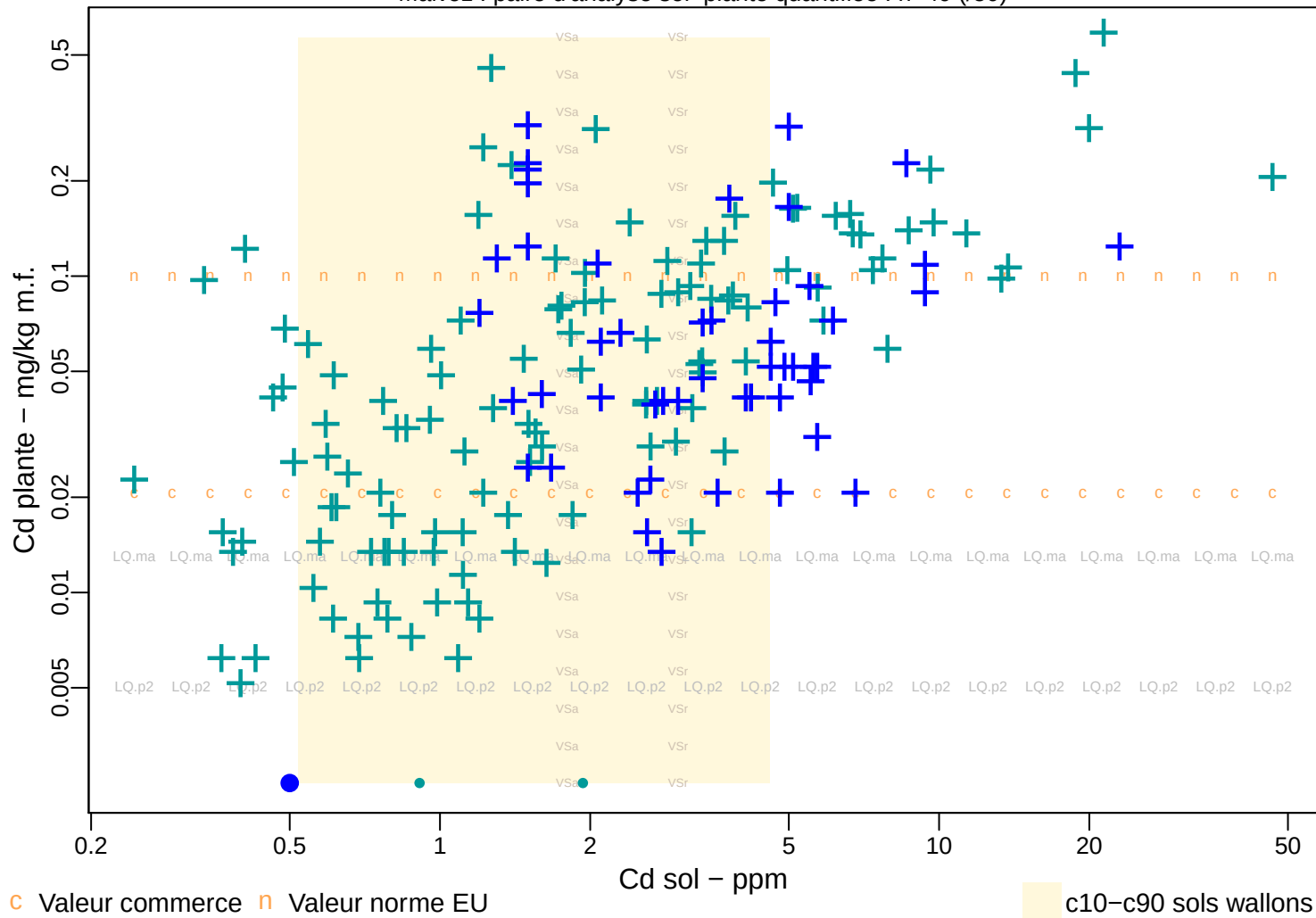


Valeur commerce

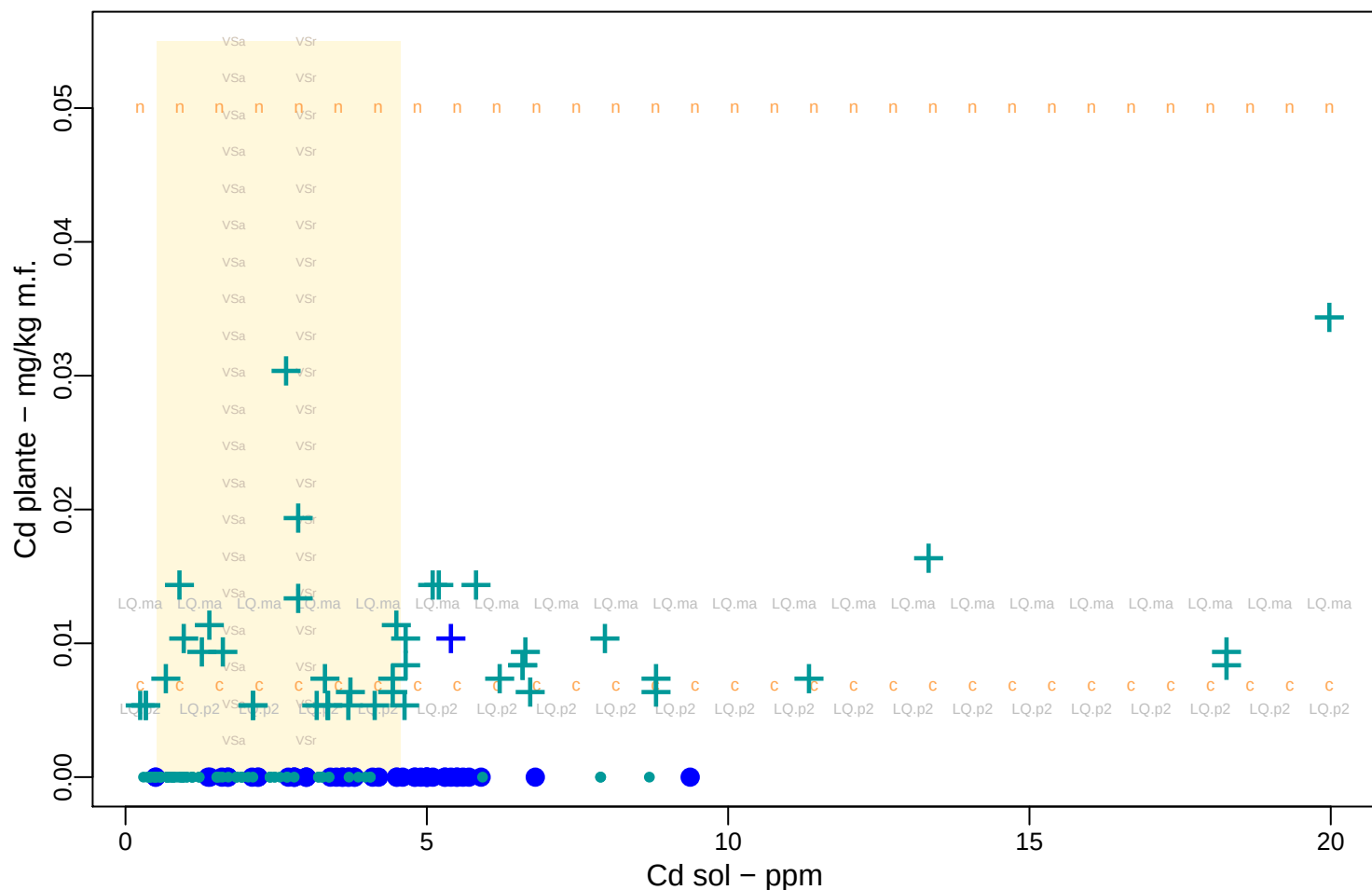
c10-c90 sols wallons



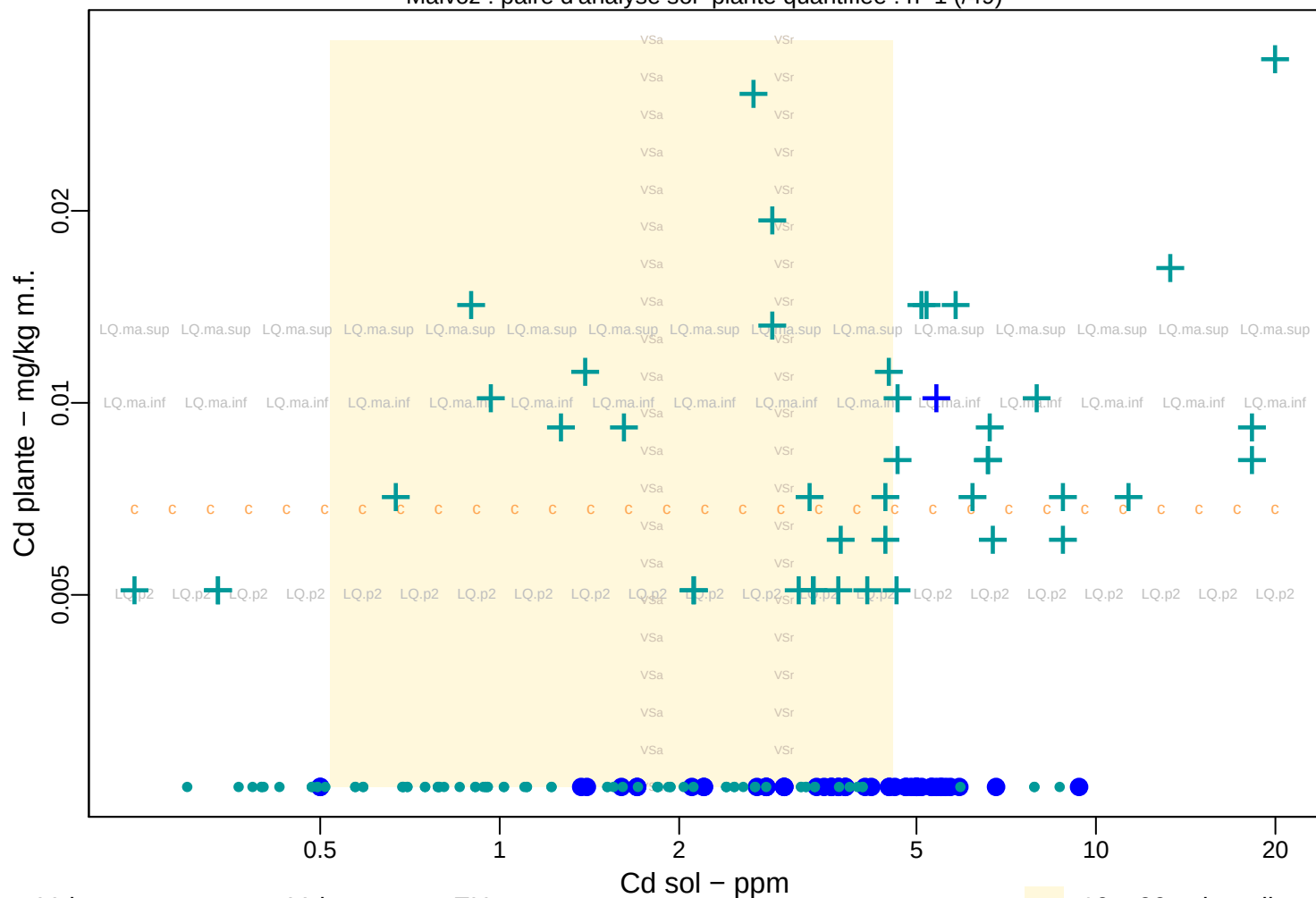
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=49 (/50)



+ (n=1) ● <LQ (n=48) **Courgette** + (n=43) ● <LQ (n=80) POLLUSOL 2

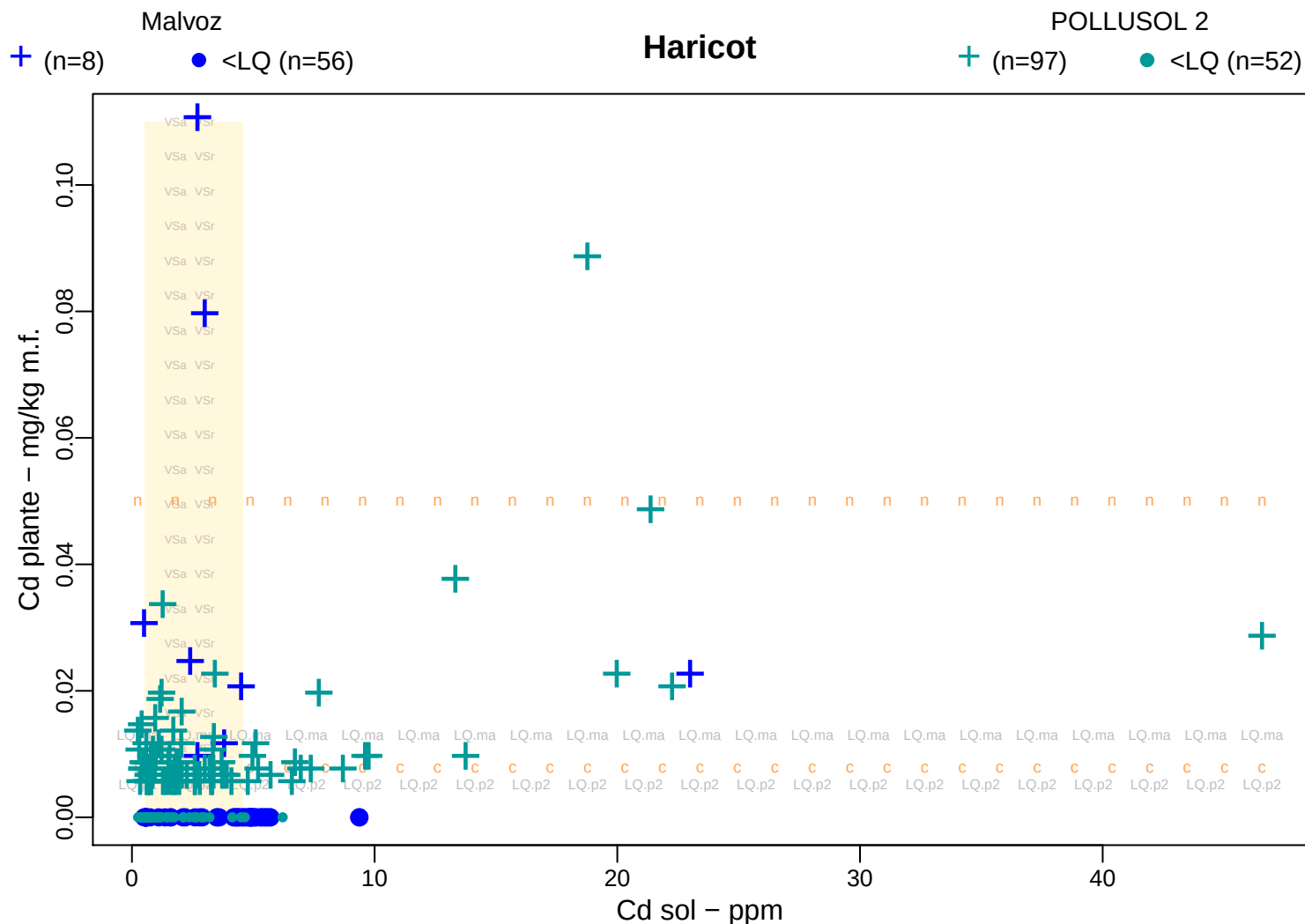


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=1 (/49)

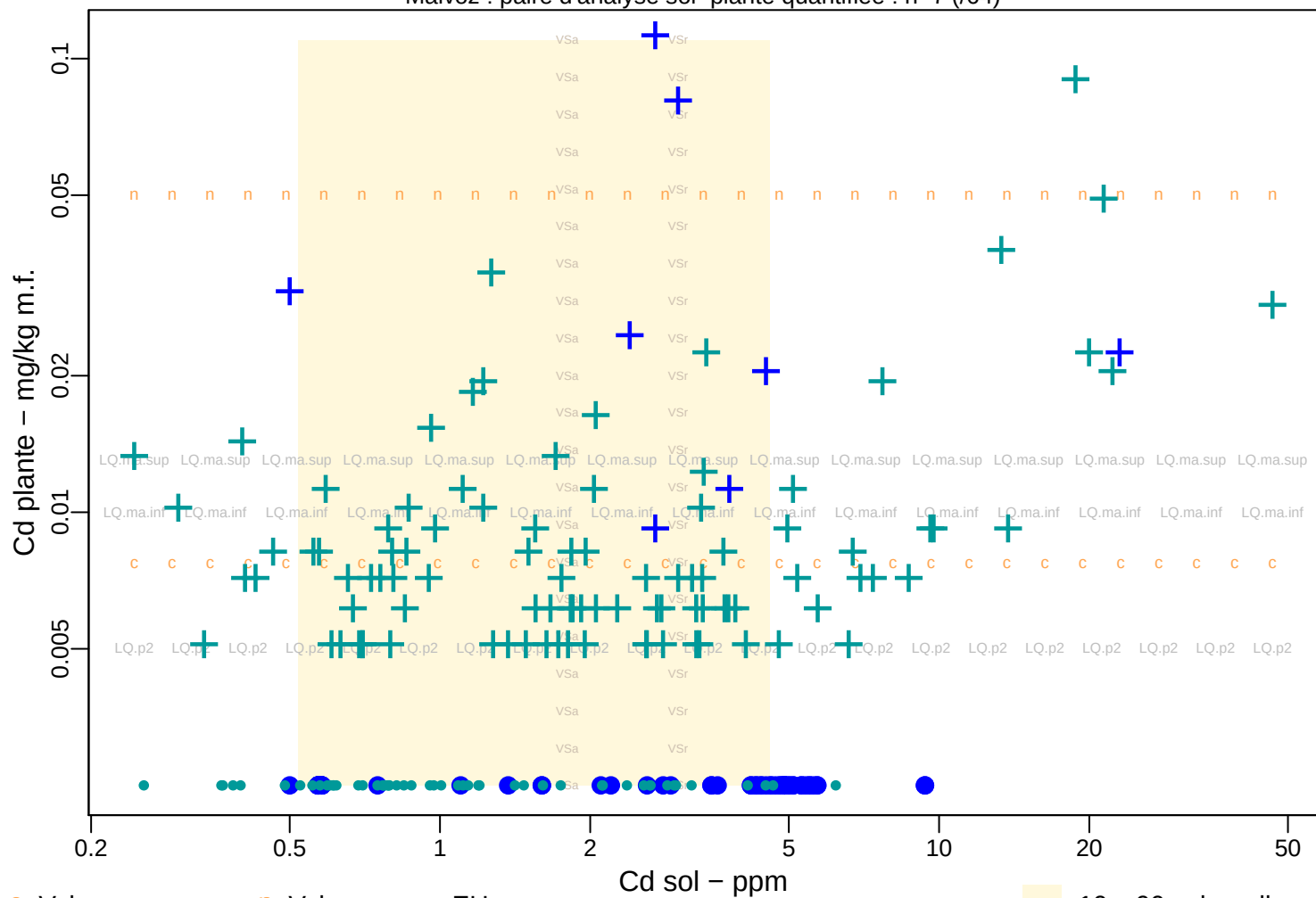


c Valeur commerce n Valeur norme EU

c10-c90 sols wallons

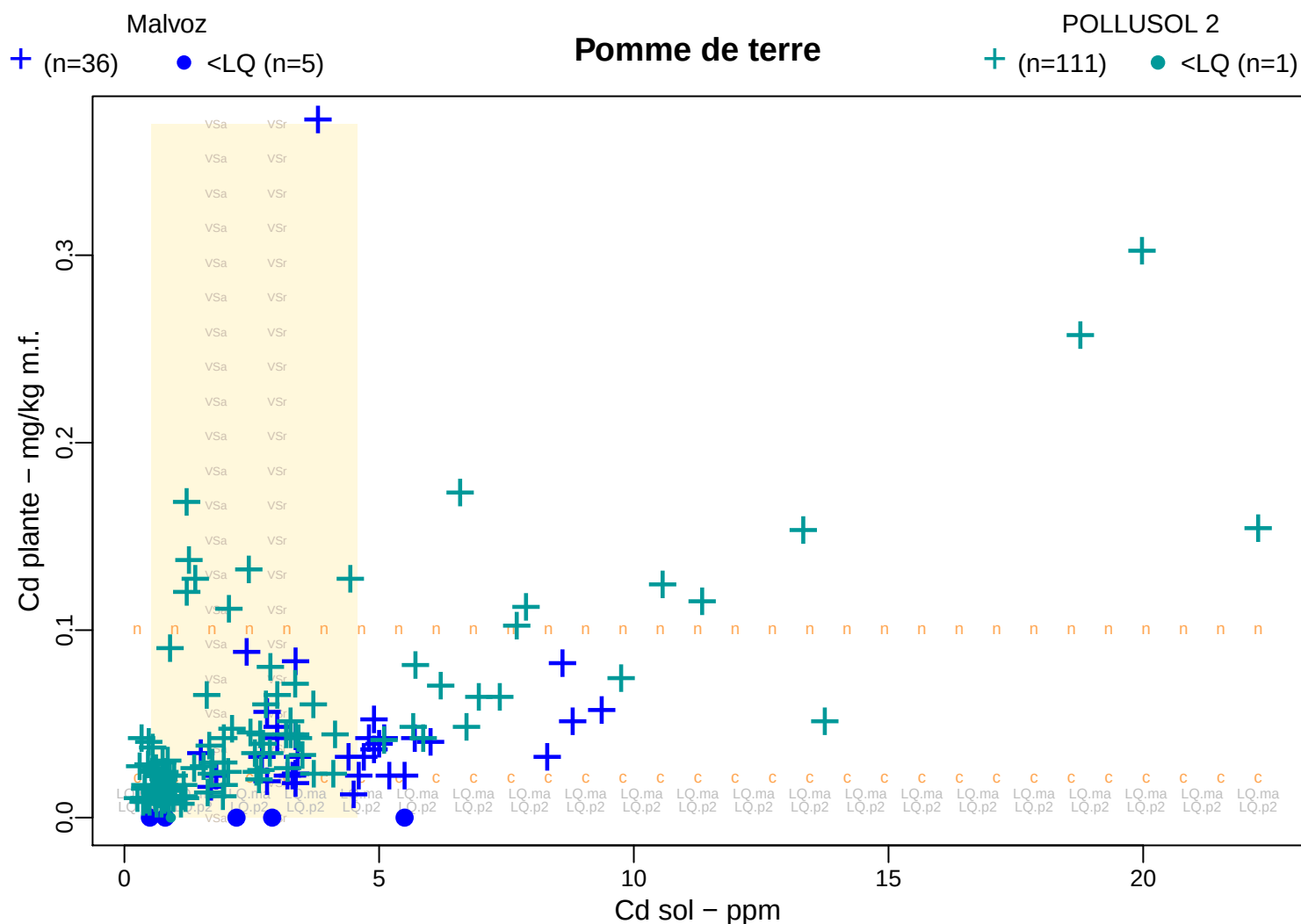


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=7 (/64)

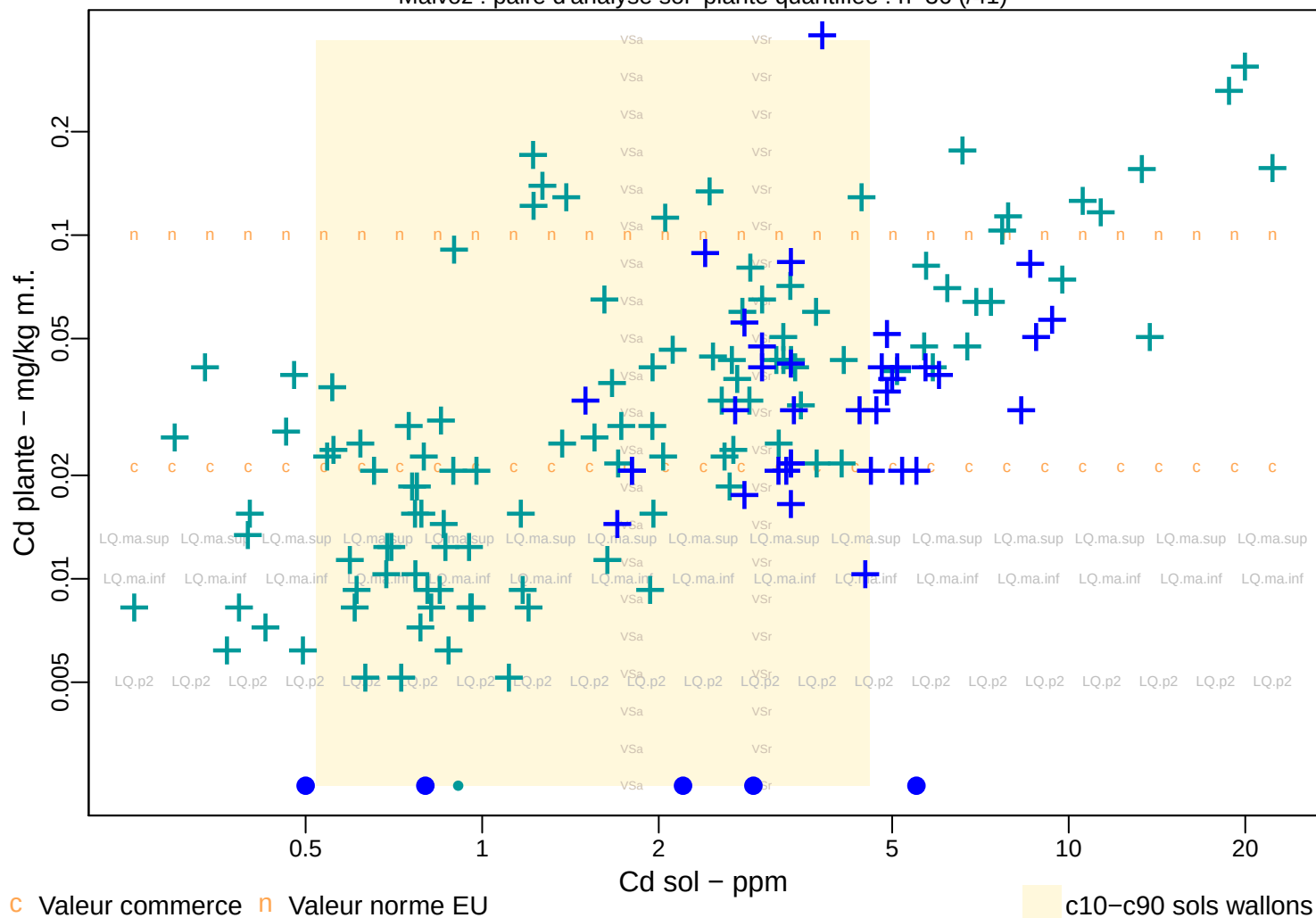


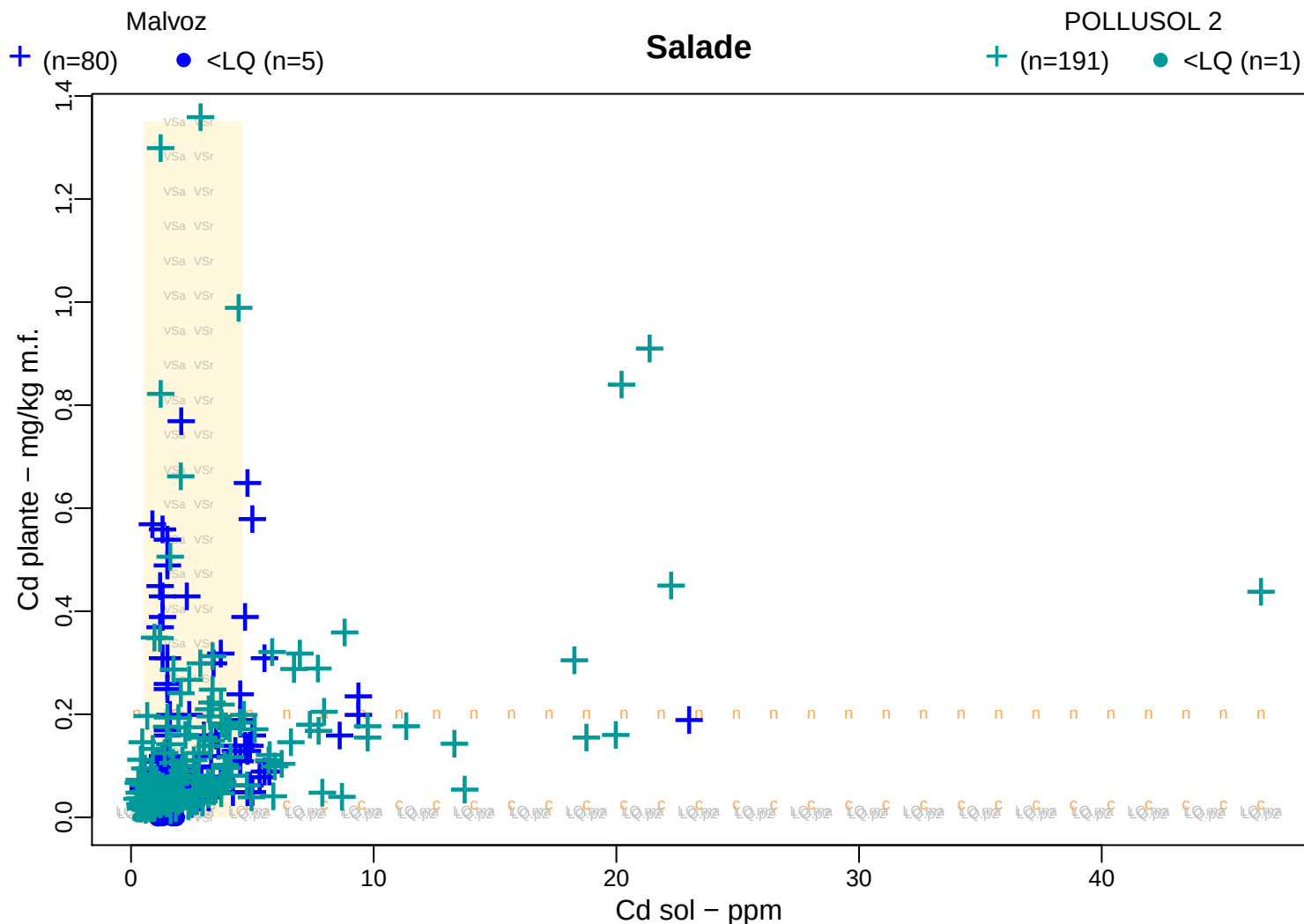
c Valeur commerce n Valeur norme EU

c10-c90 sols wallons

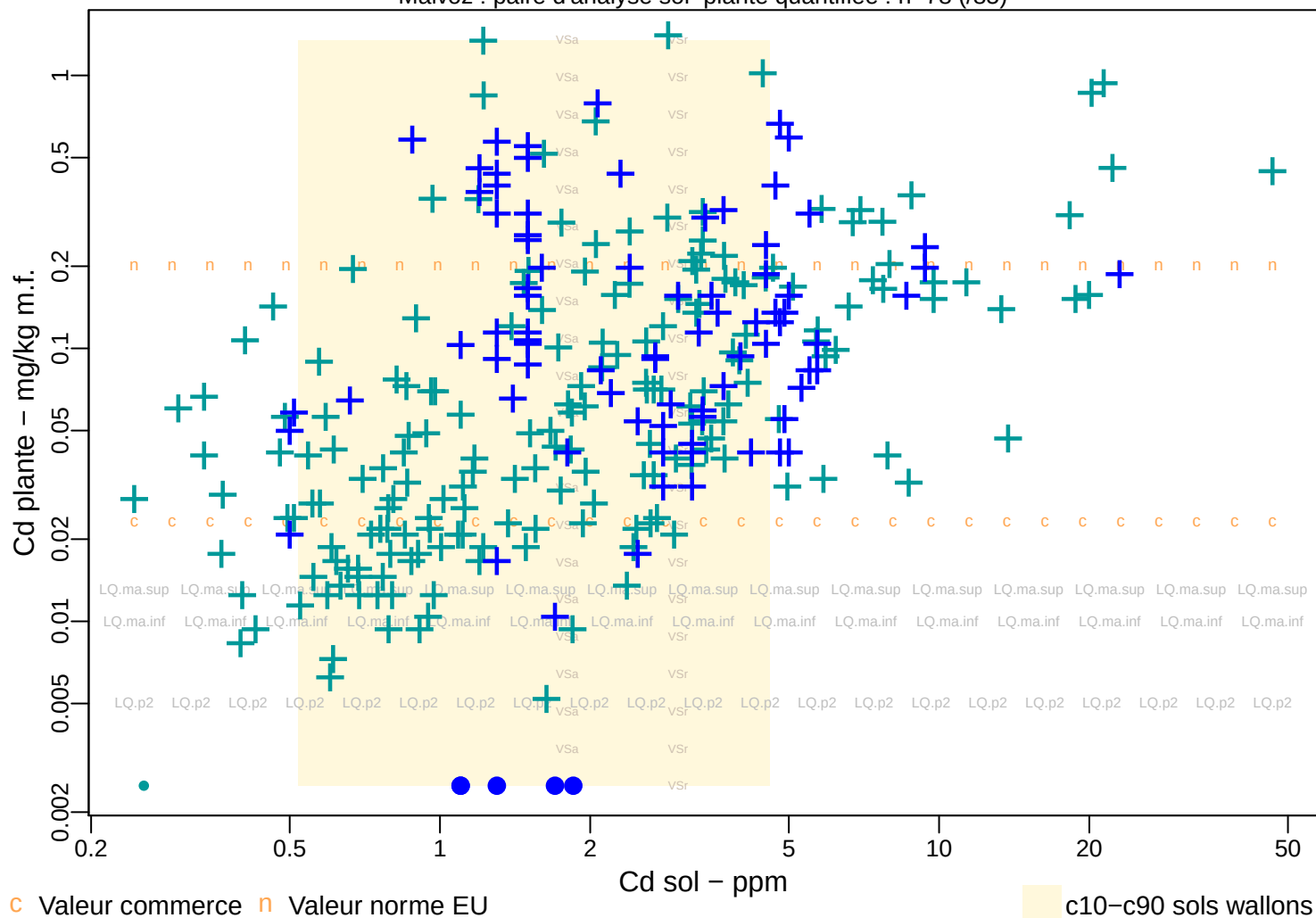


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=36 (/41)



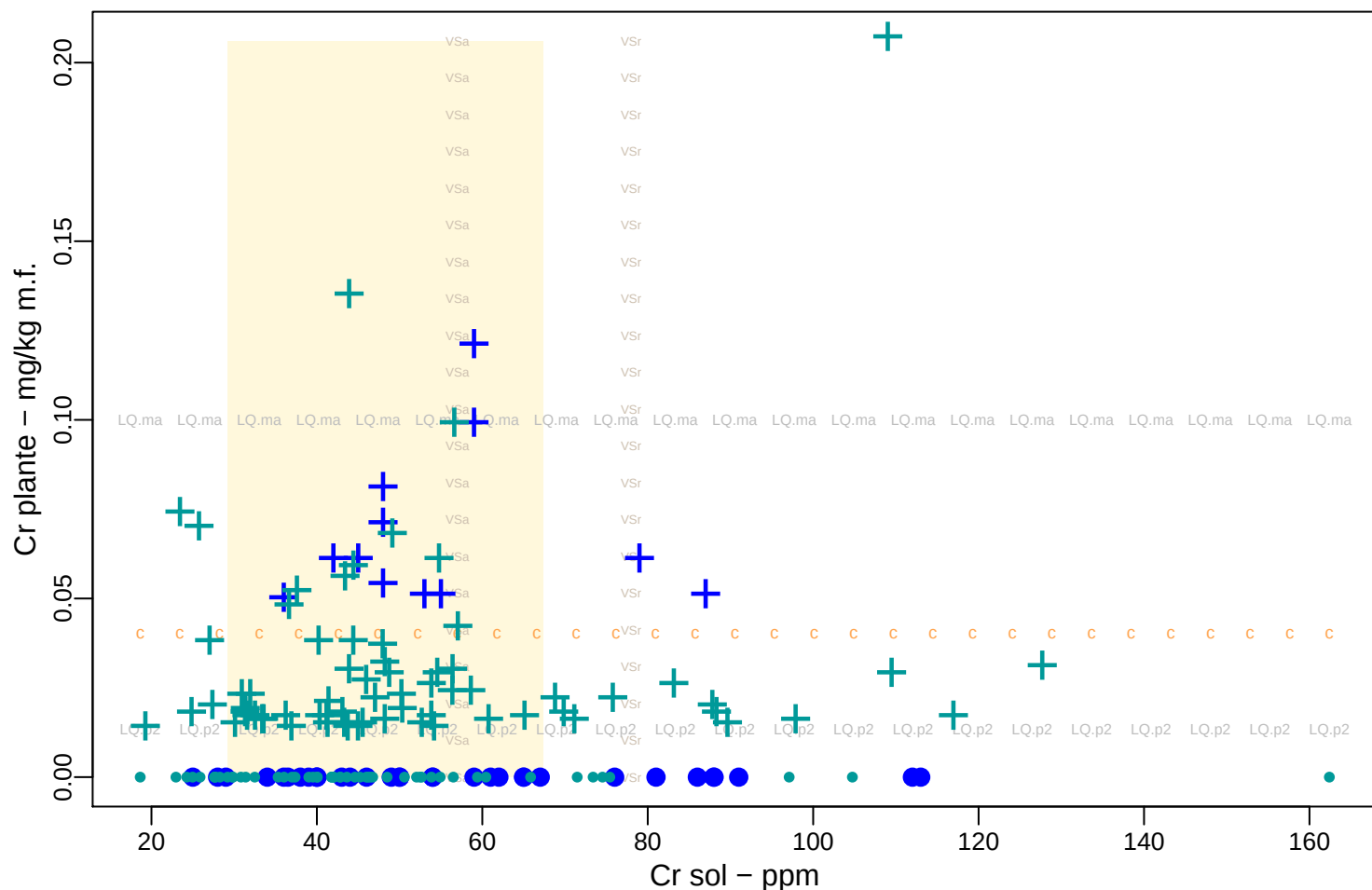


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=78 (/85)

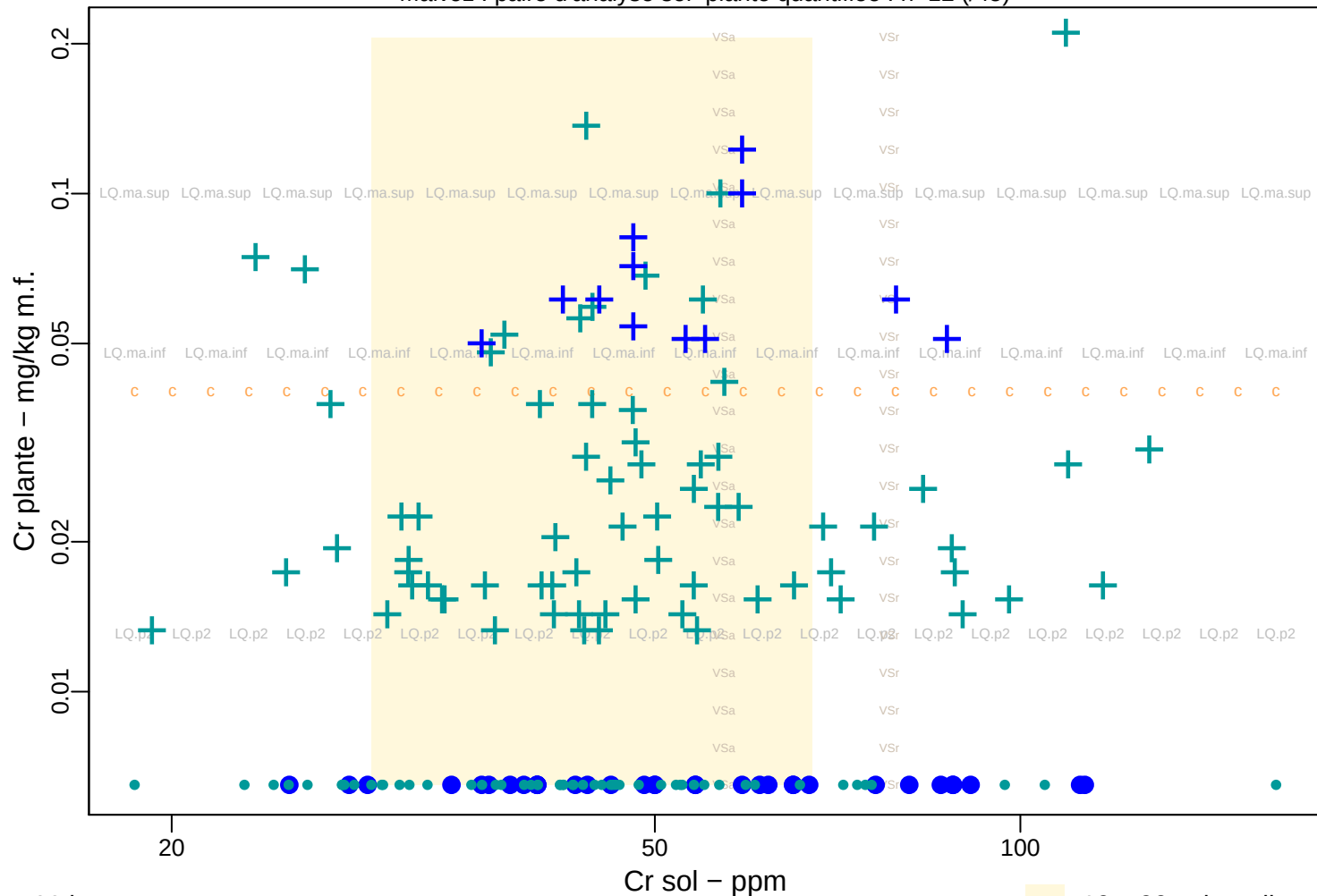


Malvoz Carotte POLLUSOL 2

+ (n=12) • <LQ (n=33) + (n=69) • <LQ (n=54)

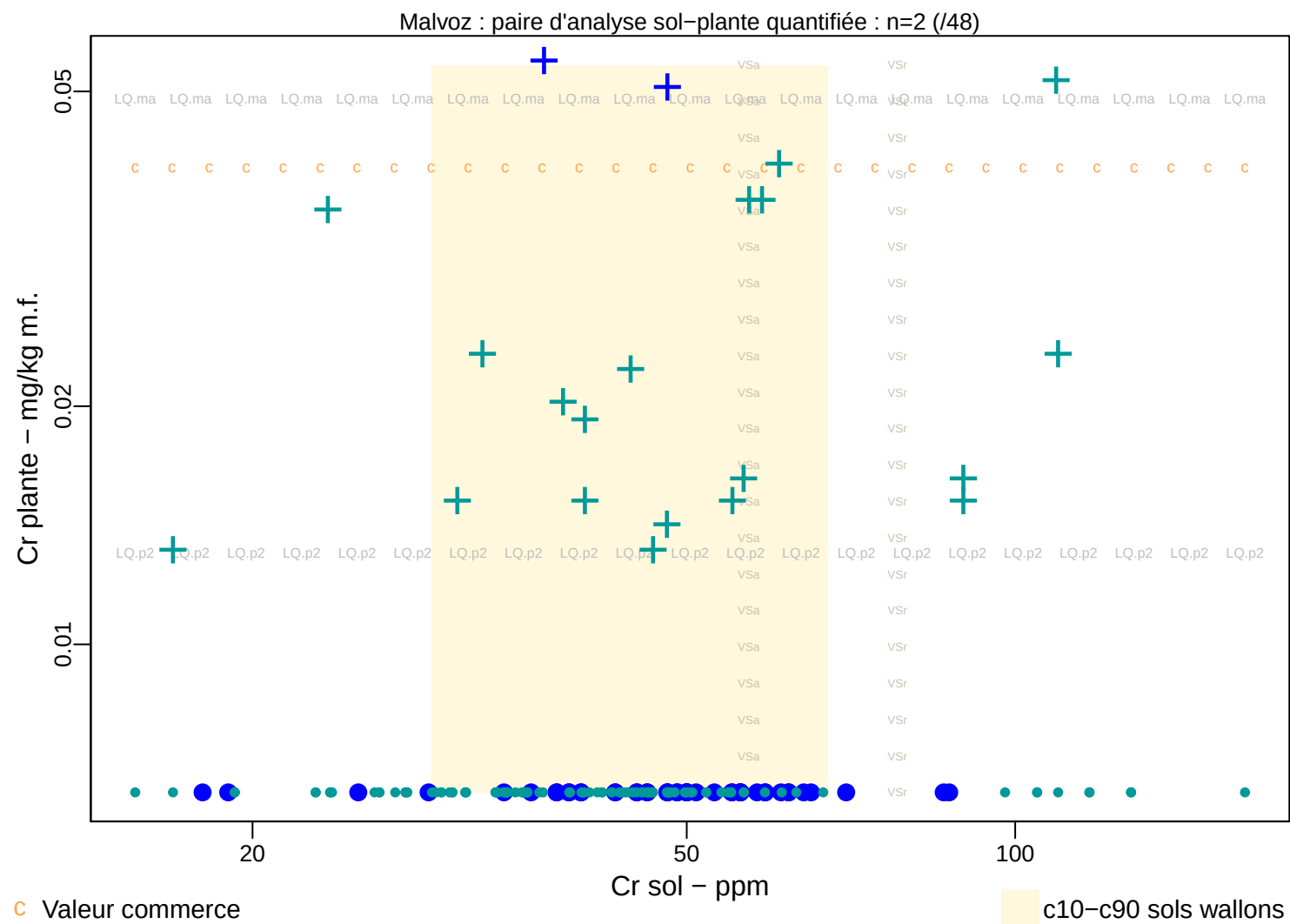
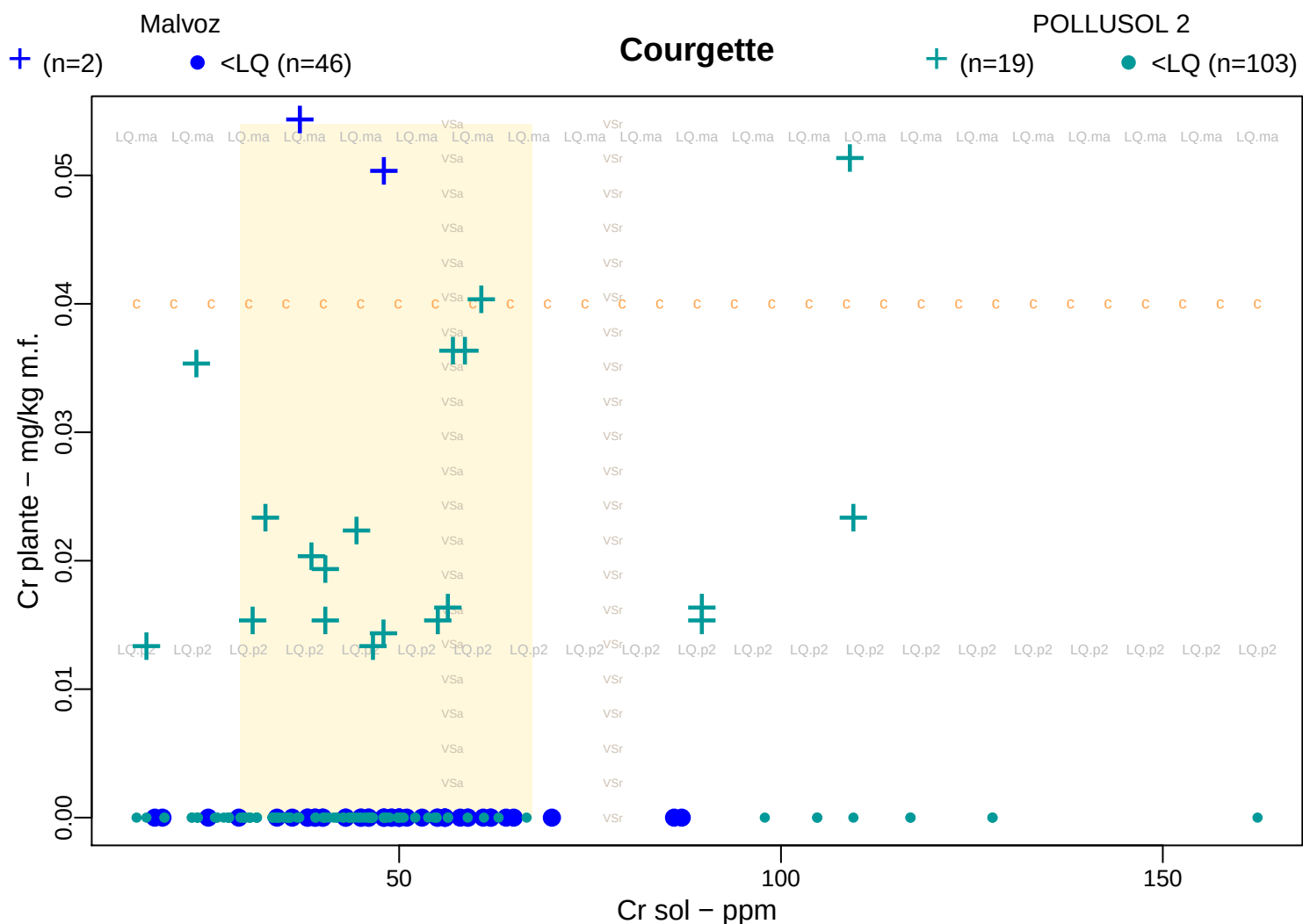


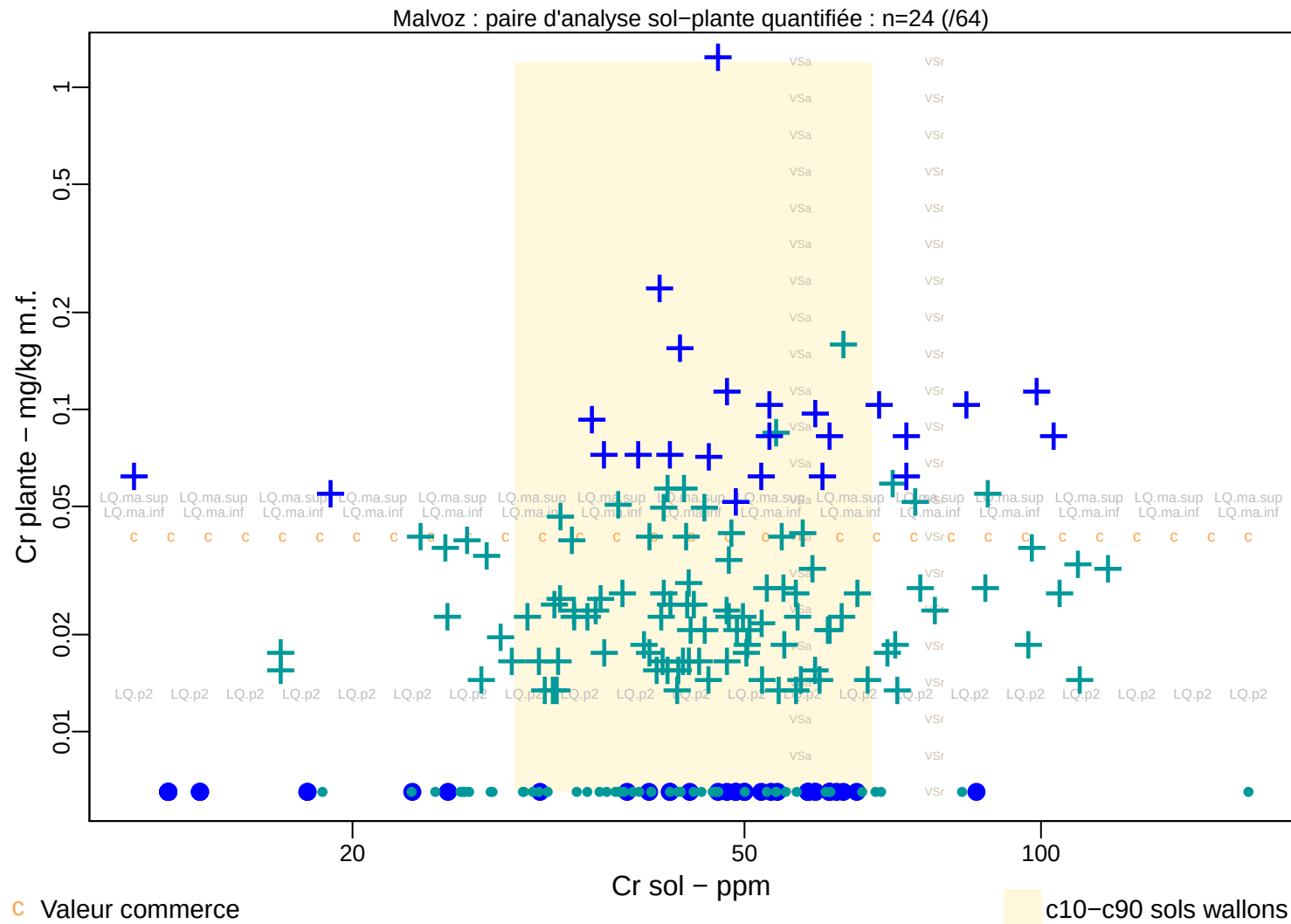
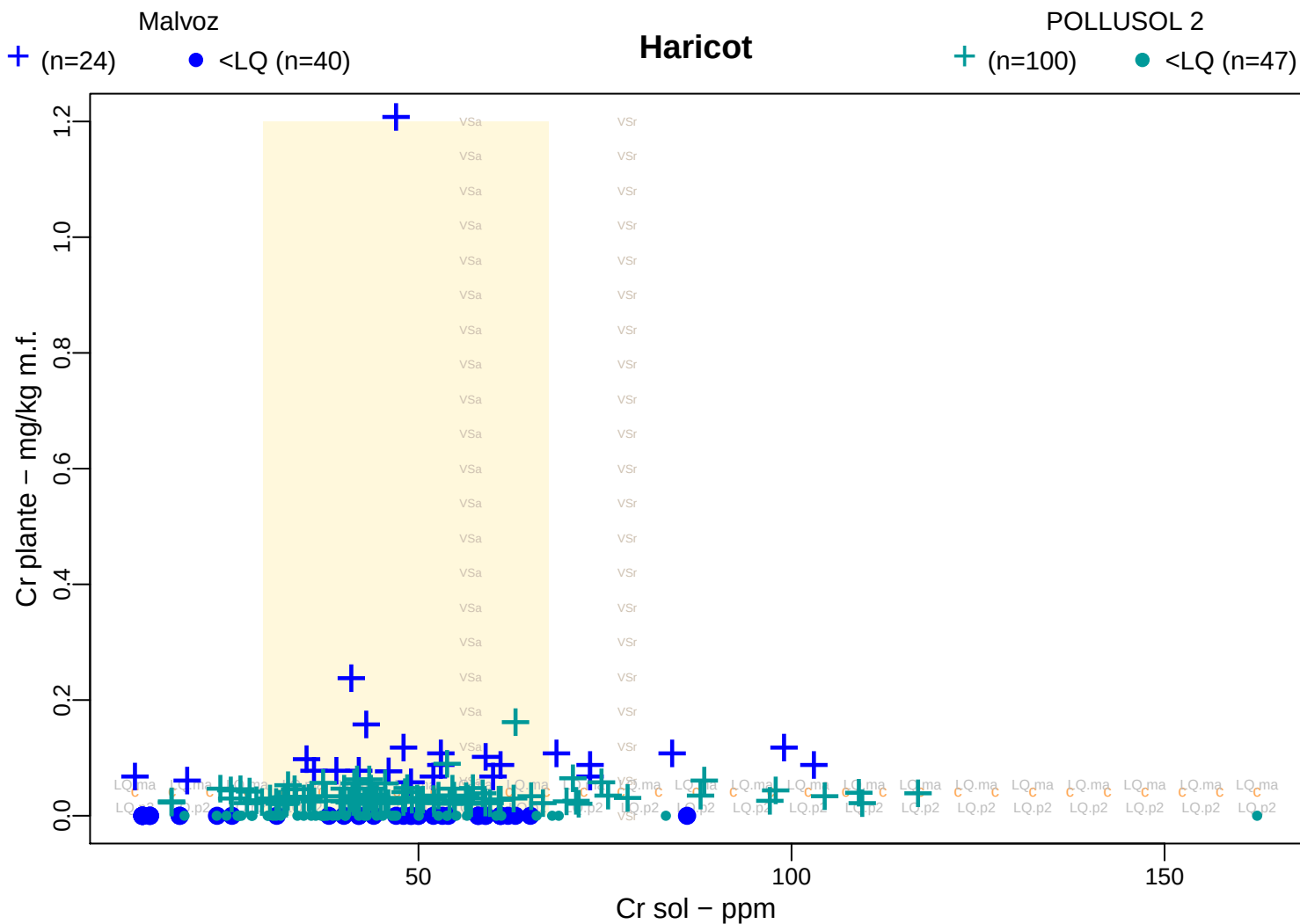
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=12 (/45)

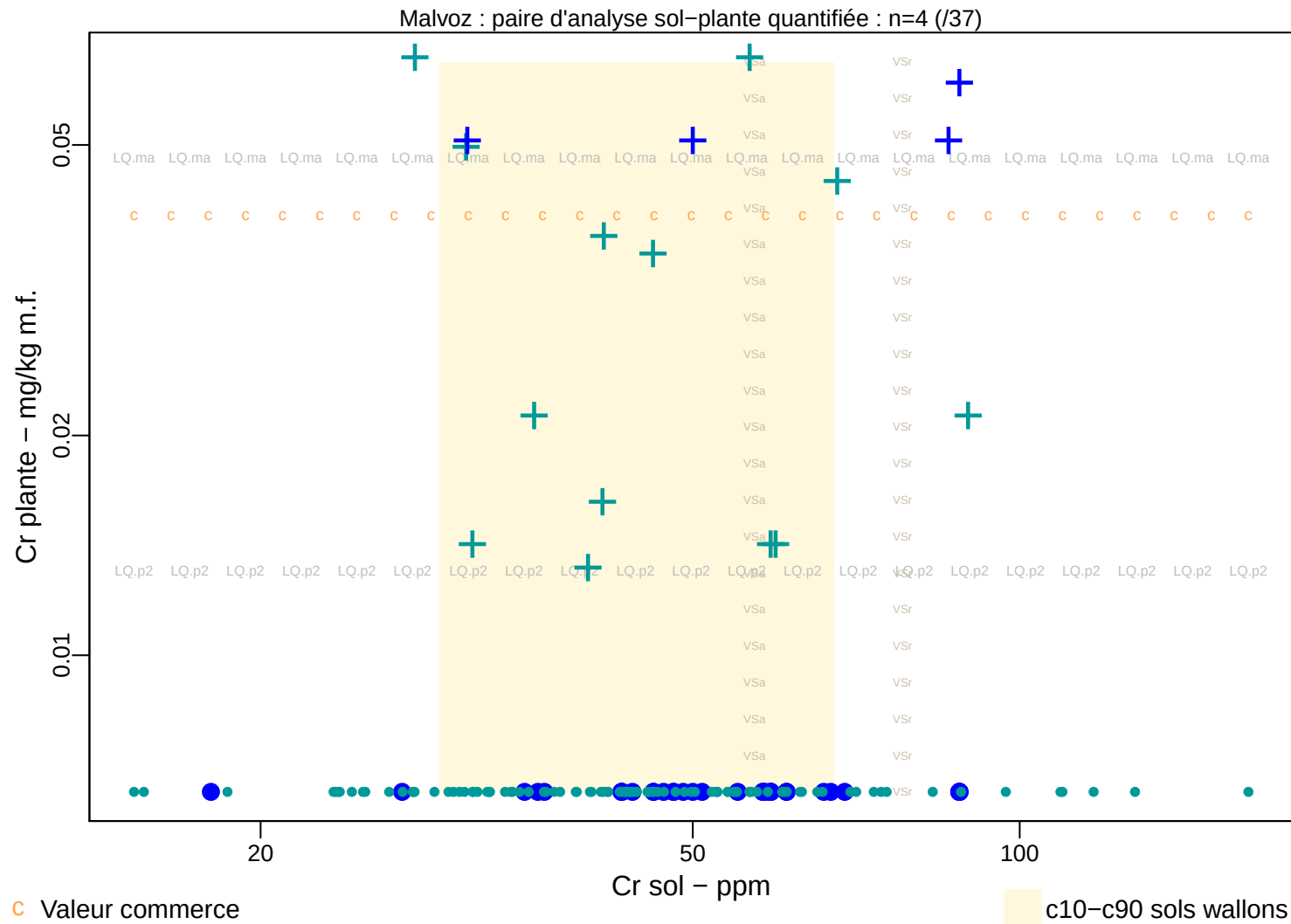
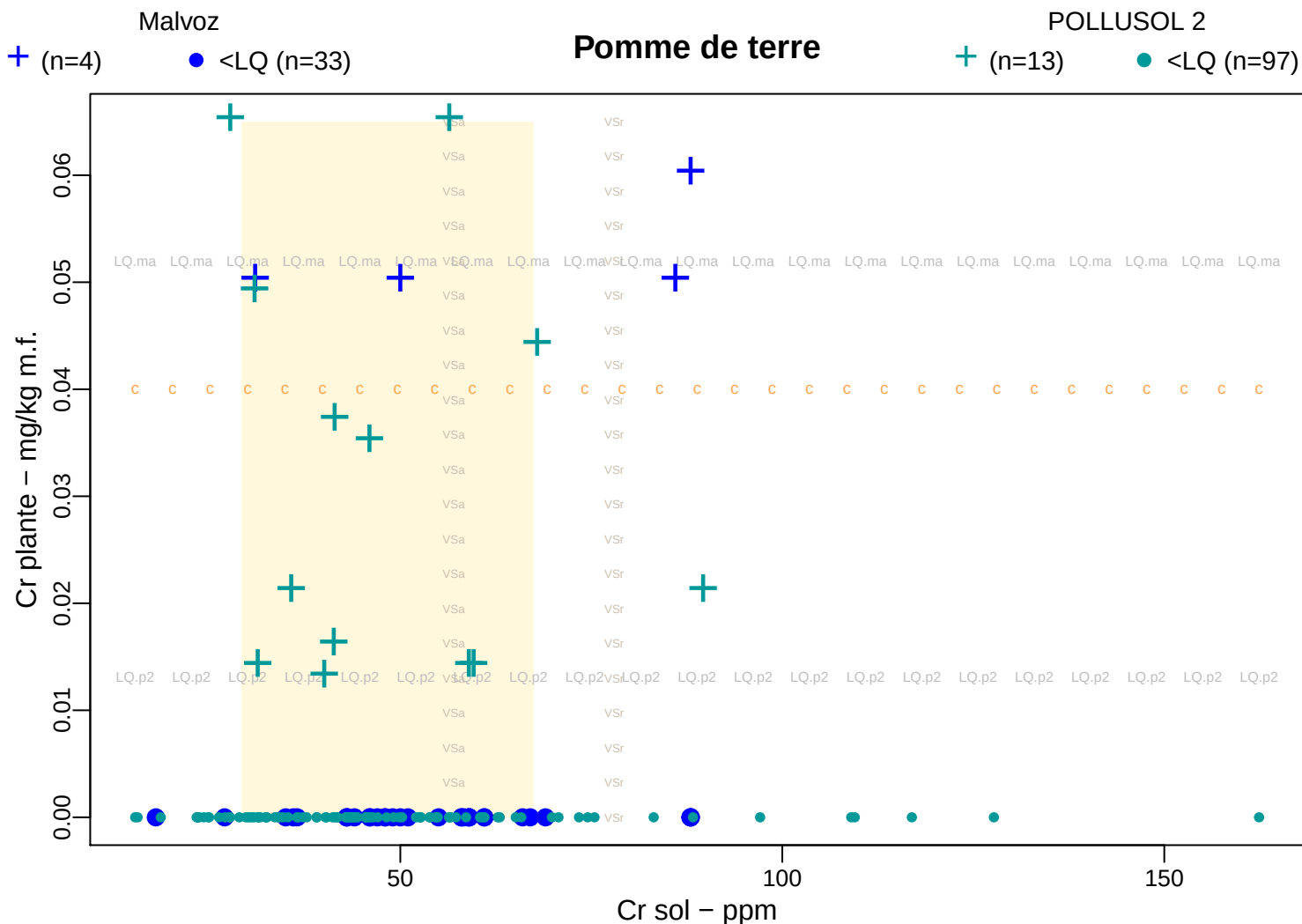


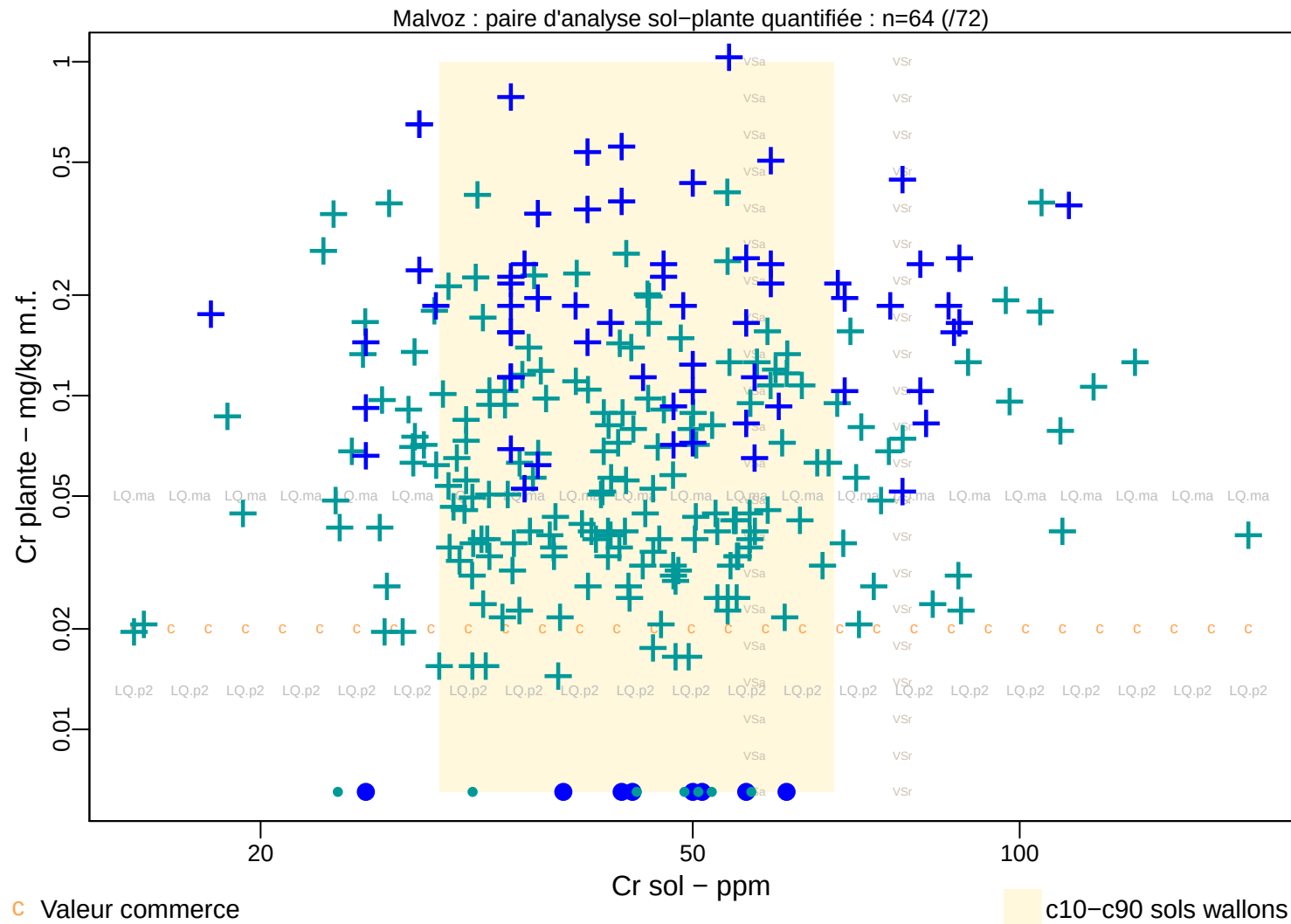
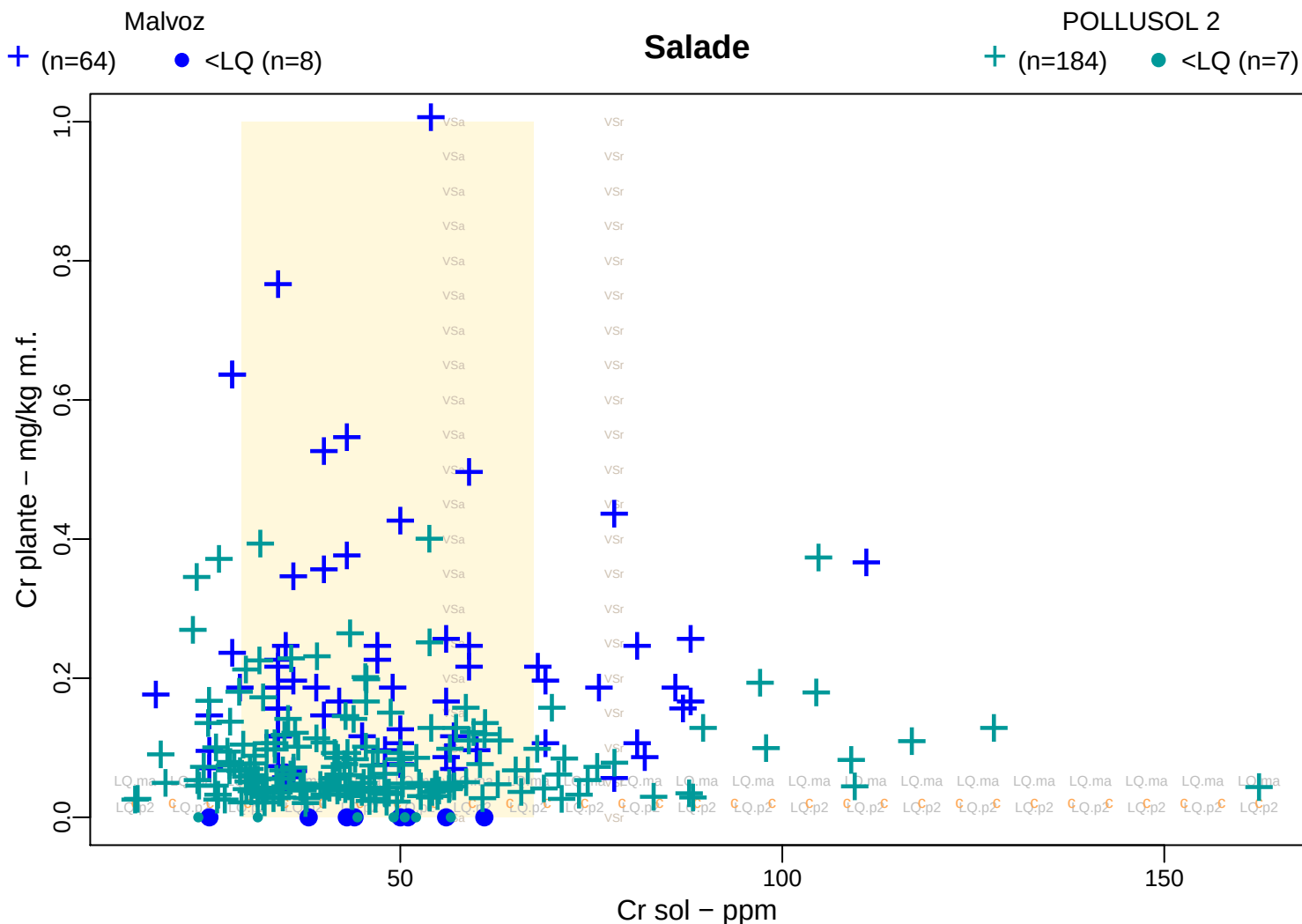
Valeur commerce

c10-c90 sols wallons

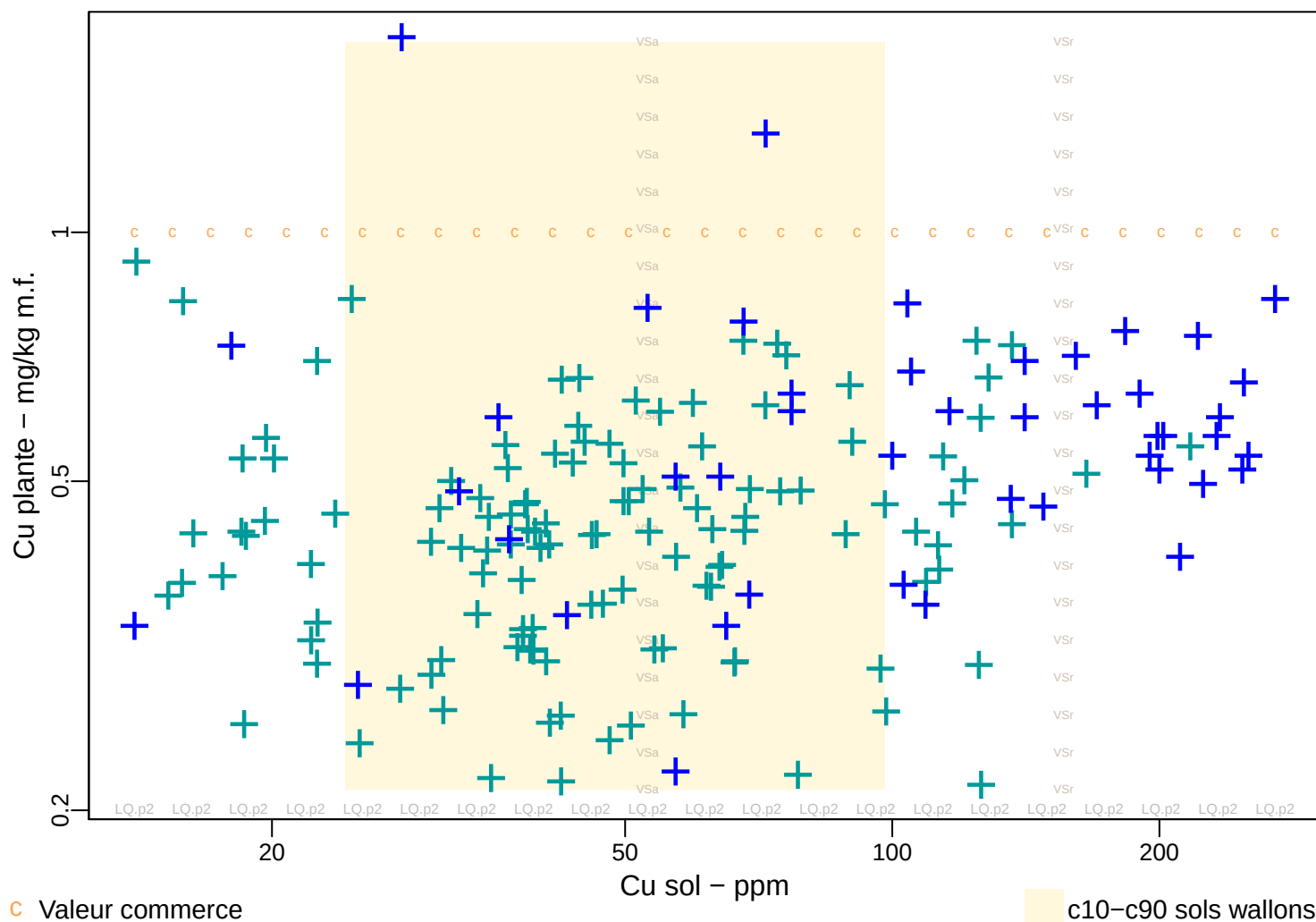
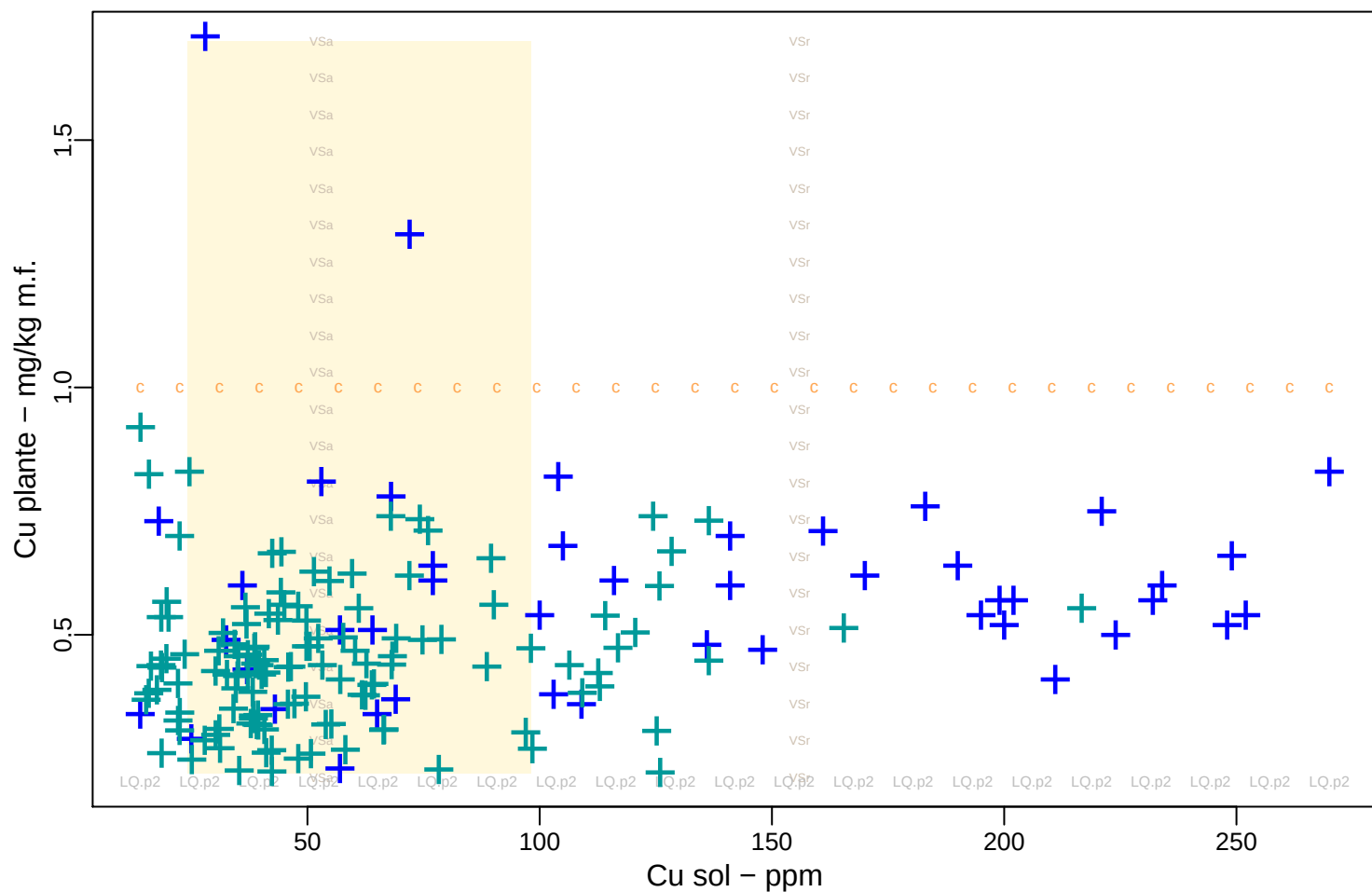






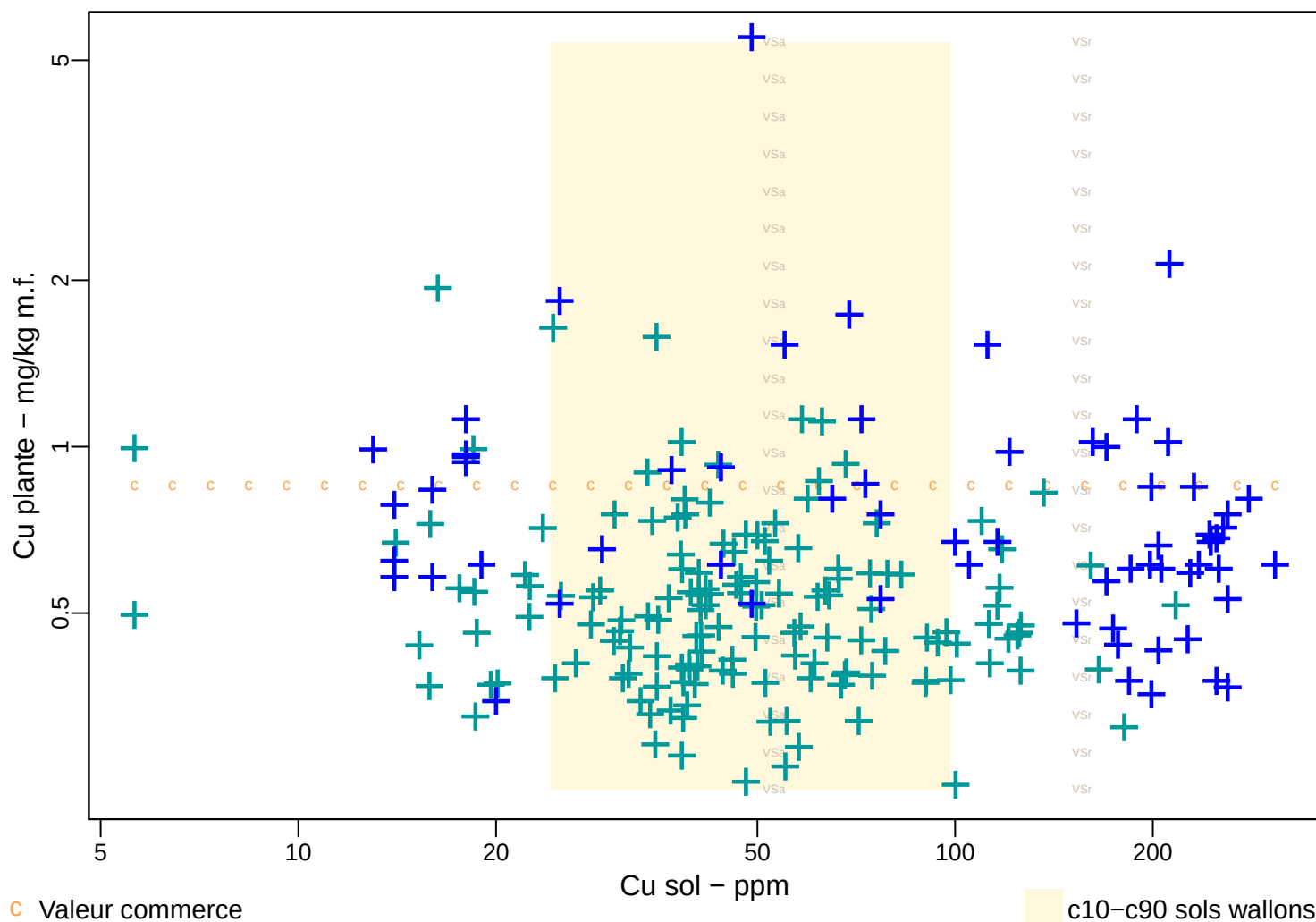
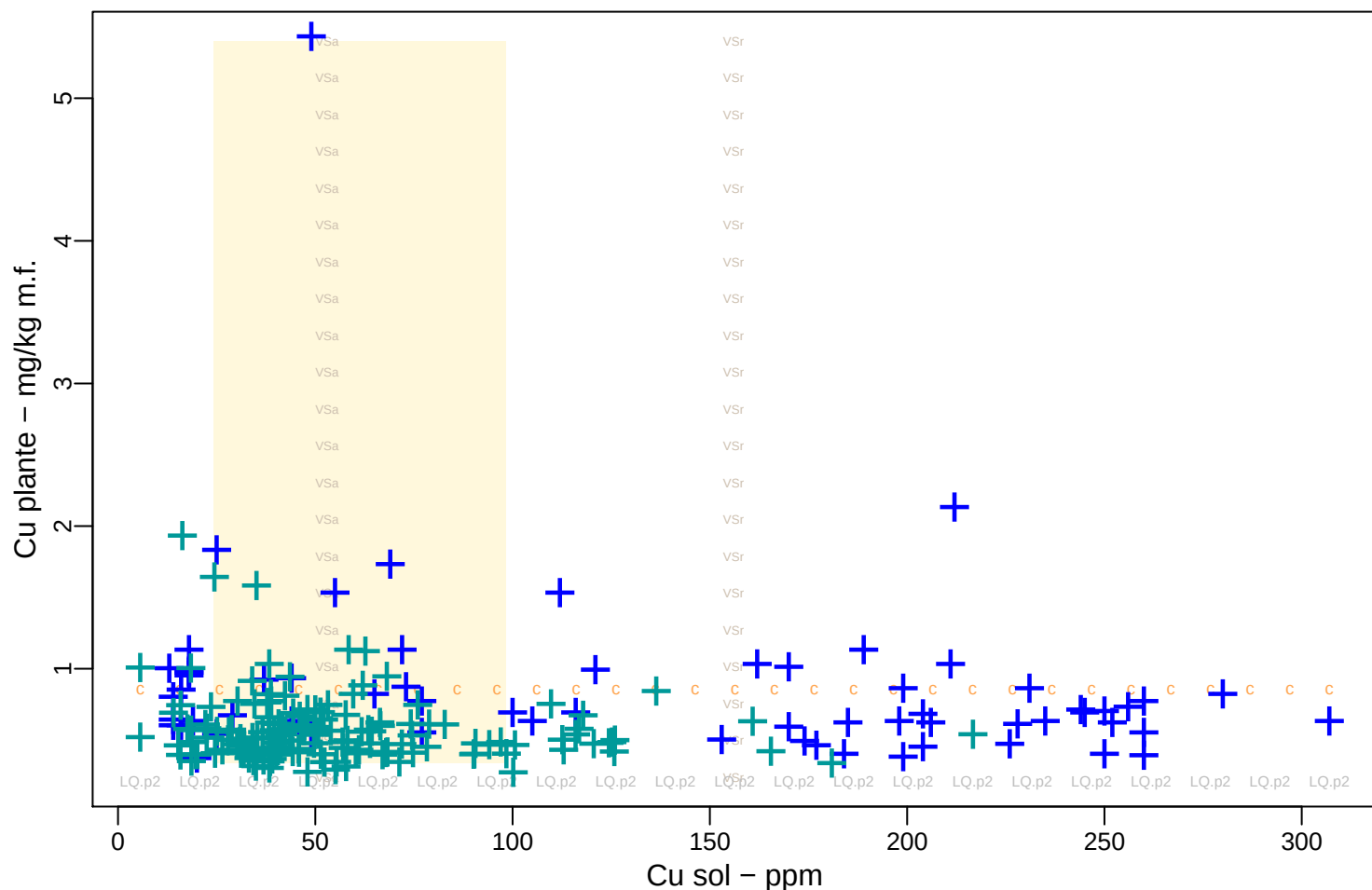


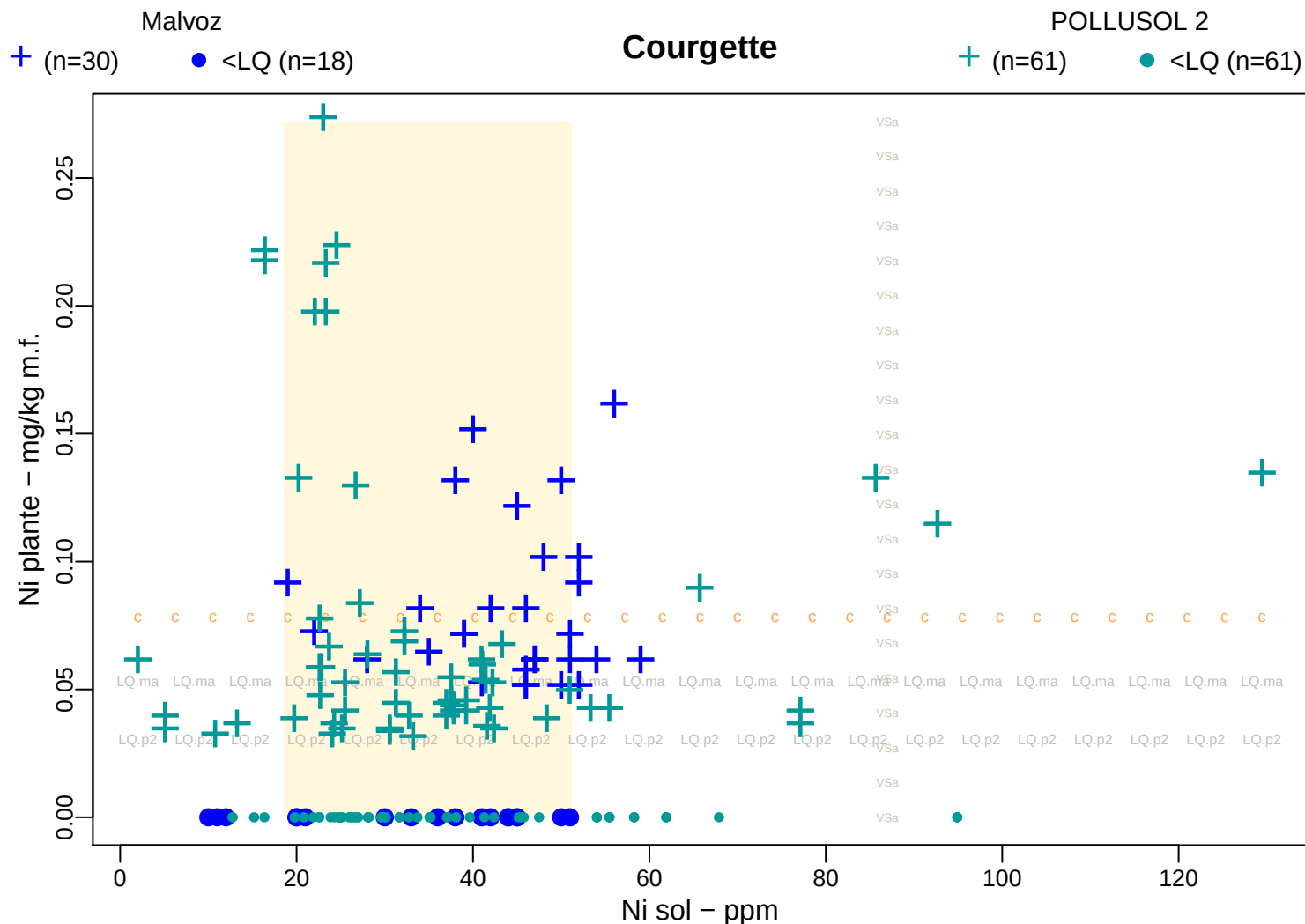
Malvoz Carotte POLLUSOL 2
+ (n=45) • <LQ (n=0) + (n=125) • <LQ (n=0)



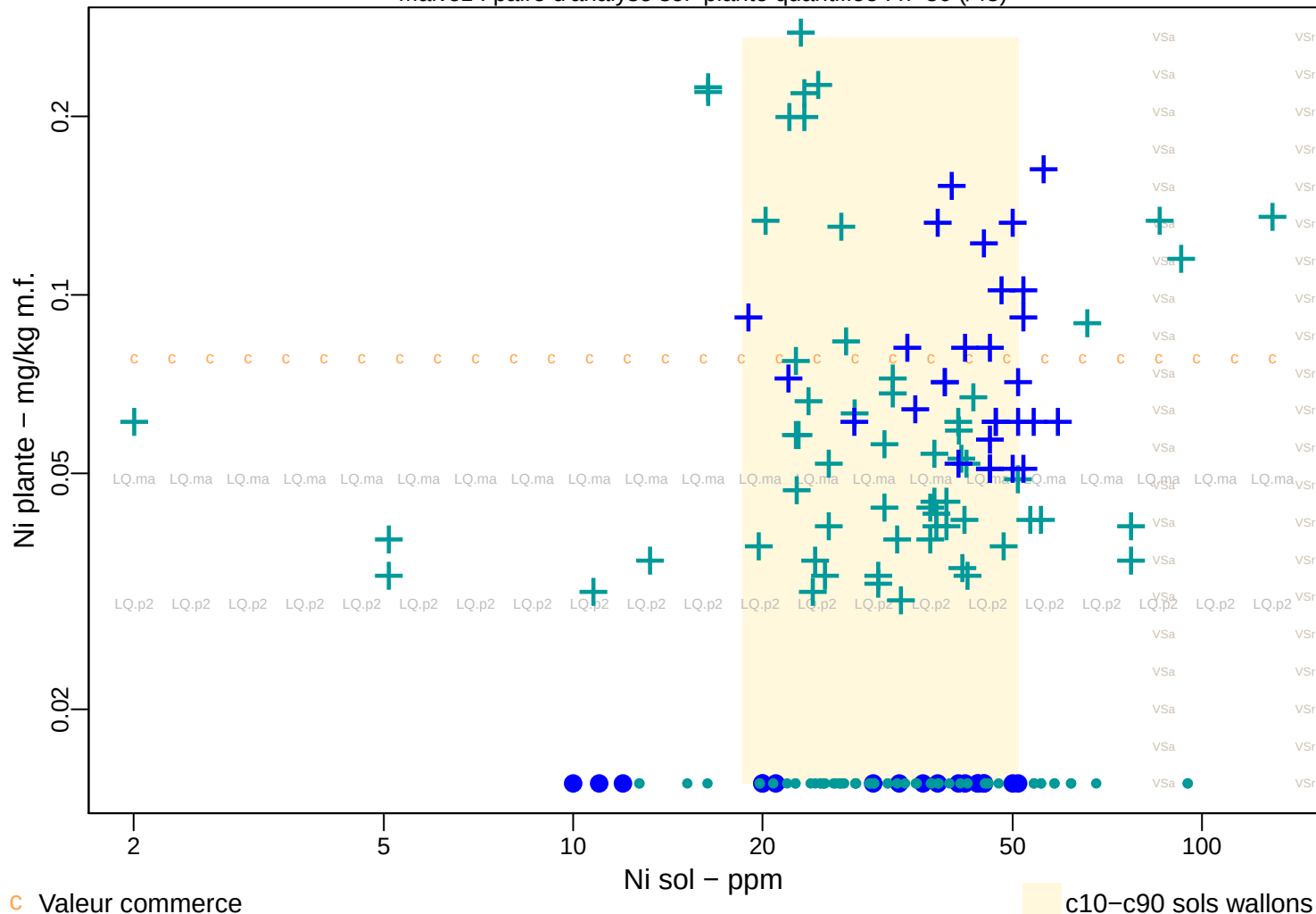
Malvoz Haricot POLLUSOL 2

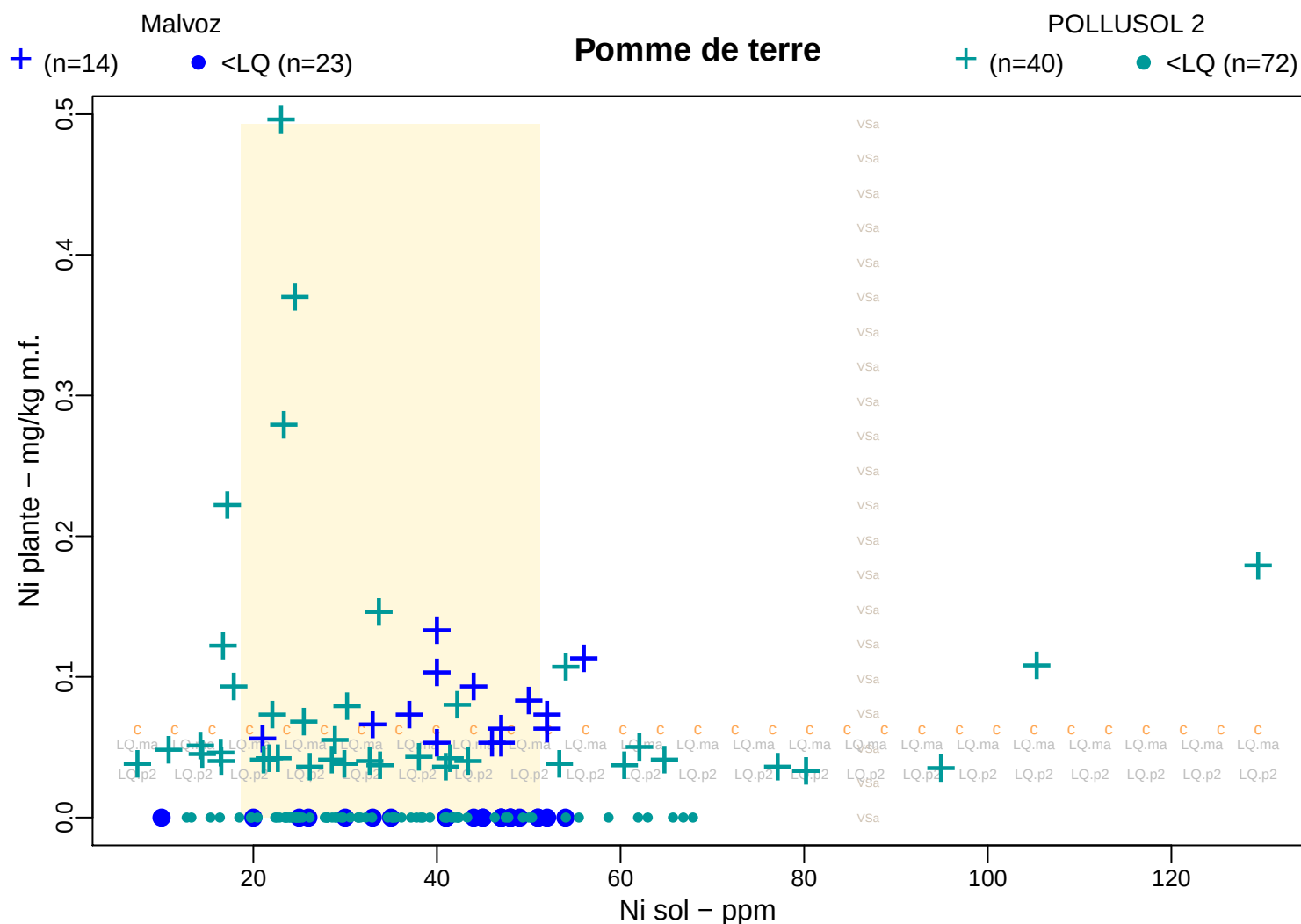
+ (n=64) • <LQ (n=0) + (n=149) • <LQ (n=0)



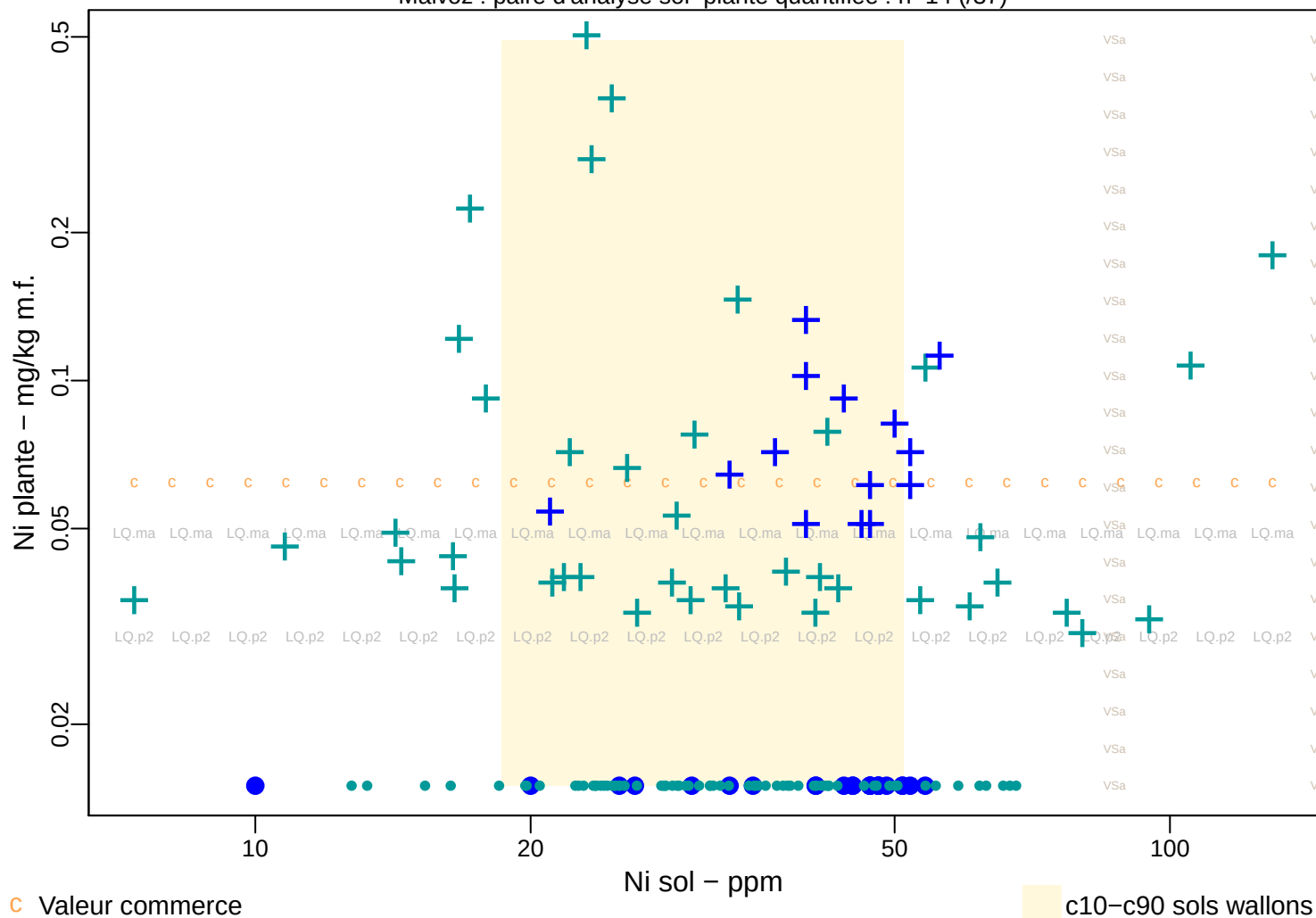


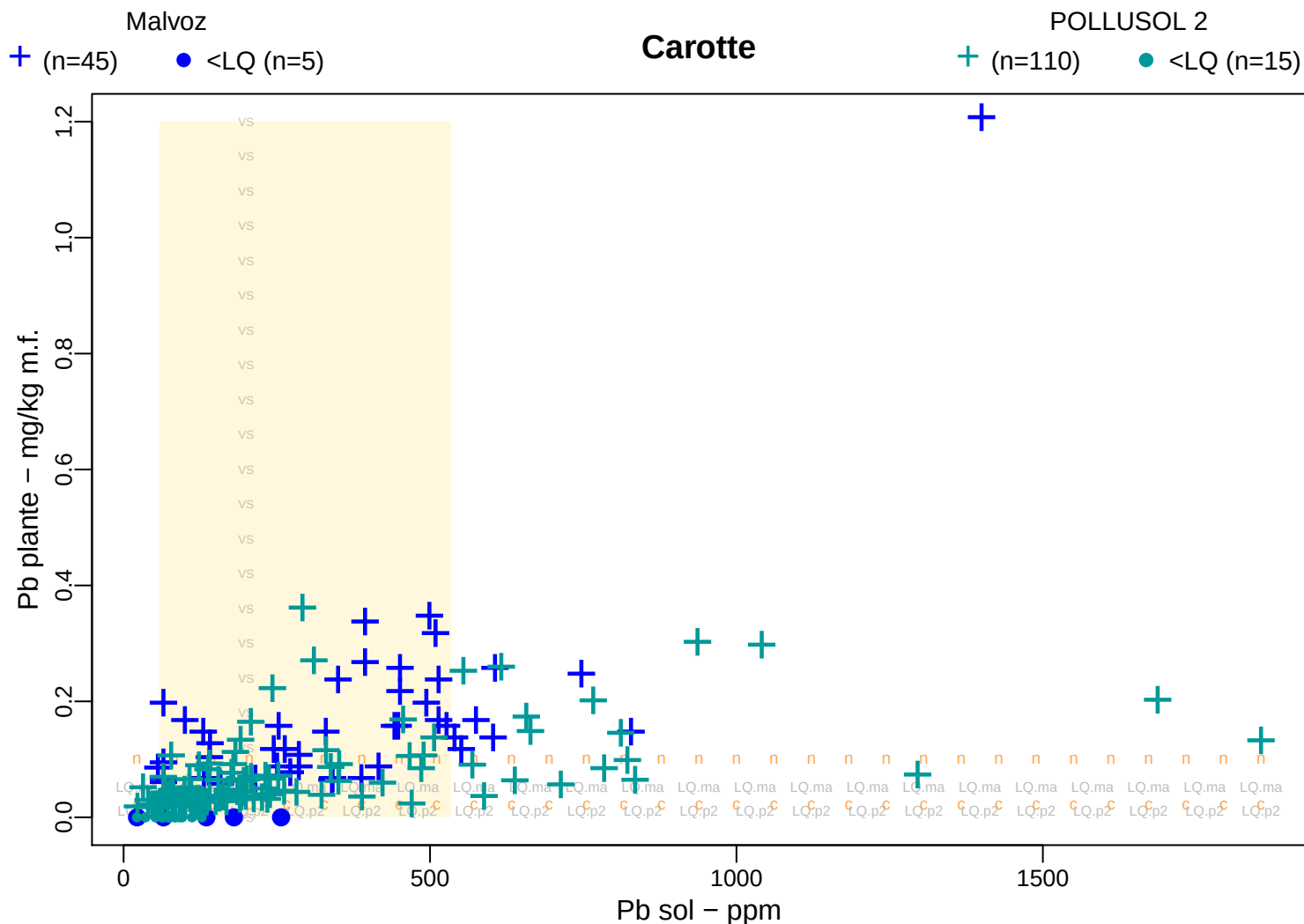
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=30 (/48)



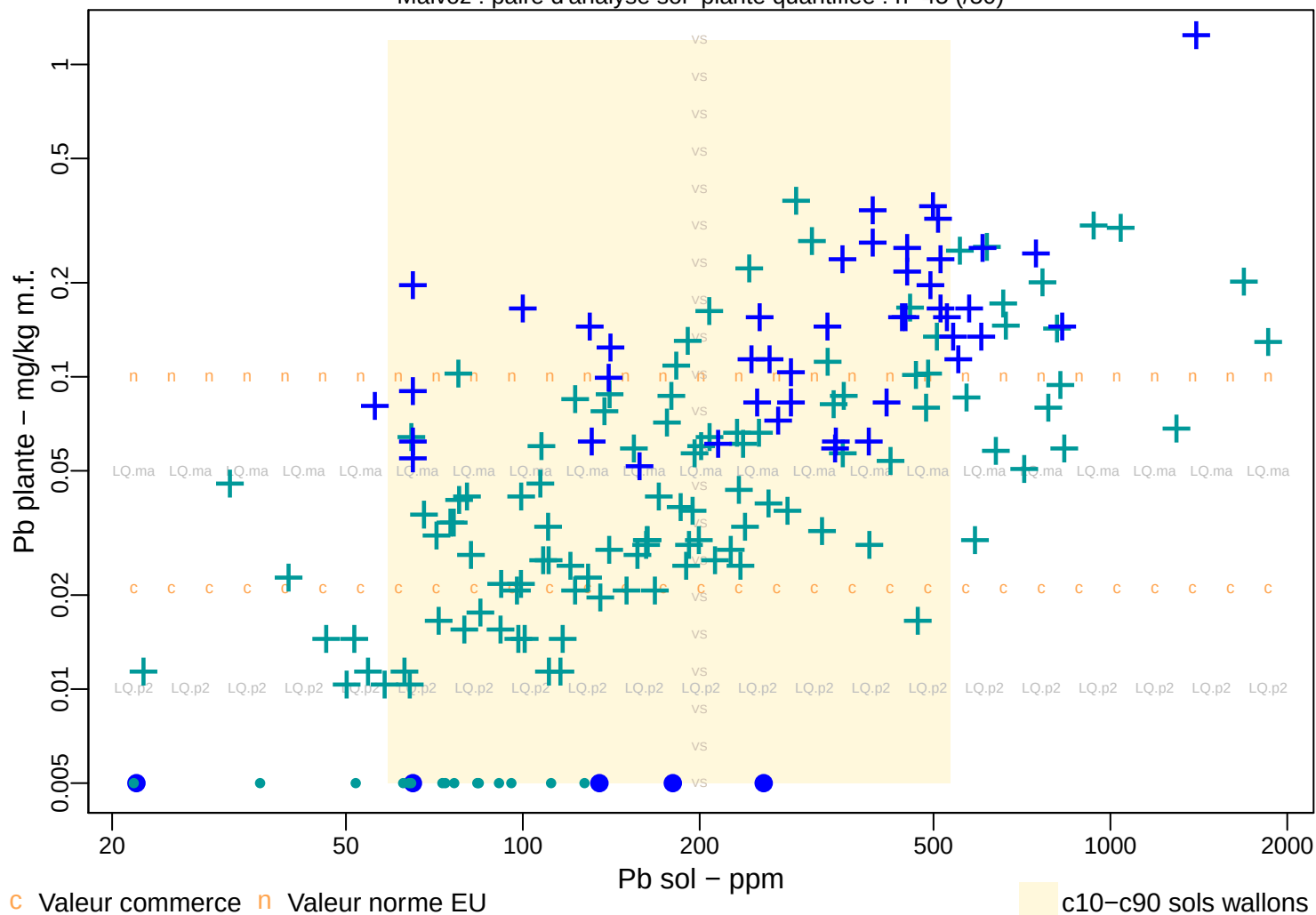


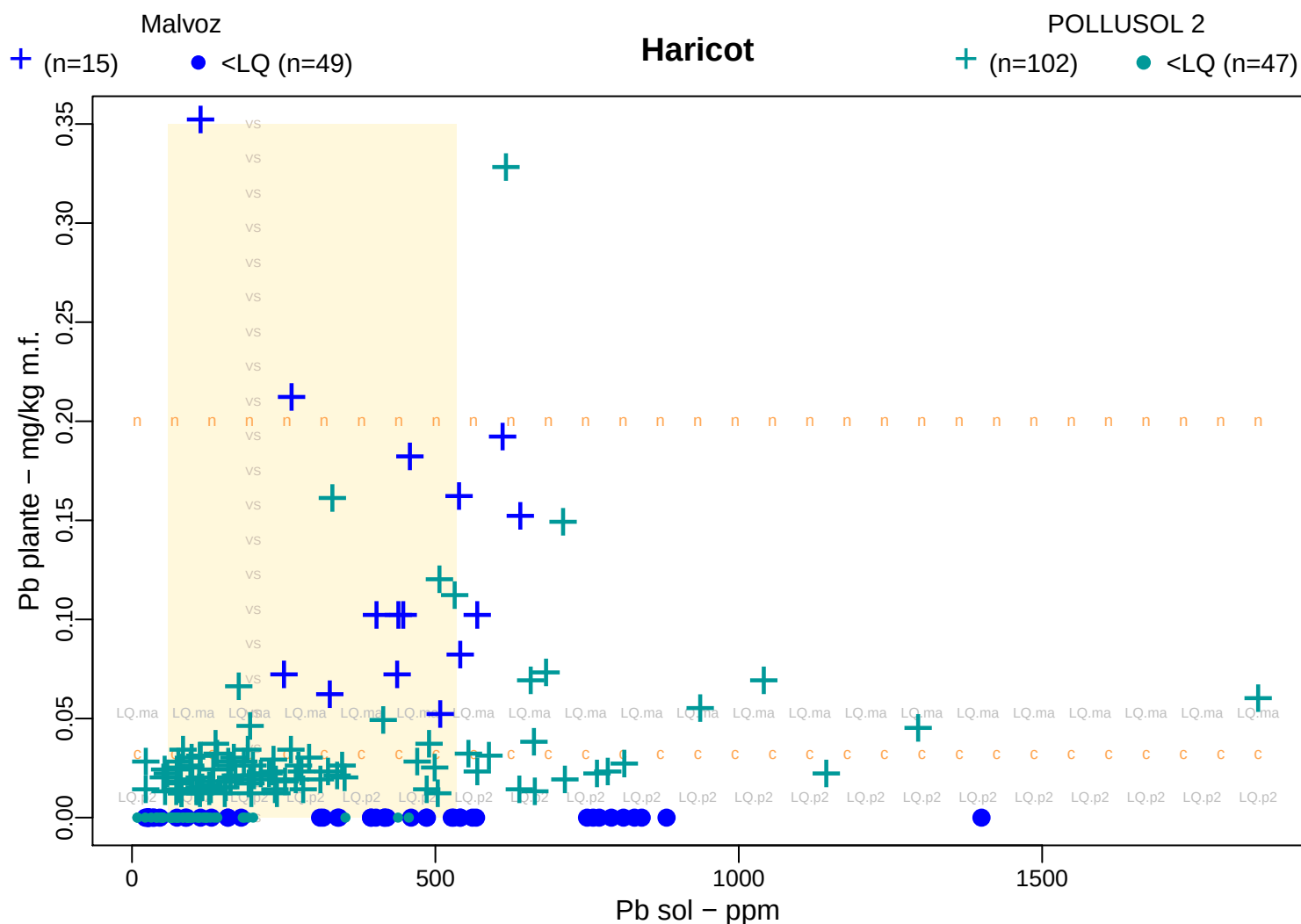
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=14 (/37)



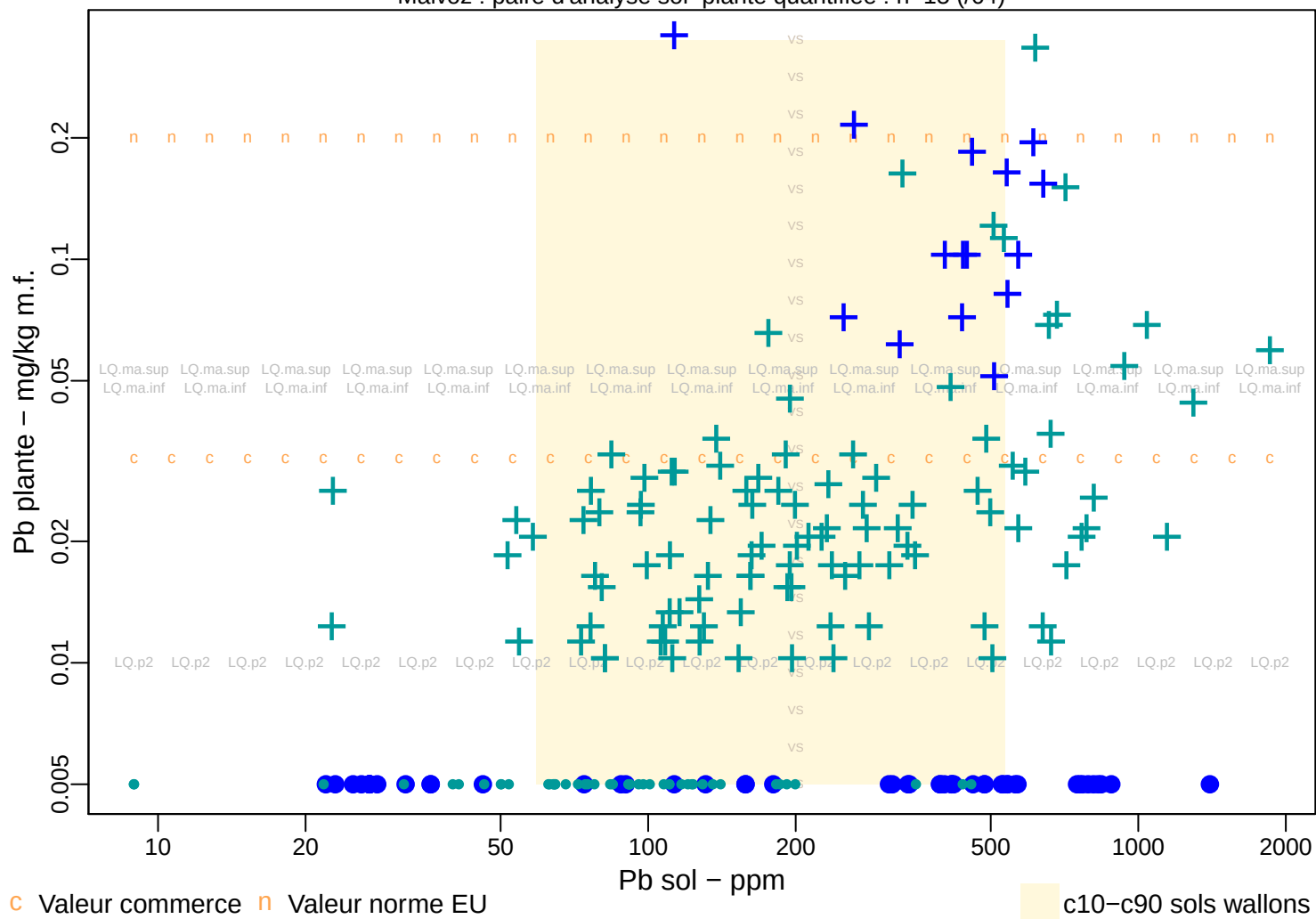


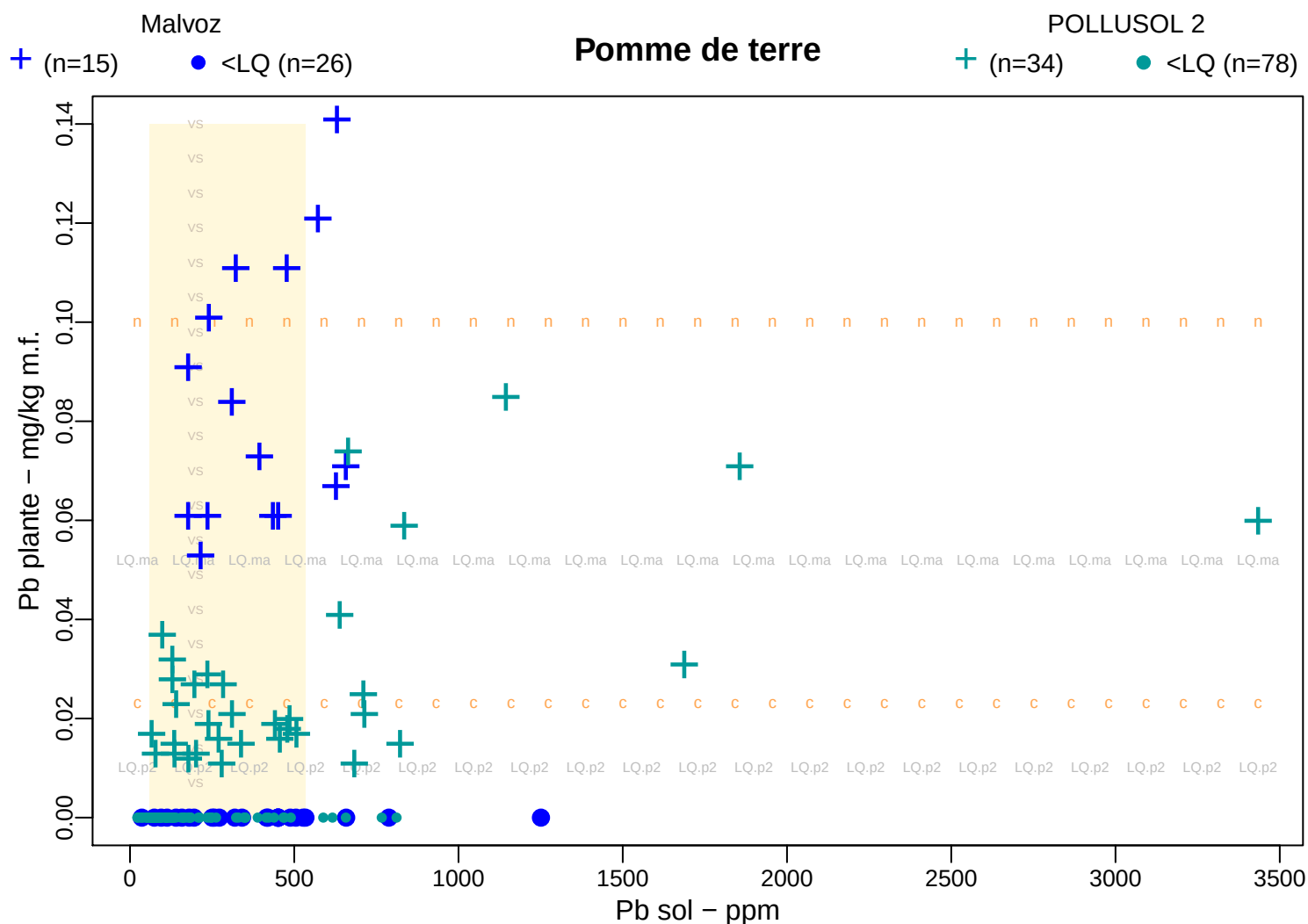
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=45 (/50)



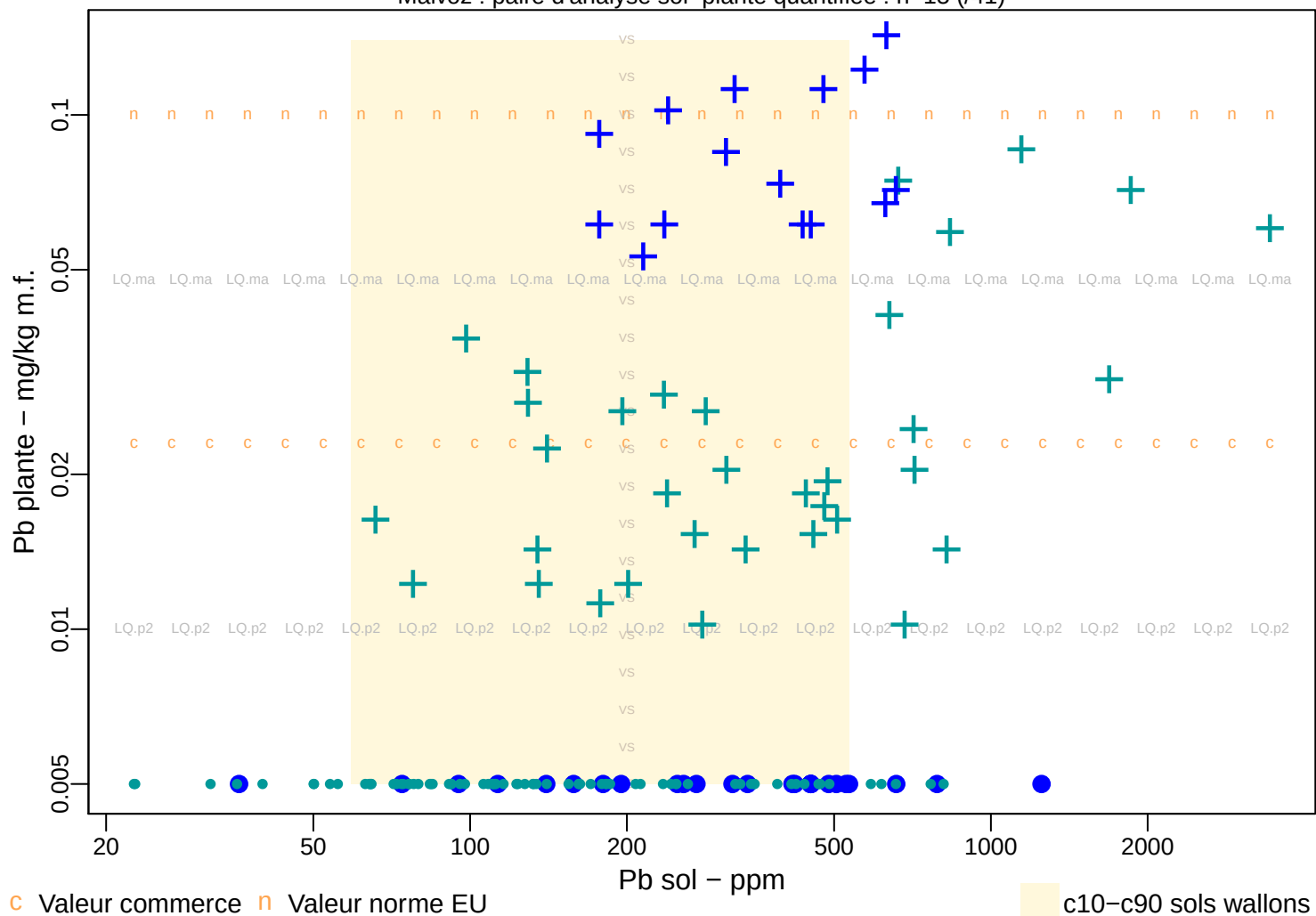


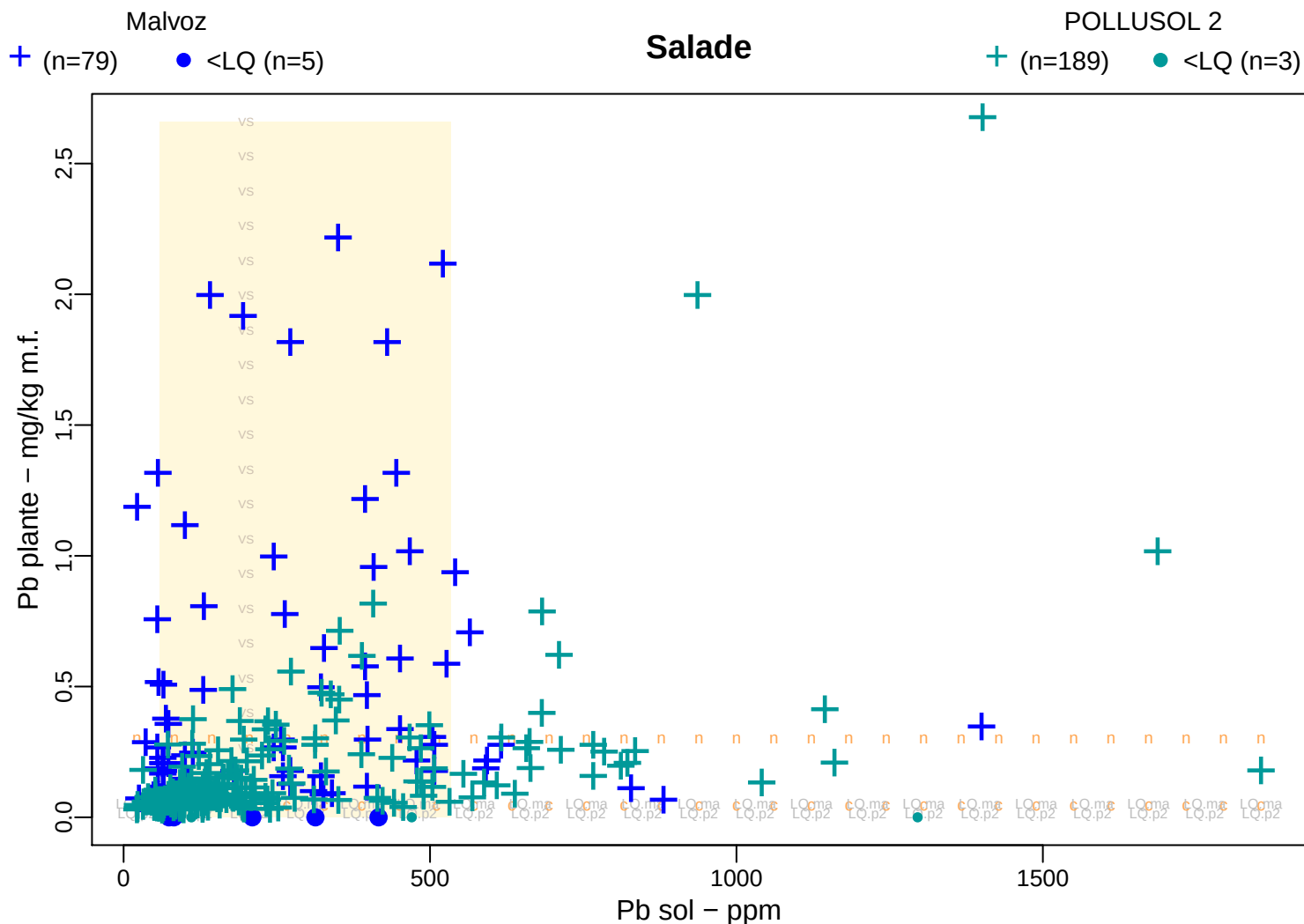
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=15 (/64)



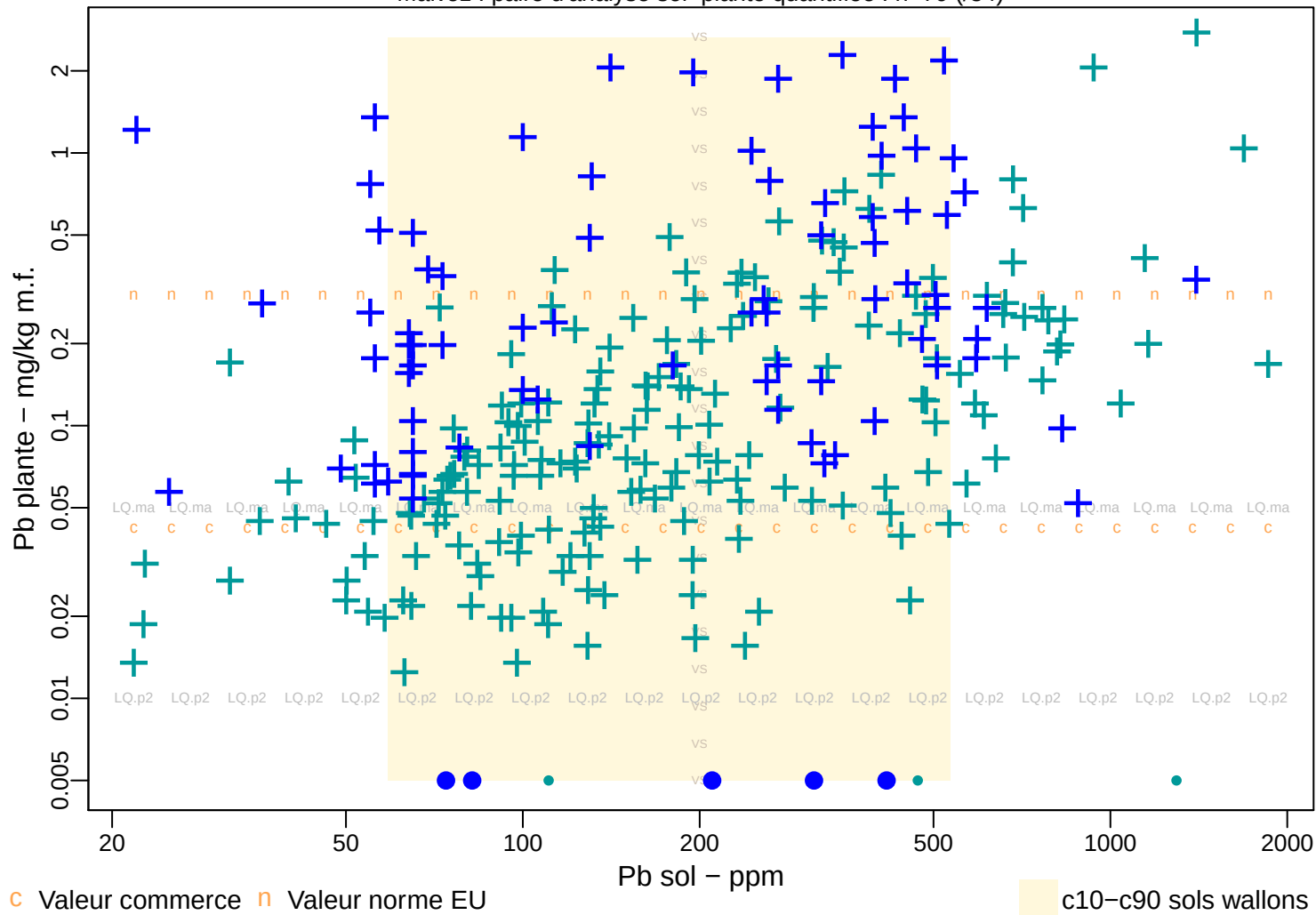


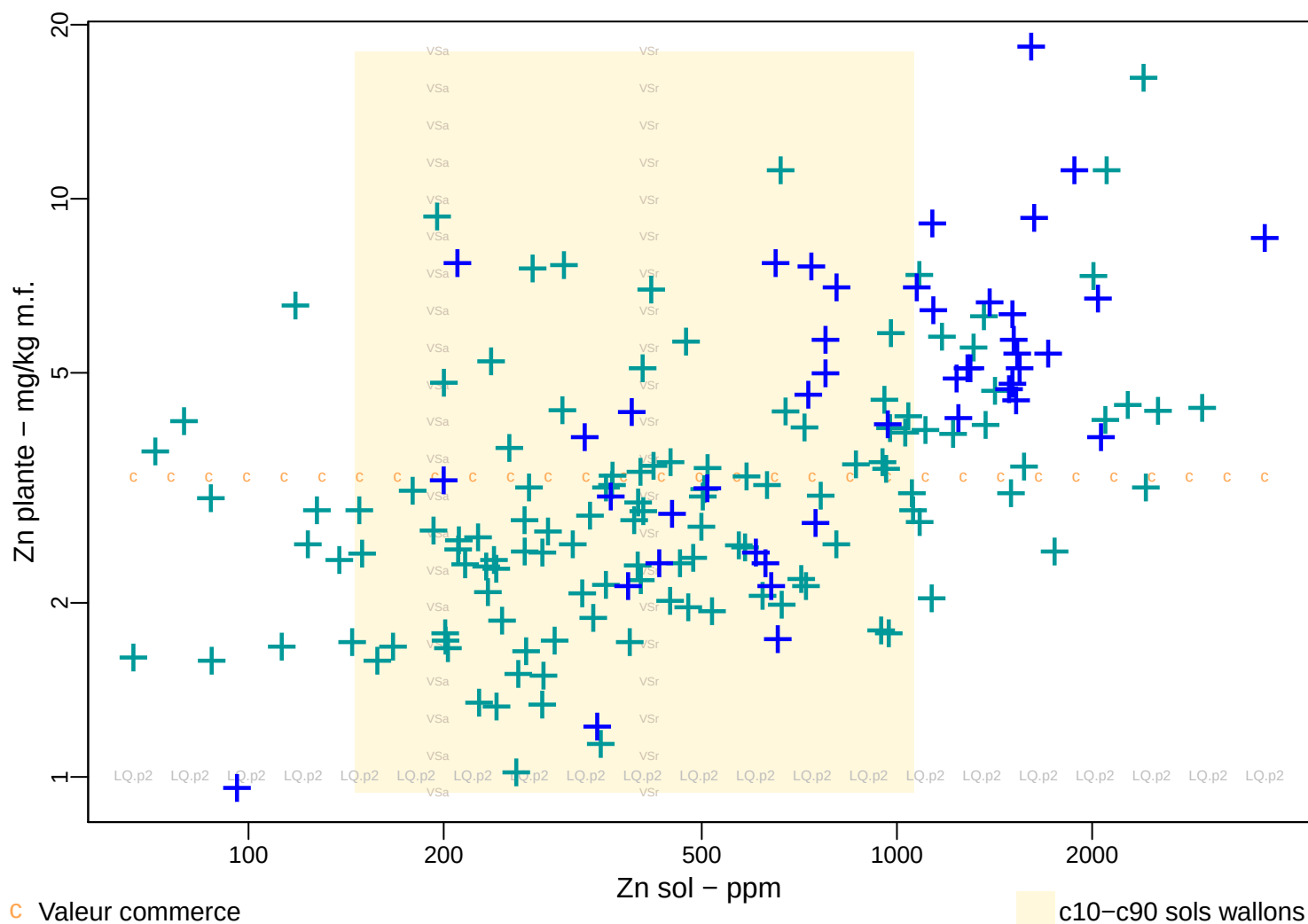
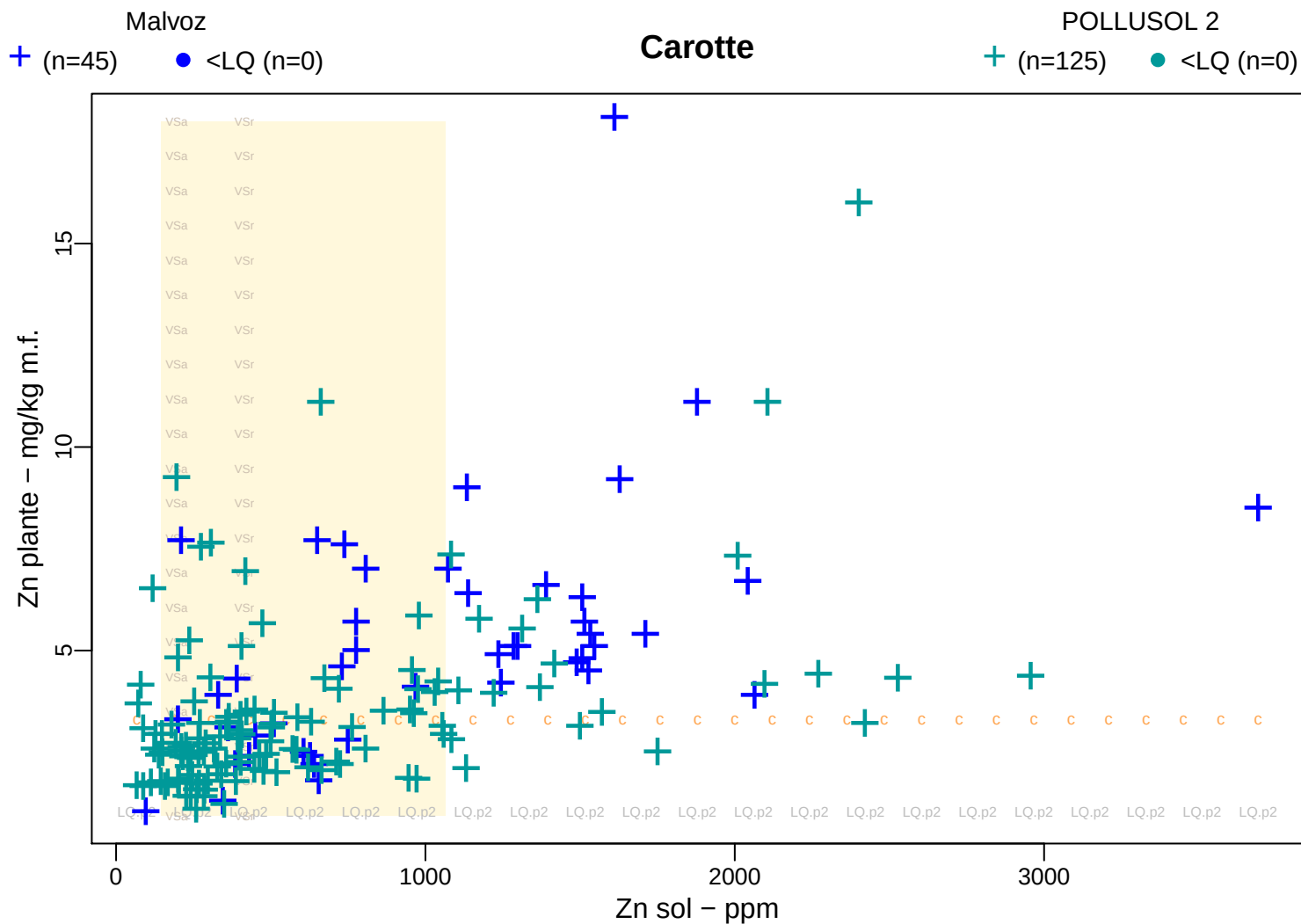
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=15 (/41)





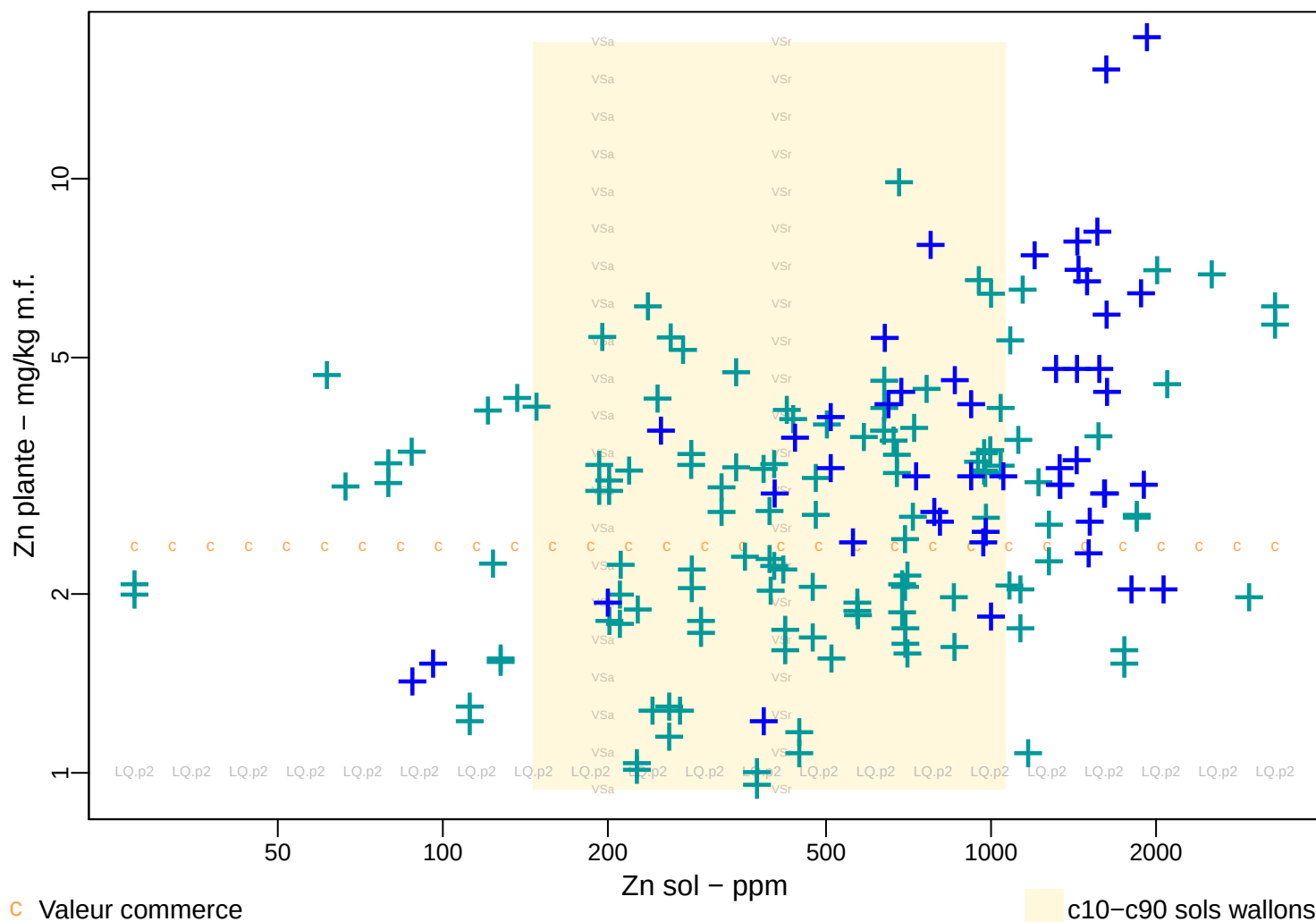
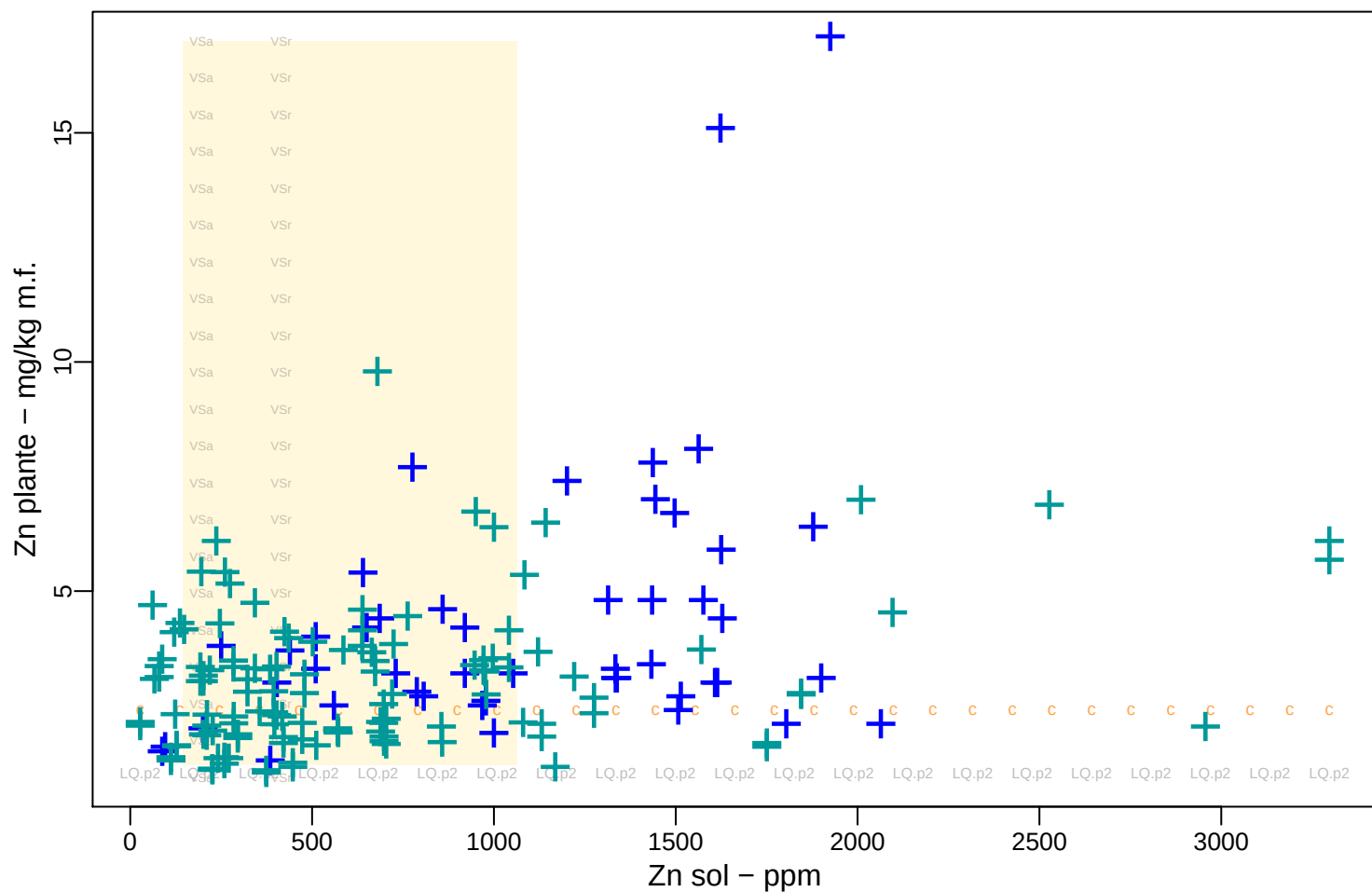
Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=79 (/84)



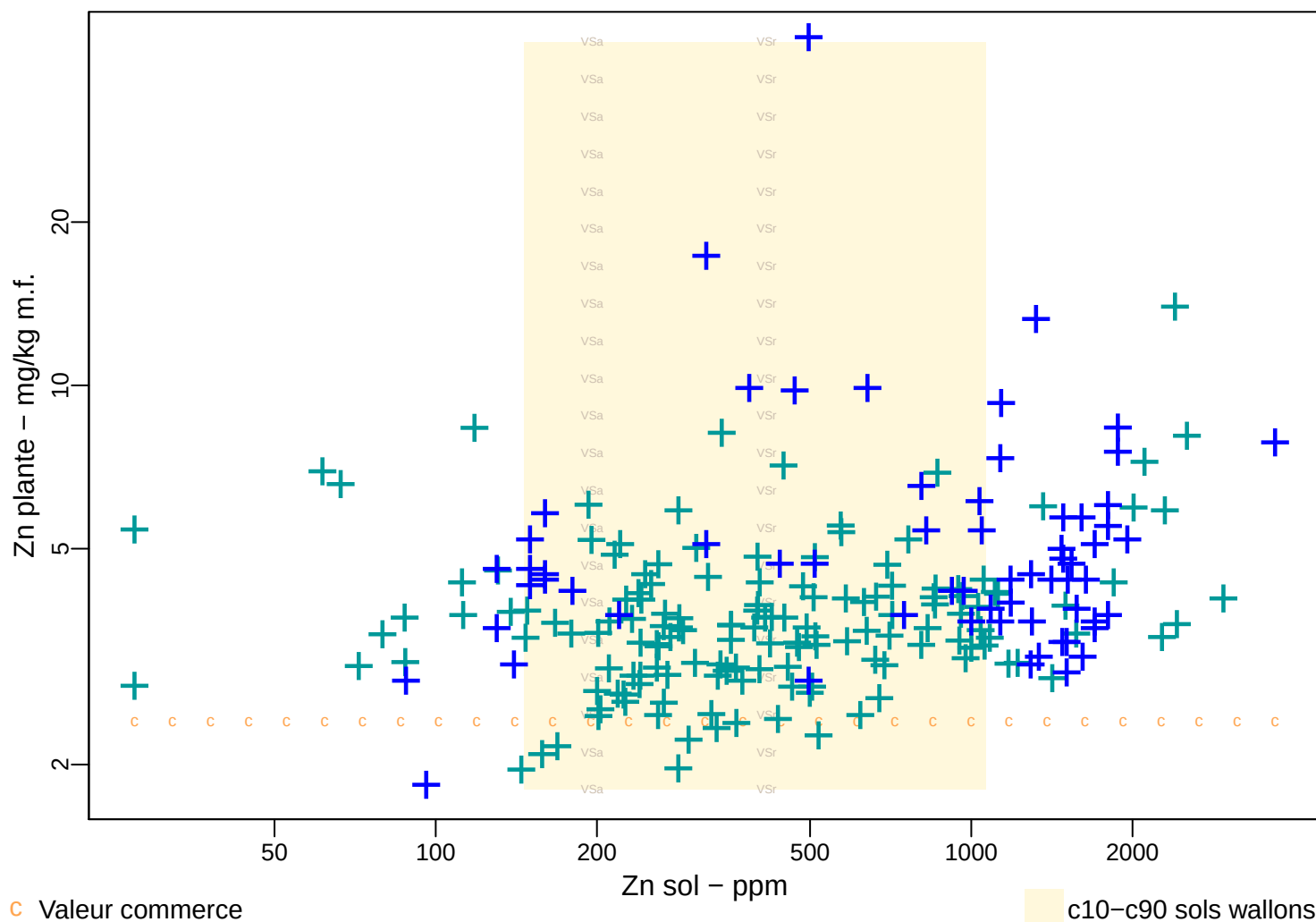
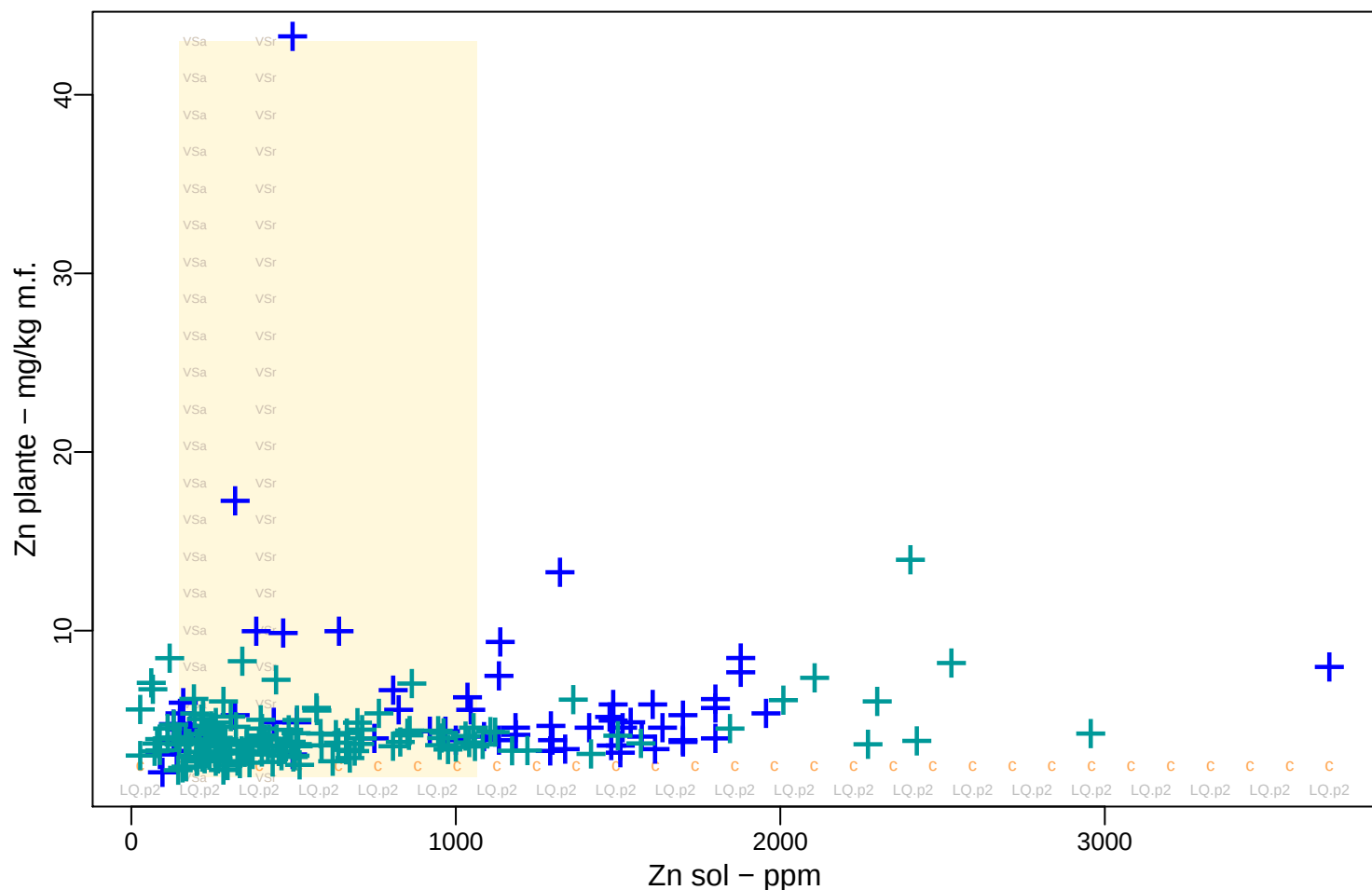


Malvoz Courgette POLLUSOL 2

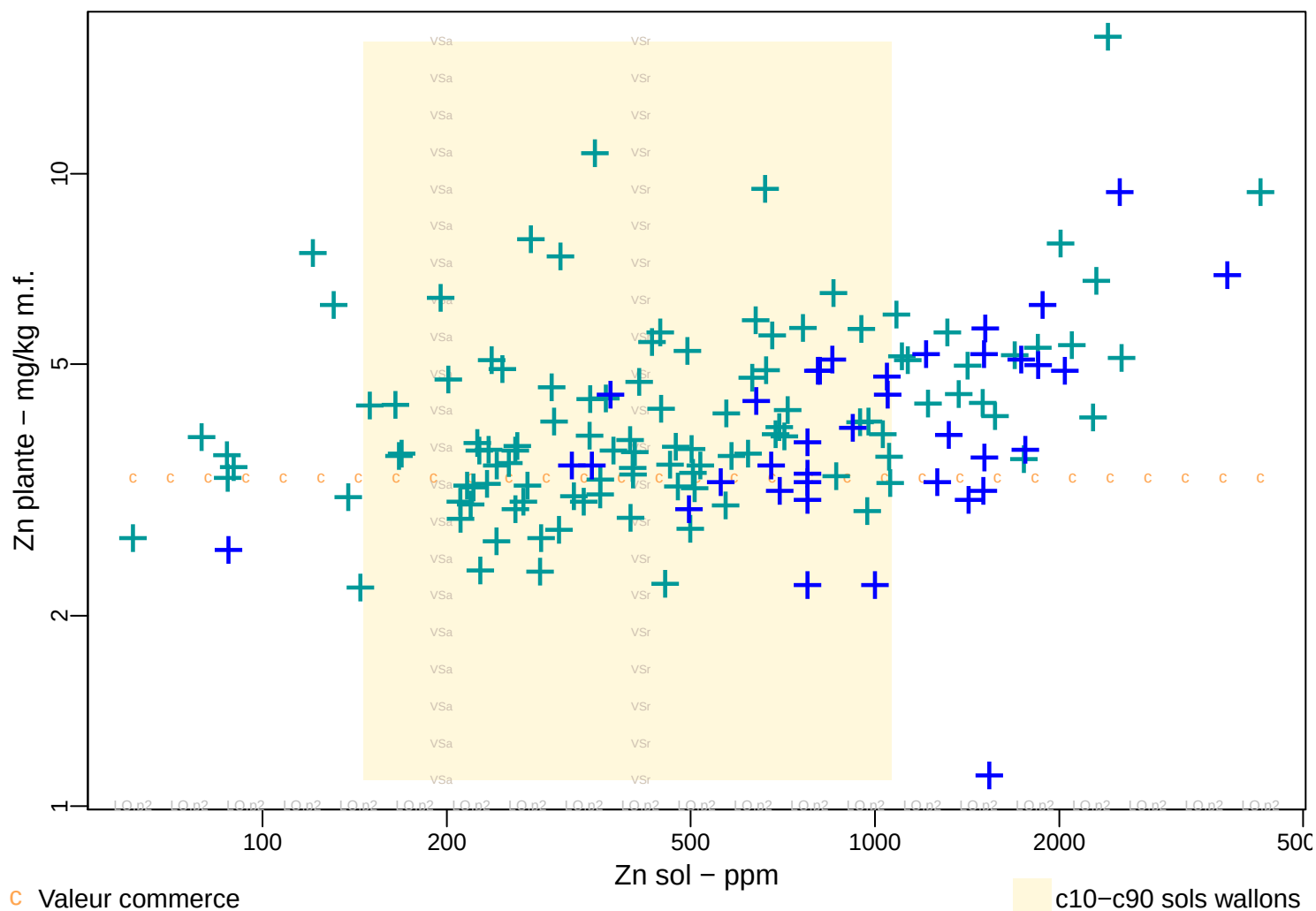
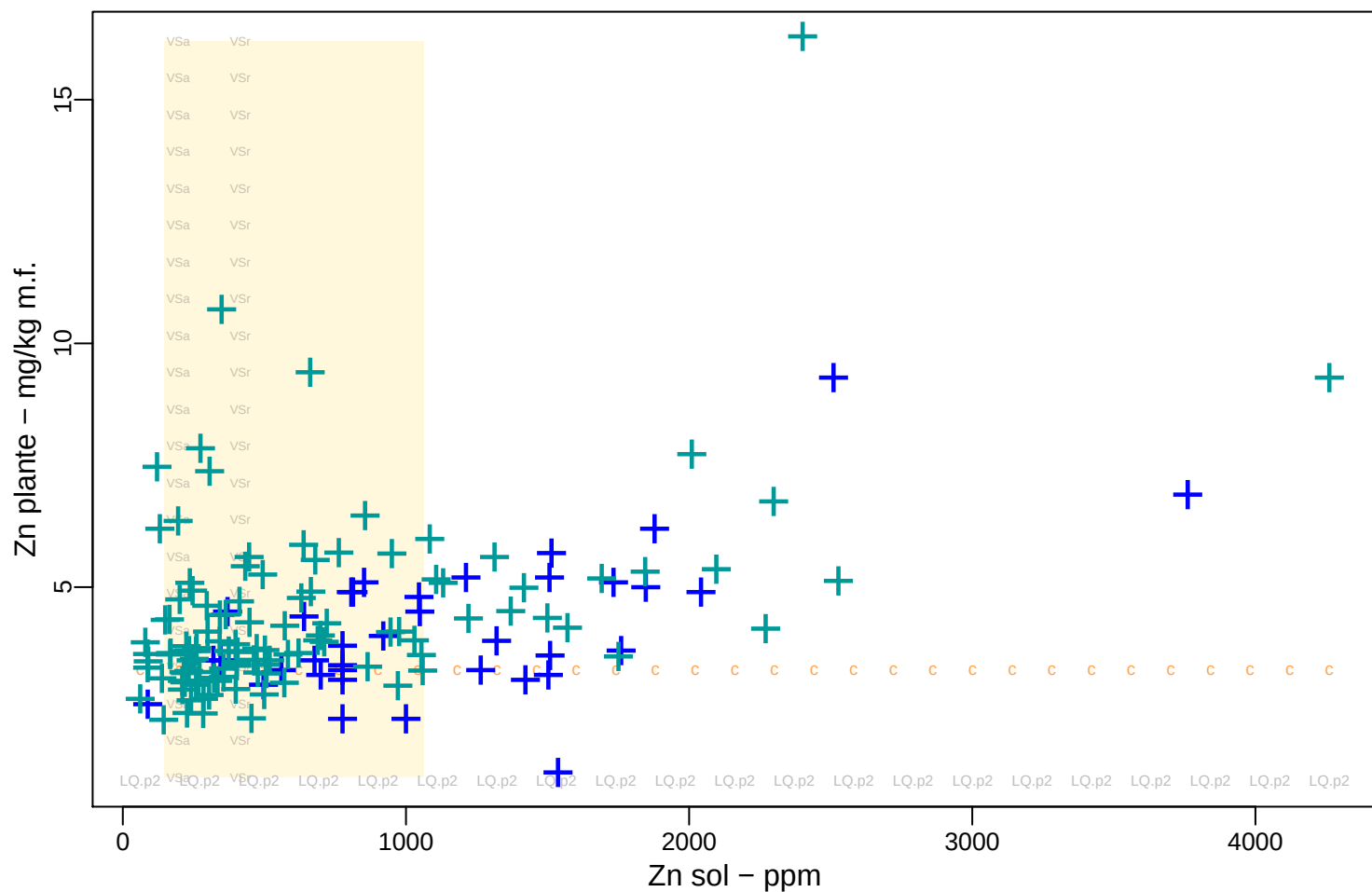
+ (n=48) • <LQ (n=0) + (n=123) • <LQ (n=0)



Malvoz (n=64) <LQ (n=0) Haricot POLLUSOL 2 (n=149) <LQ (n=0)

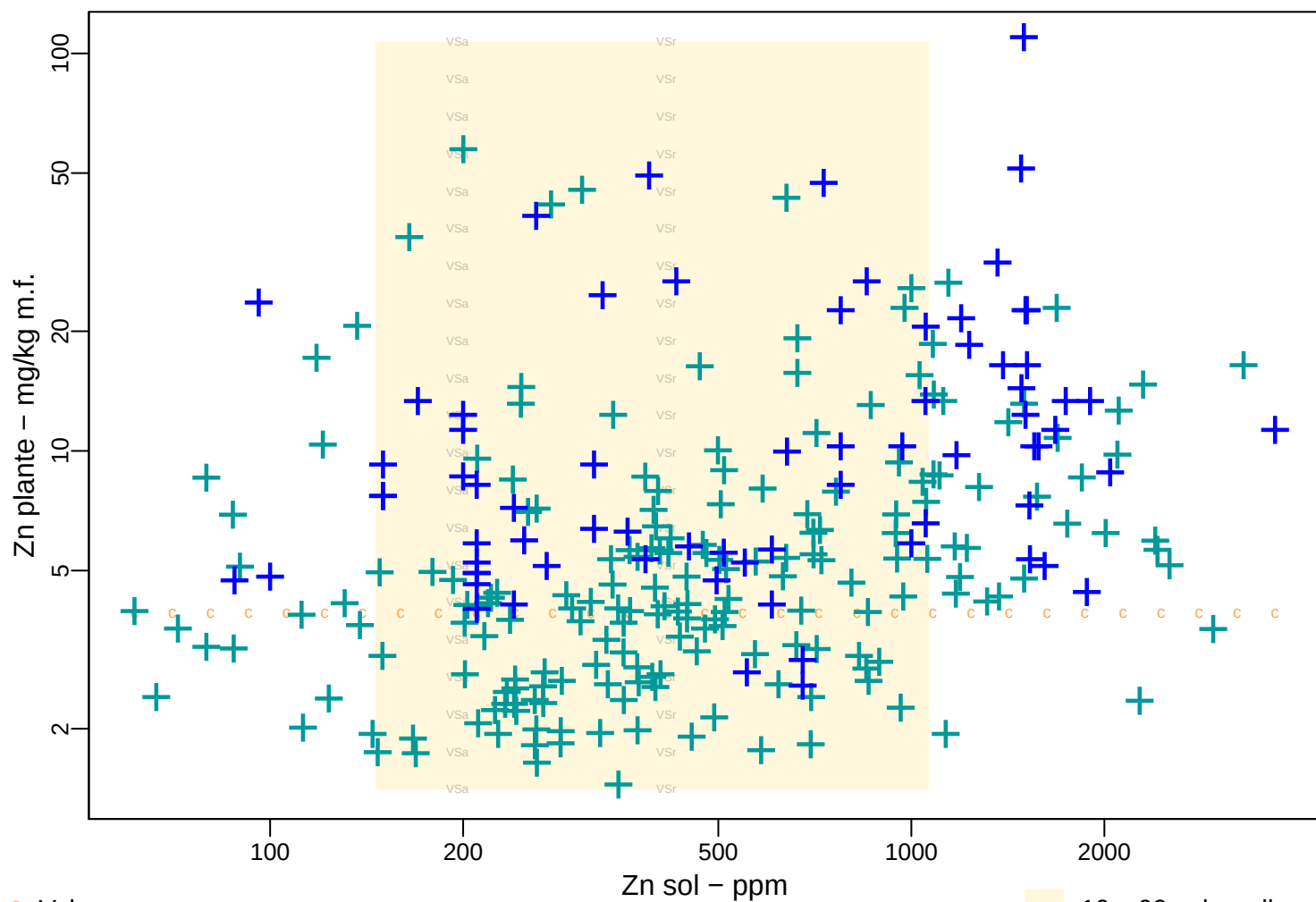
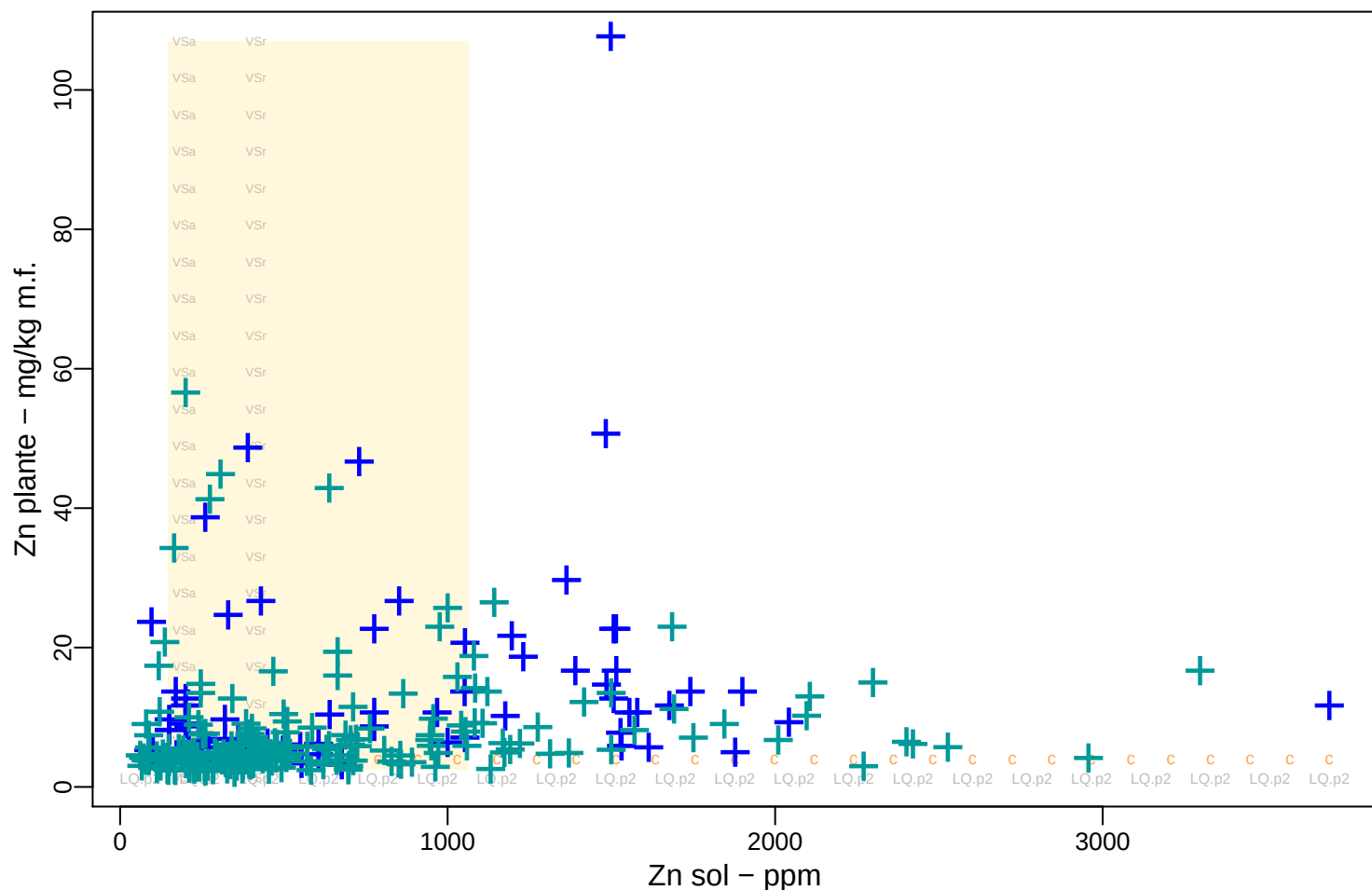


Malvoz Pomme de terre POLLUSOL 2
+ (n=37) • <LQ (n=0) + (n=112) • <LQ (n=0)



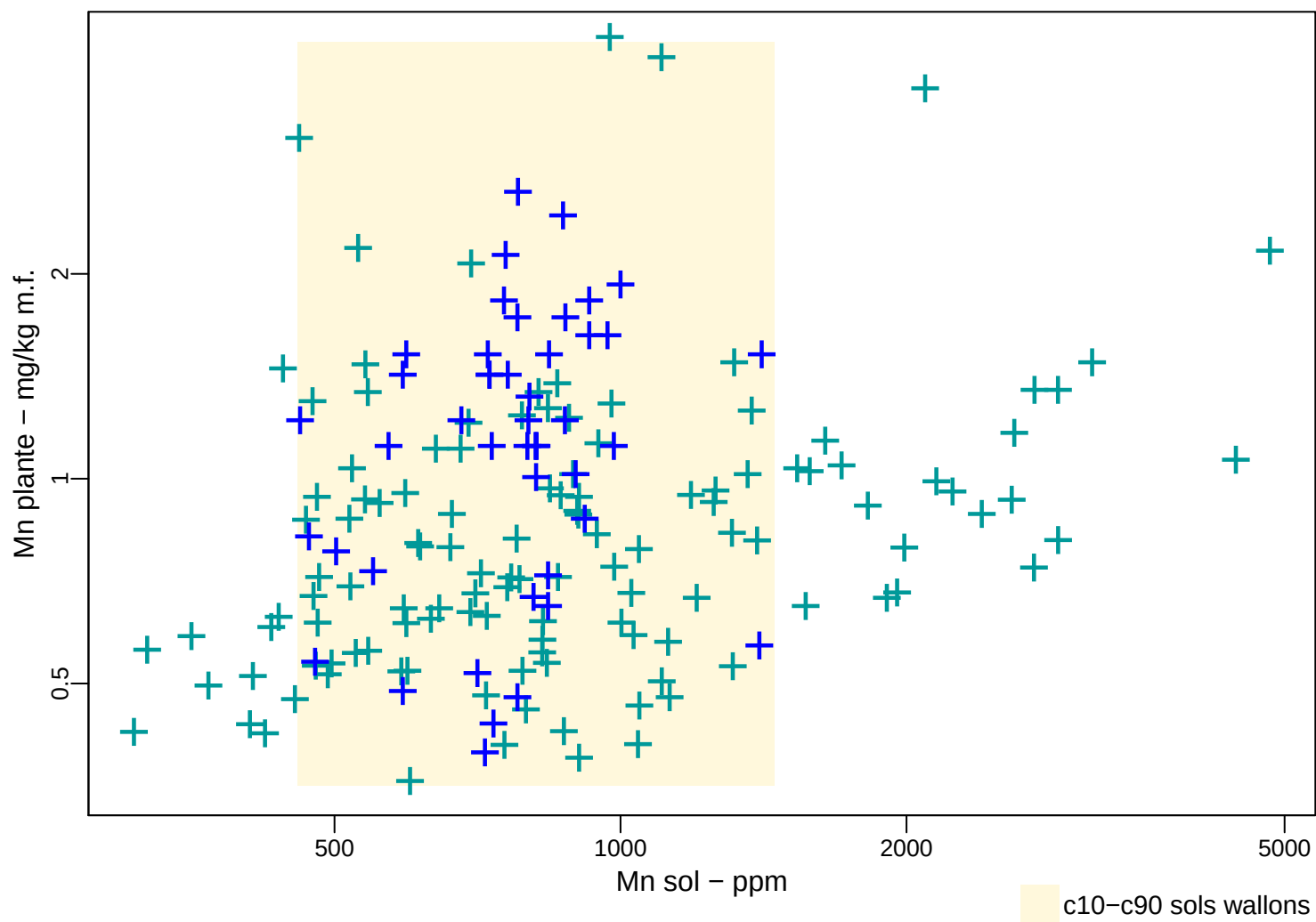
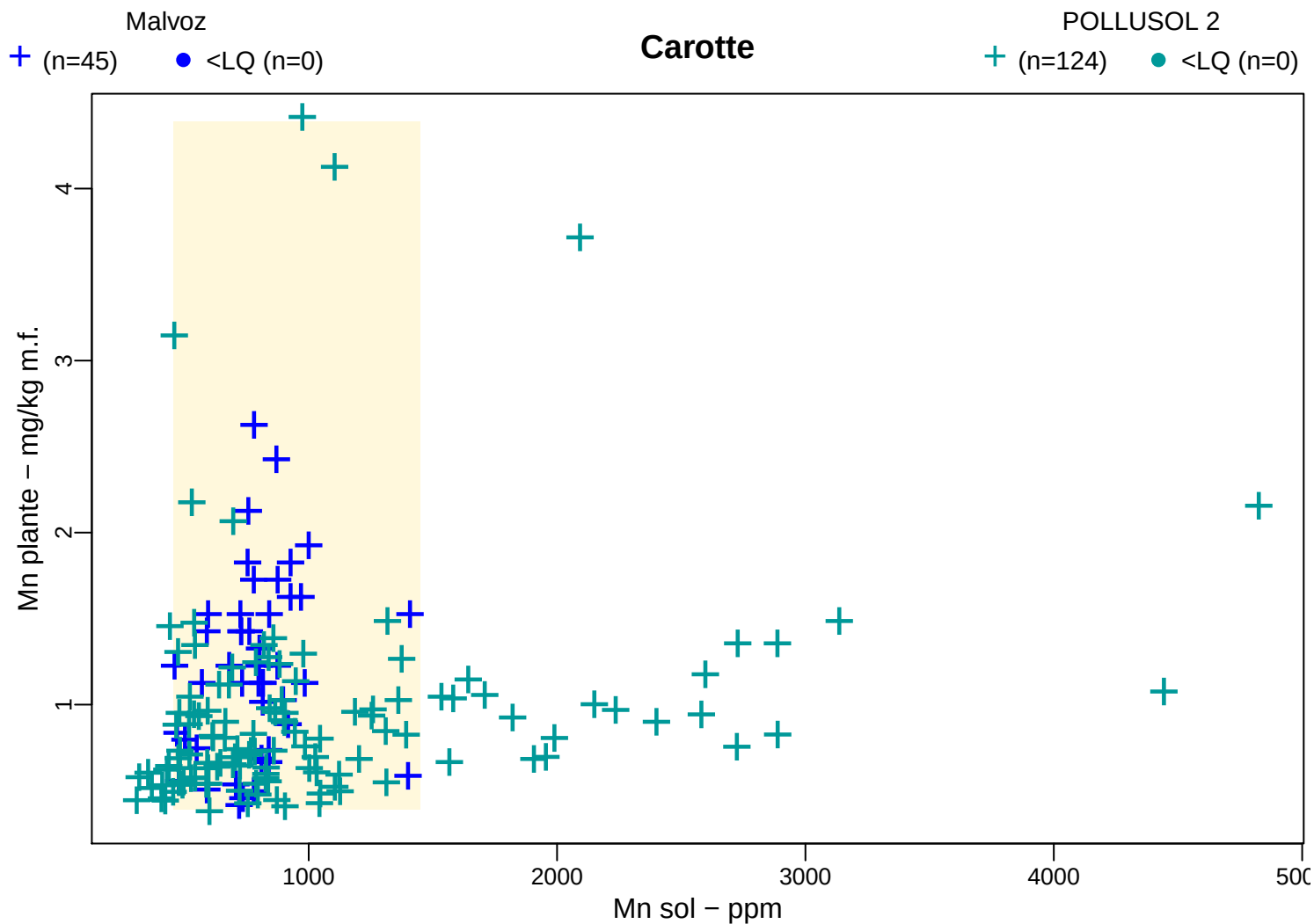
Malvoz **Salade** POLLUSOL 2

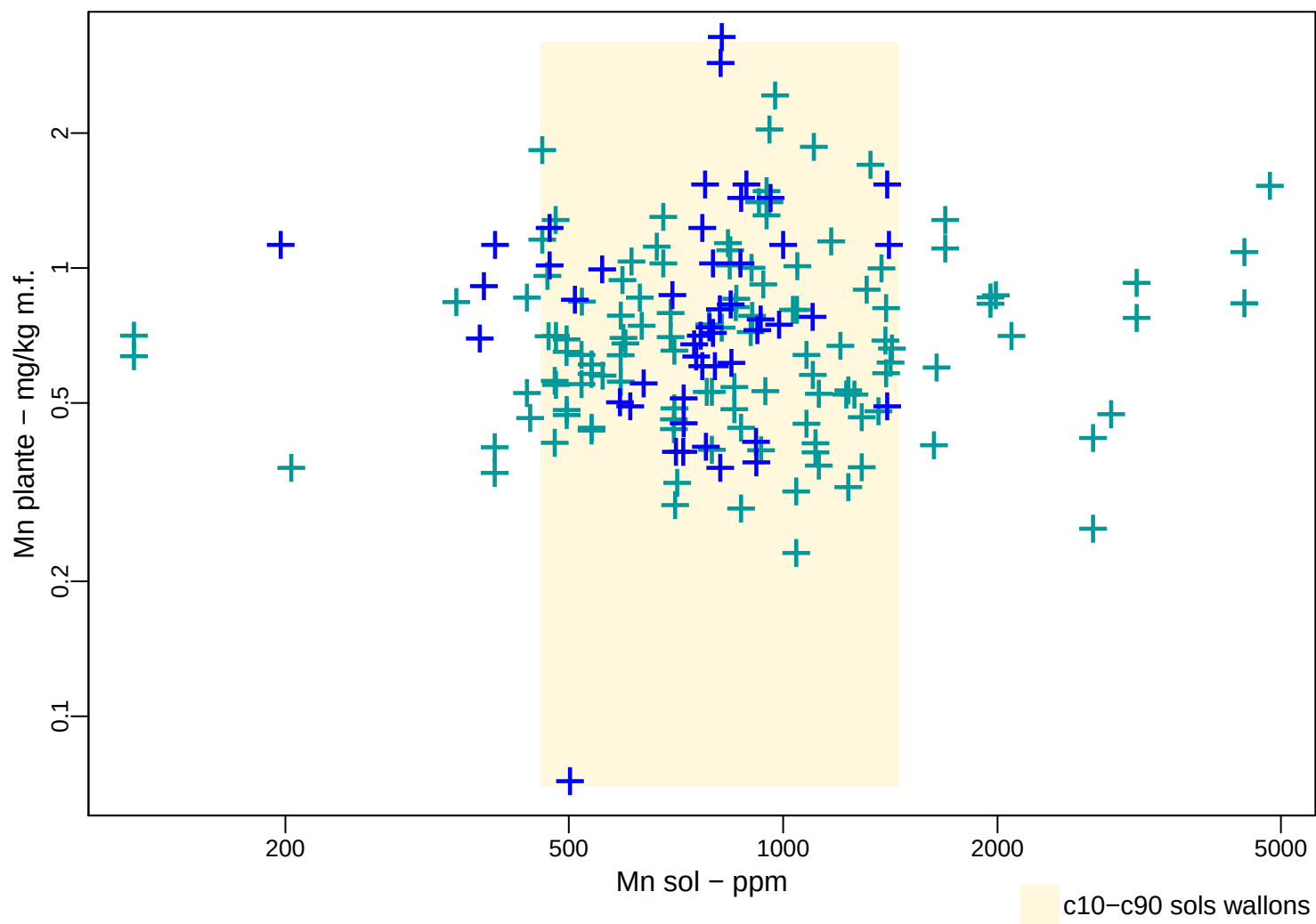
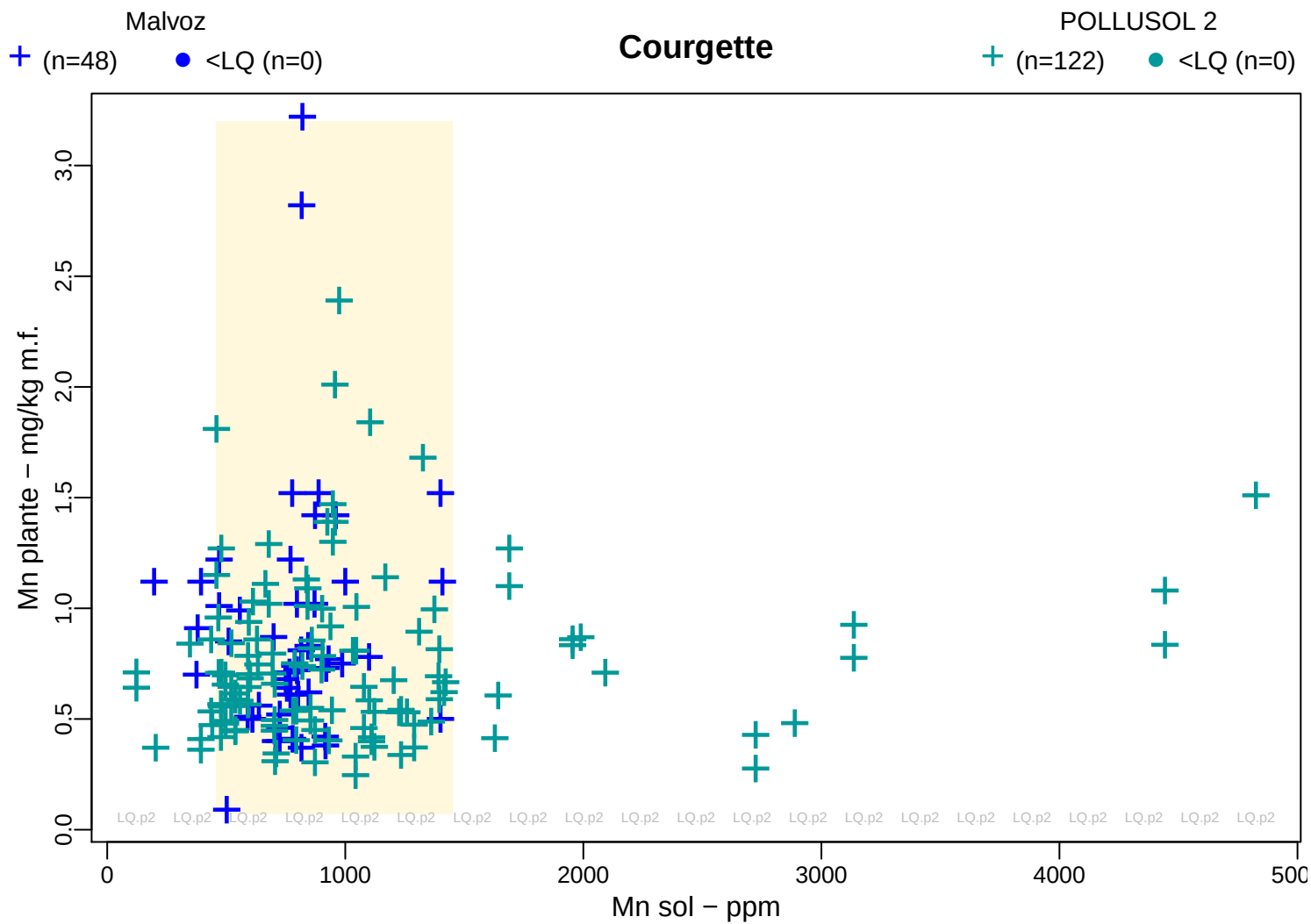
+ (n=72) • <LQ (n=0) + (n=192) • <LQ (n=0)

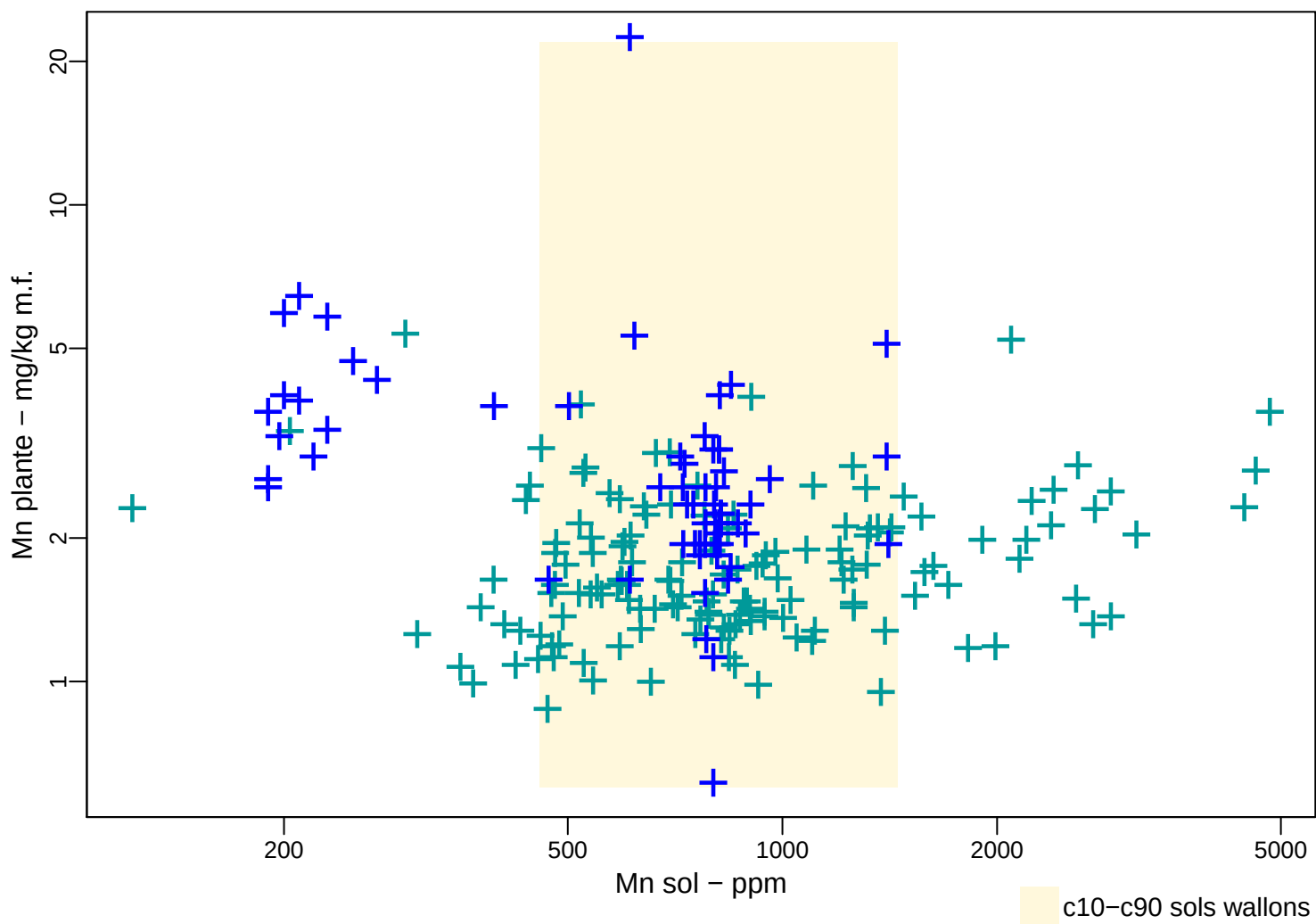
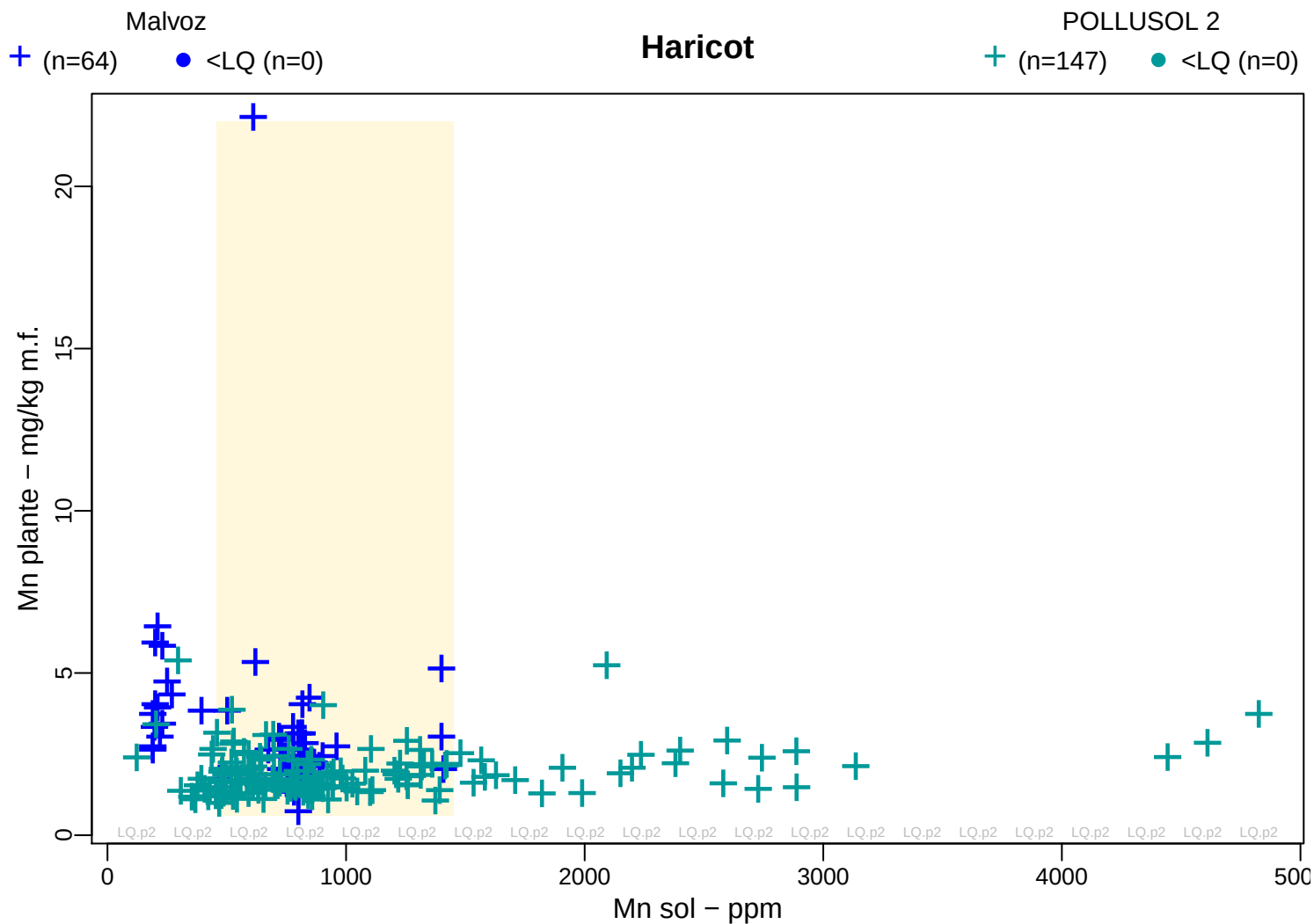


C Valeur commerce

c10-c90 sols wallons



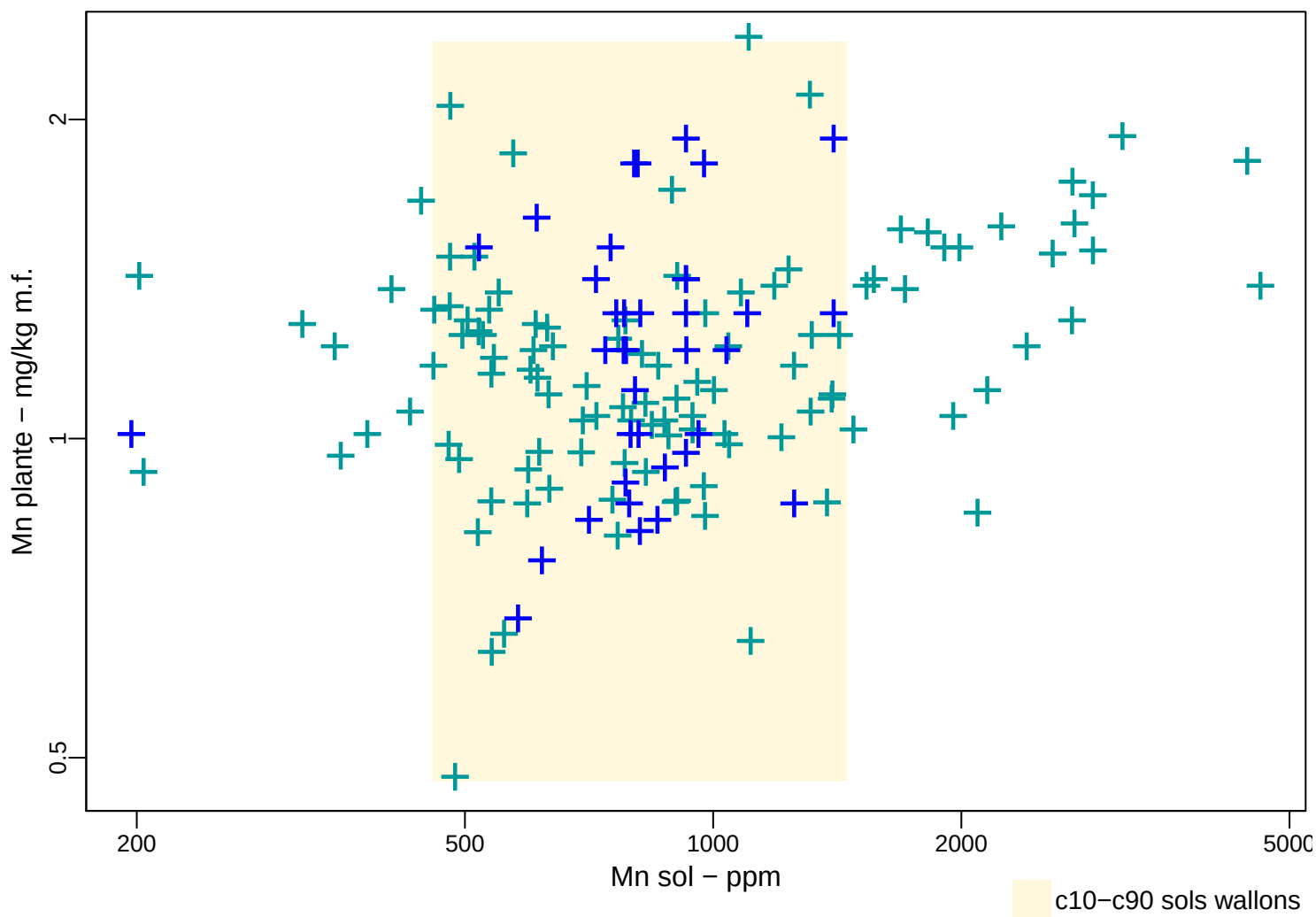
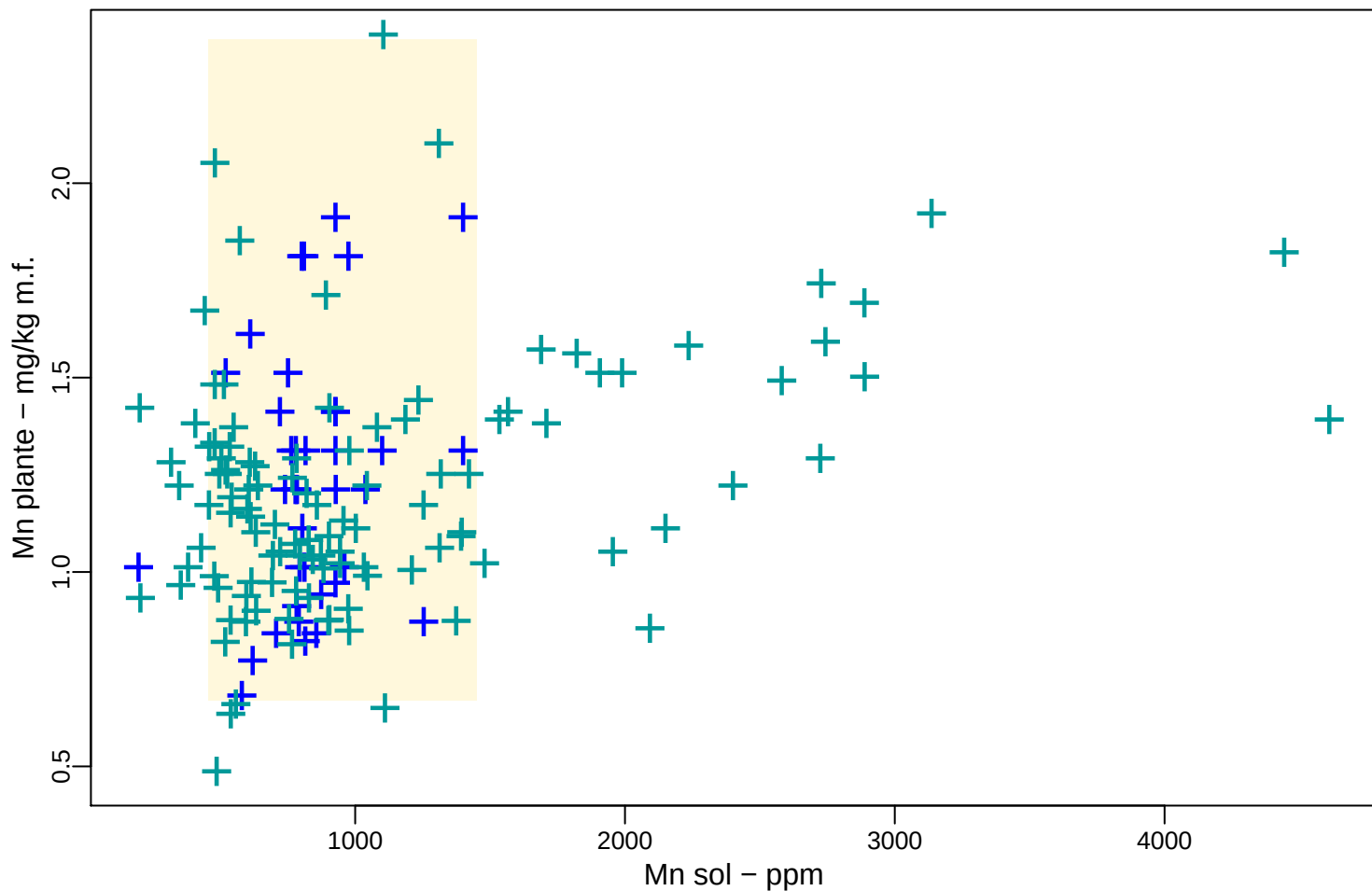


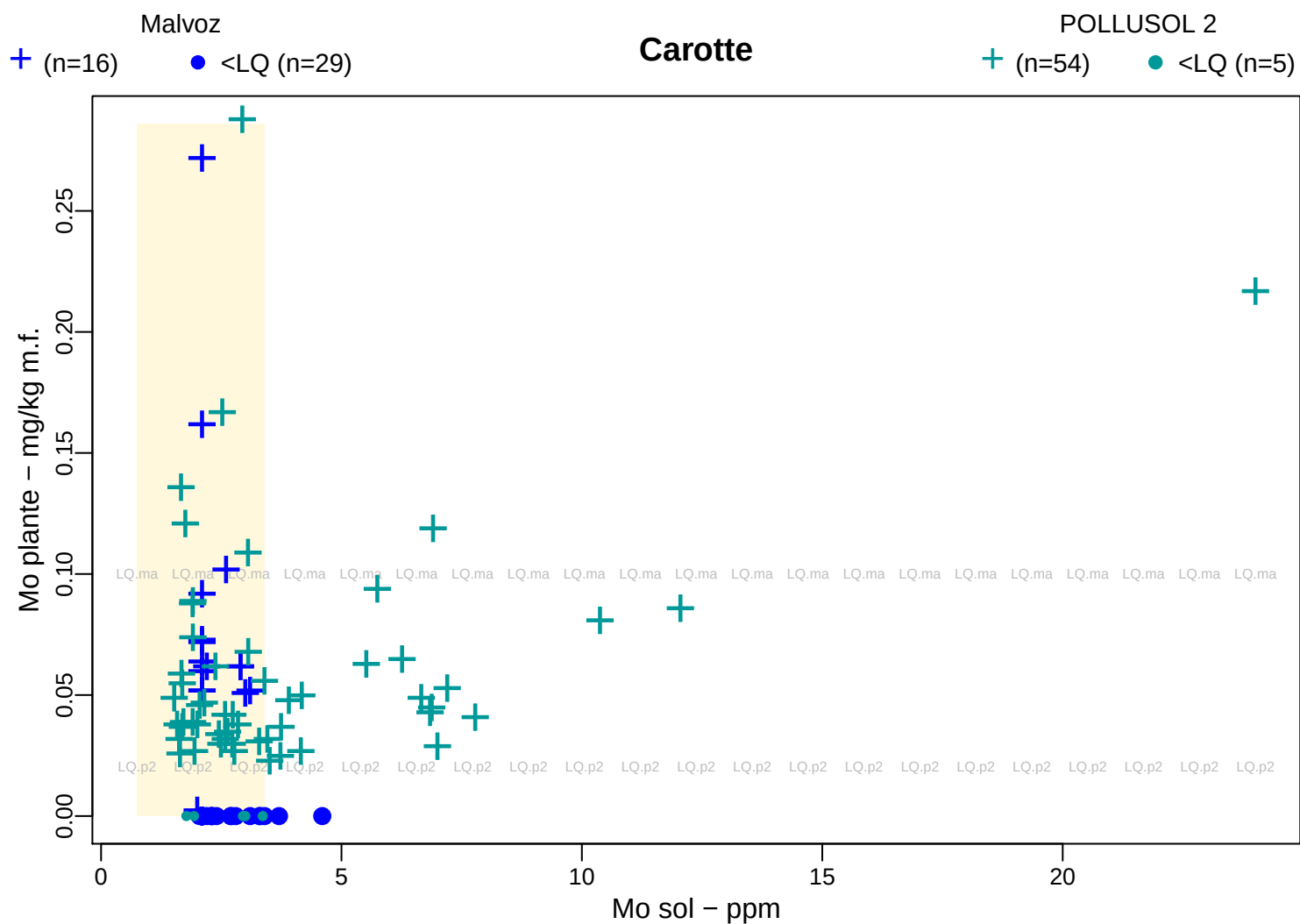


Malvoz + (n=37) ● <LQ (n=0)

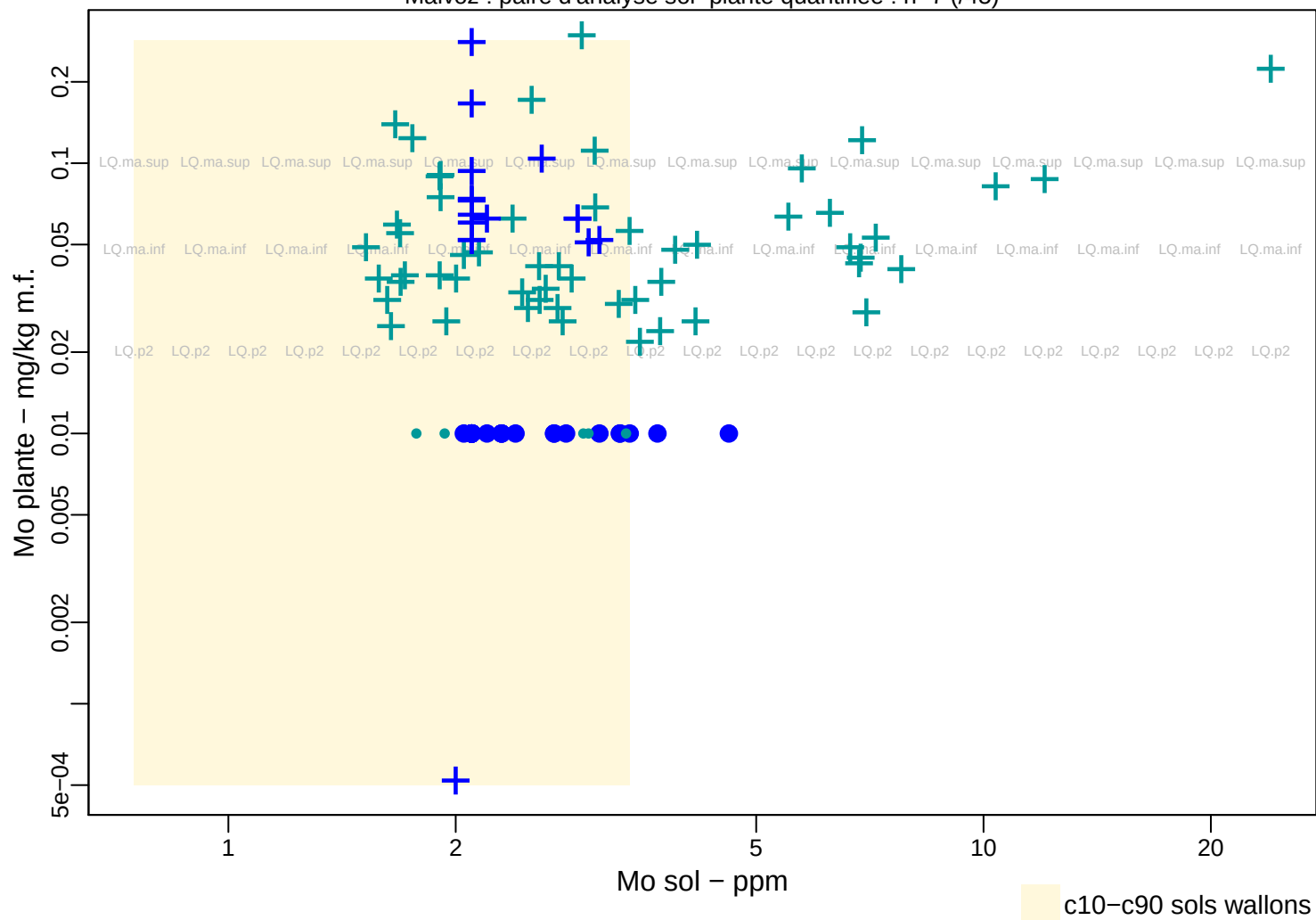
Pomme de terre

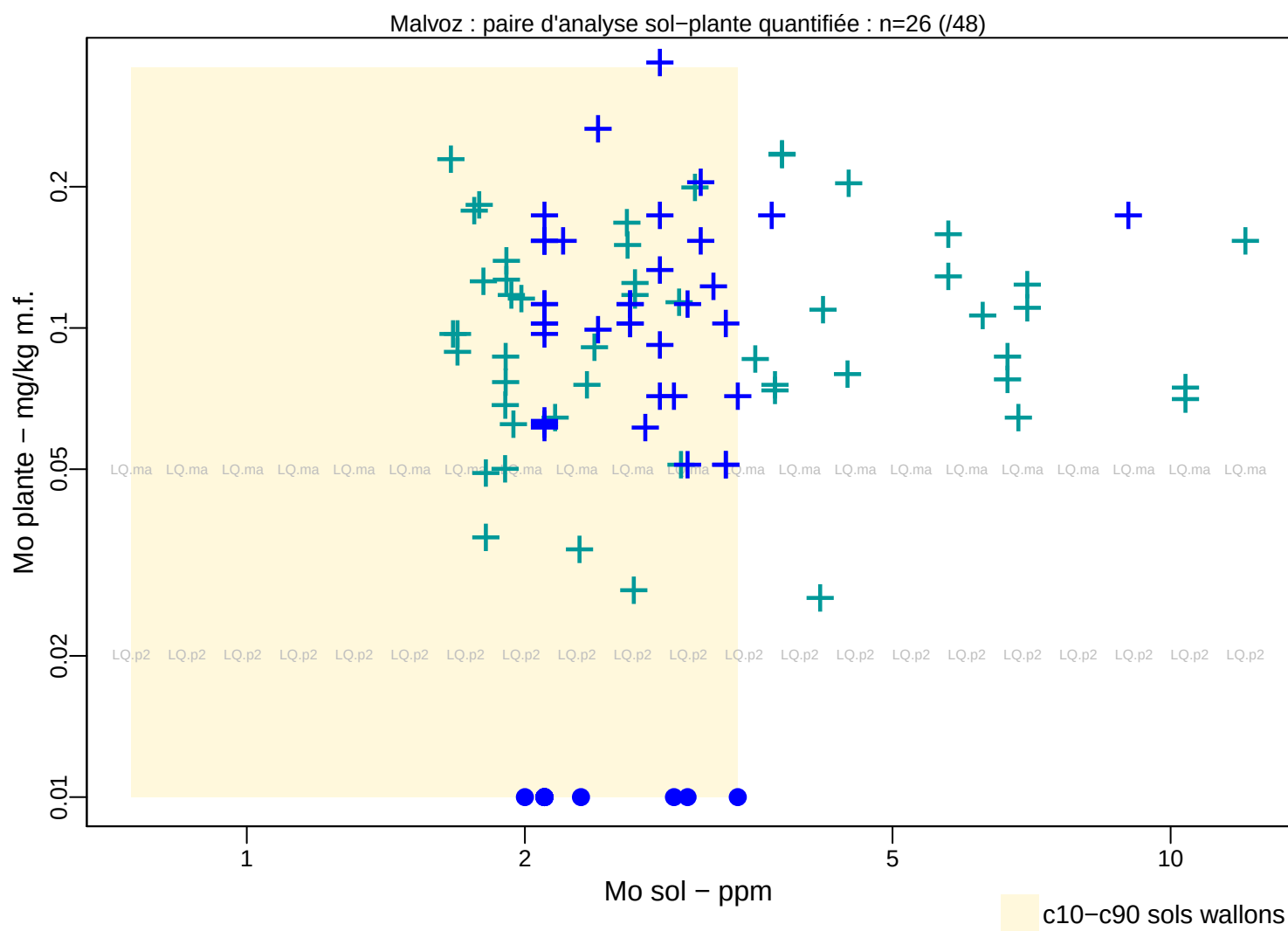
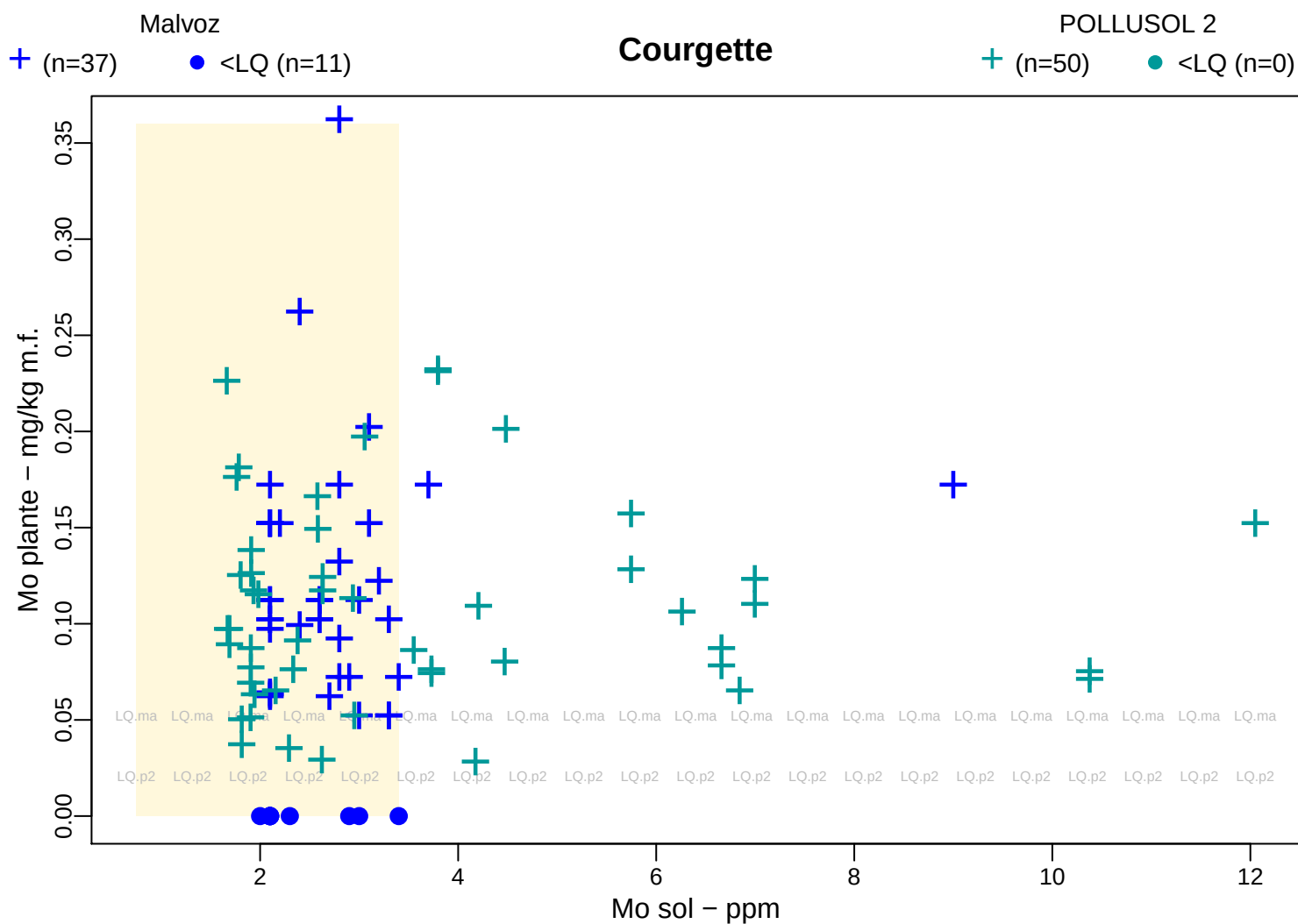
POLLUSOL 2 + (n=111) ● <LQ (n=0)

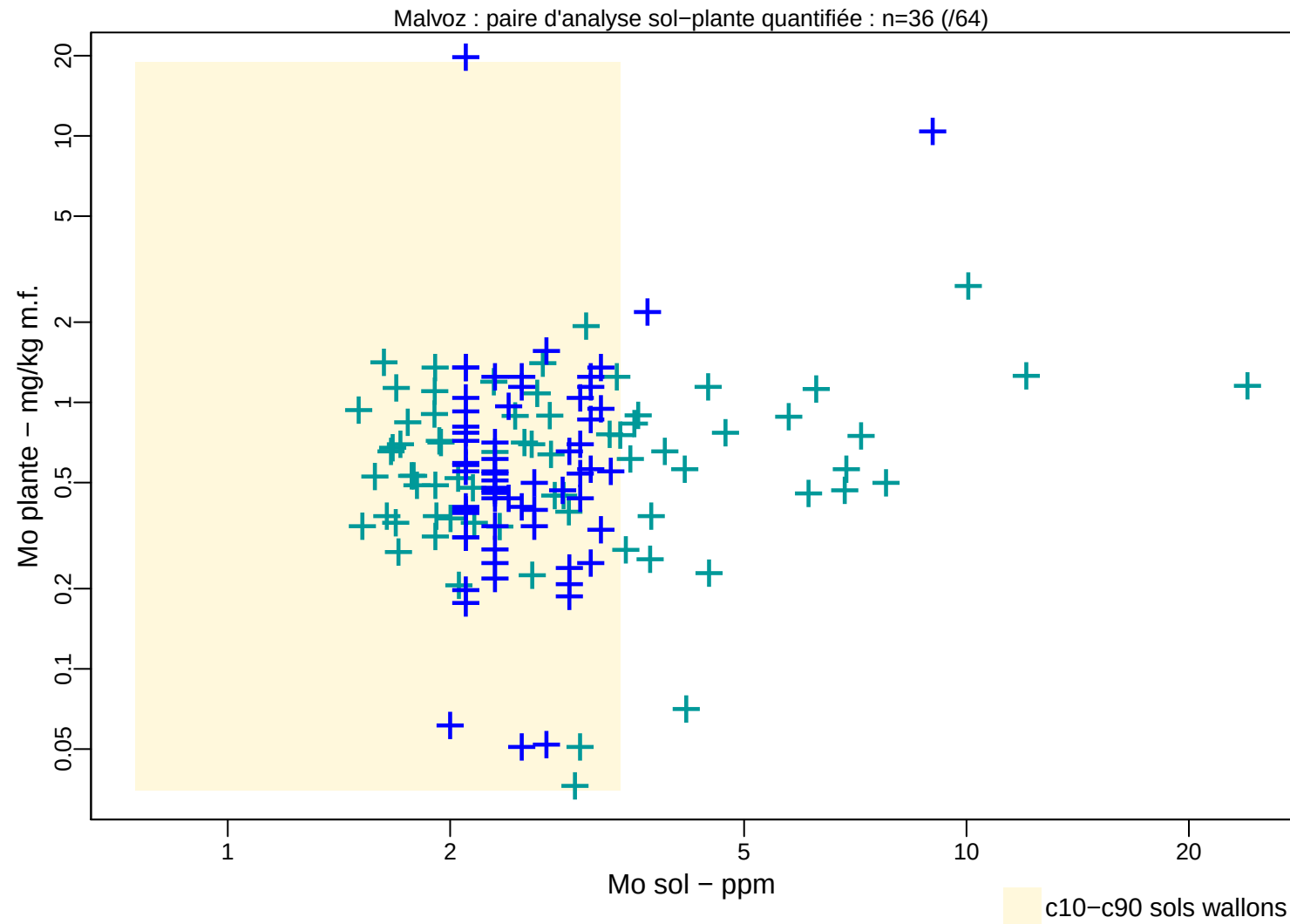
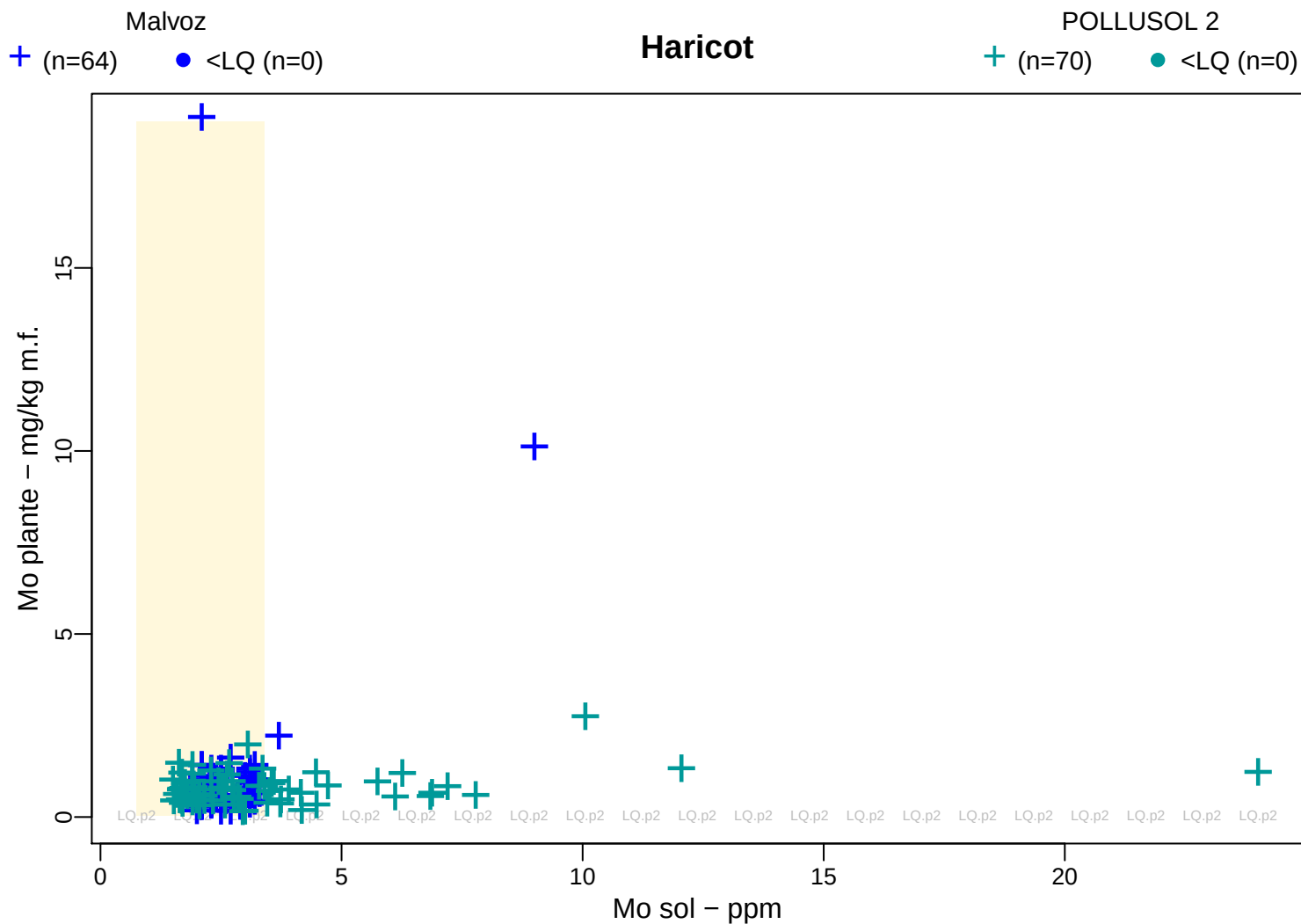


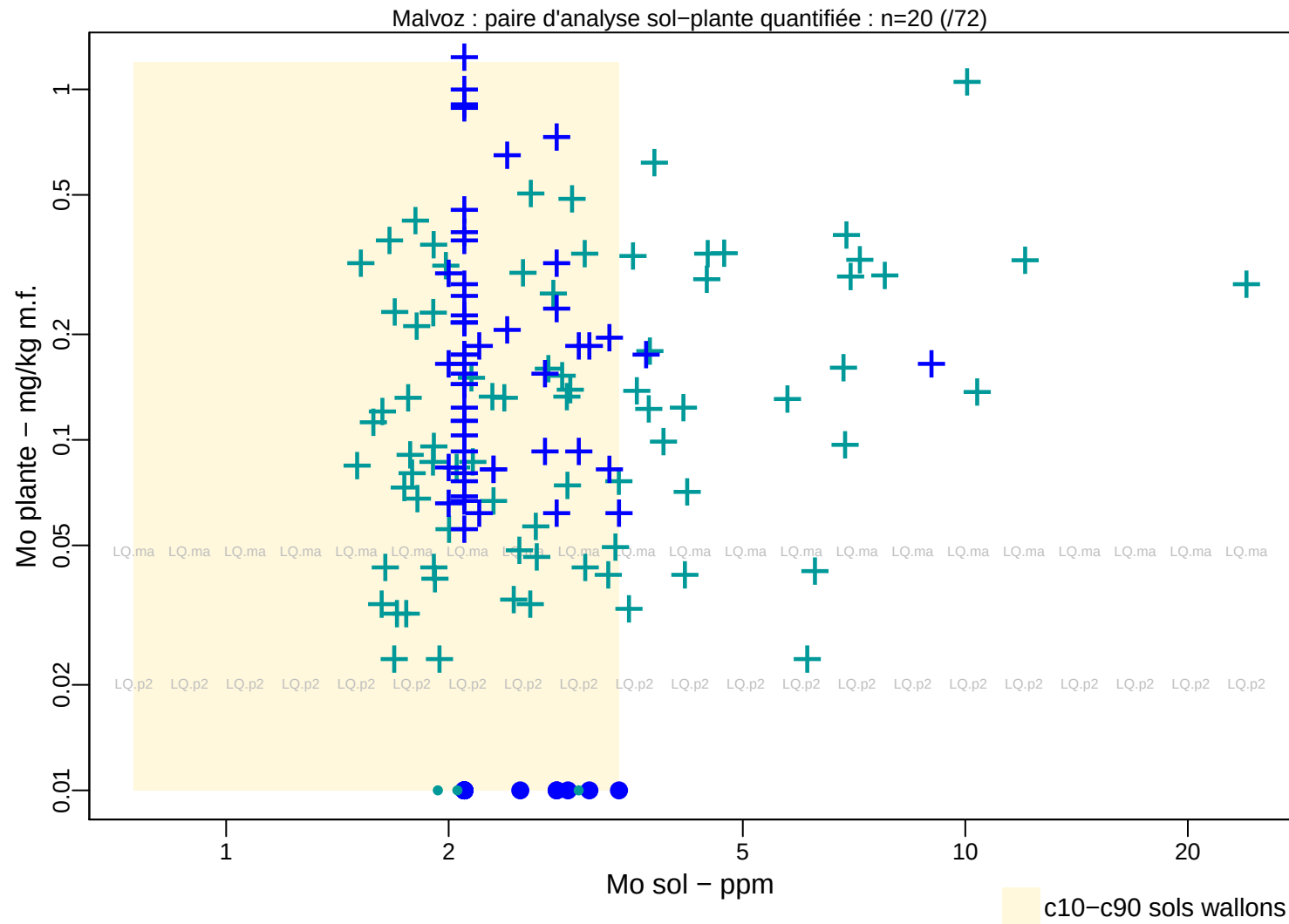
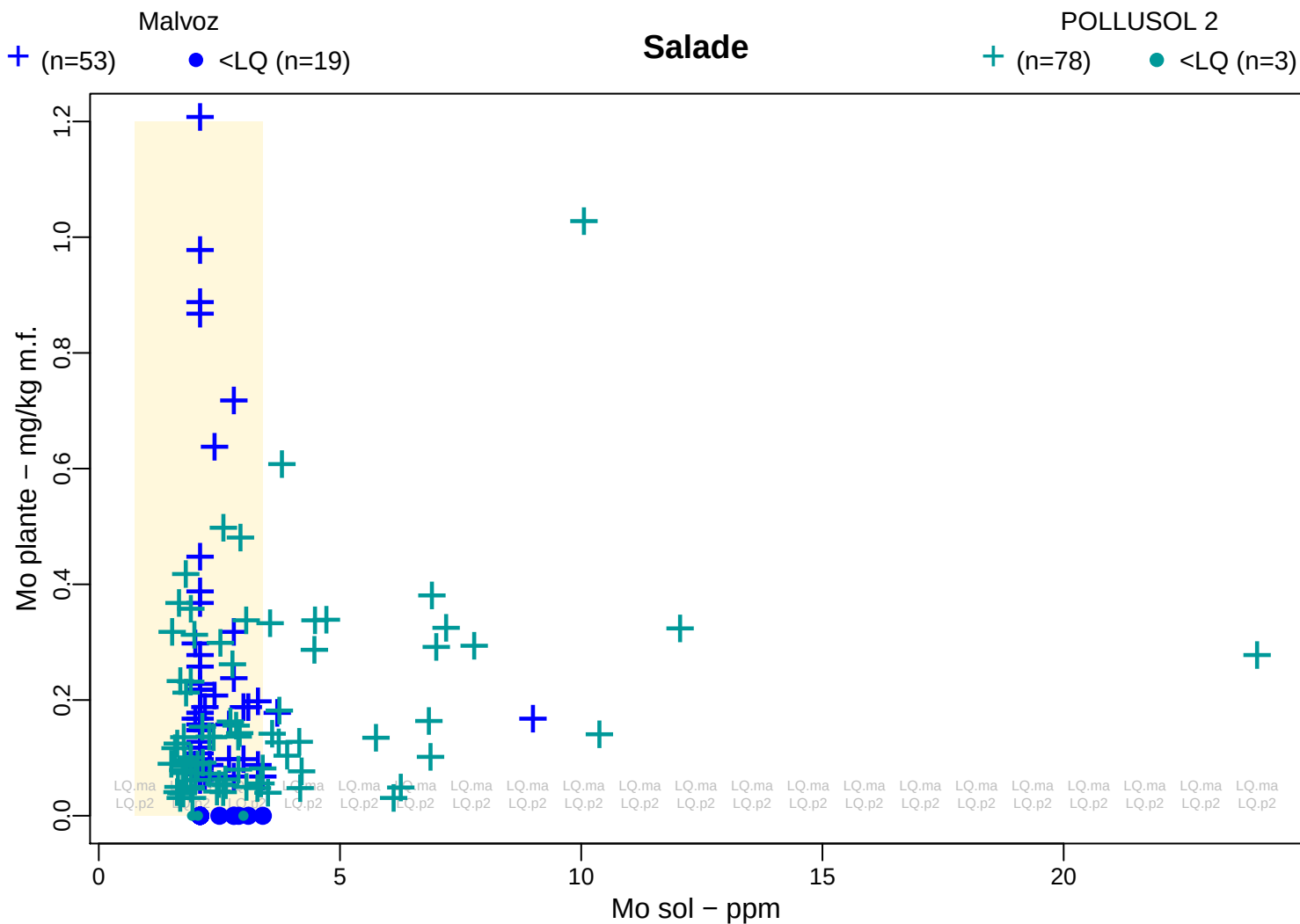


Malvoz : paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=7 (/45)









Annexe 2 : Représentation graphique des jeux de données sol-plante disponibles pour les neuf nouveaux fruits et légumes.

Les neuf nouveaux fruits et légumes sont fraise et framboise, persil et menthe, bette, choux, poireau, poivron et tomate.

Abréviations utilisées

c : valeur de concentration représentative de la concentration en métal d'un légume acheté dans le commerce en Wallonie (valeur utilisée dans l'outil SANISOL) ;

n : valeur de la norme (teneur maximale tolérée en Cd et Pb selon la réglementation européenne EC 1831/2003) pour la commercialisation du fruit ou du légume.

Malvoz : jeu de données constitué par l'Institut provincial Ernest Malvoz (Province de Liège) ;

LQ.ma : limite de quantification de jeu de données Malvoz. LQ.ma.sup et LQ.ma.inf sont utilisés pour indiquer les valeurs supérieures et inférieures des limites de quantifications analytiques renseignées par le laboratoire, lorsqu'il y en a plusieurs.

LQ.p2 : limite de quantification analytique du laboratoire (AGROLAB) qui a réalisé l'analyse des légumes du projet POLLUSOL 2. Plus précisément, il s'agit des valeurs de limite de quantification analytique de la seconde campagne (2010) du projet POLLUSOL 2 ;

c10-c90 sols wallons : centile 10 et 90 de la distribution des résultats de mesure des sols de potager wallons (n=398) de l'étude POLLUSOL 2 ;

VS : valeur seuil du Décret wallon relatif à la gestion et à l'assainissement des sols (M.B. 22.03.2018). VSa : Valeur Seuil correspondant à un usage agricole. VSr : Valeur Seuil correspondant à un usage résidentiel. Si ces deux valeurs sont équivalentes, les graphiques les représentent simplement par « VS ».

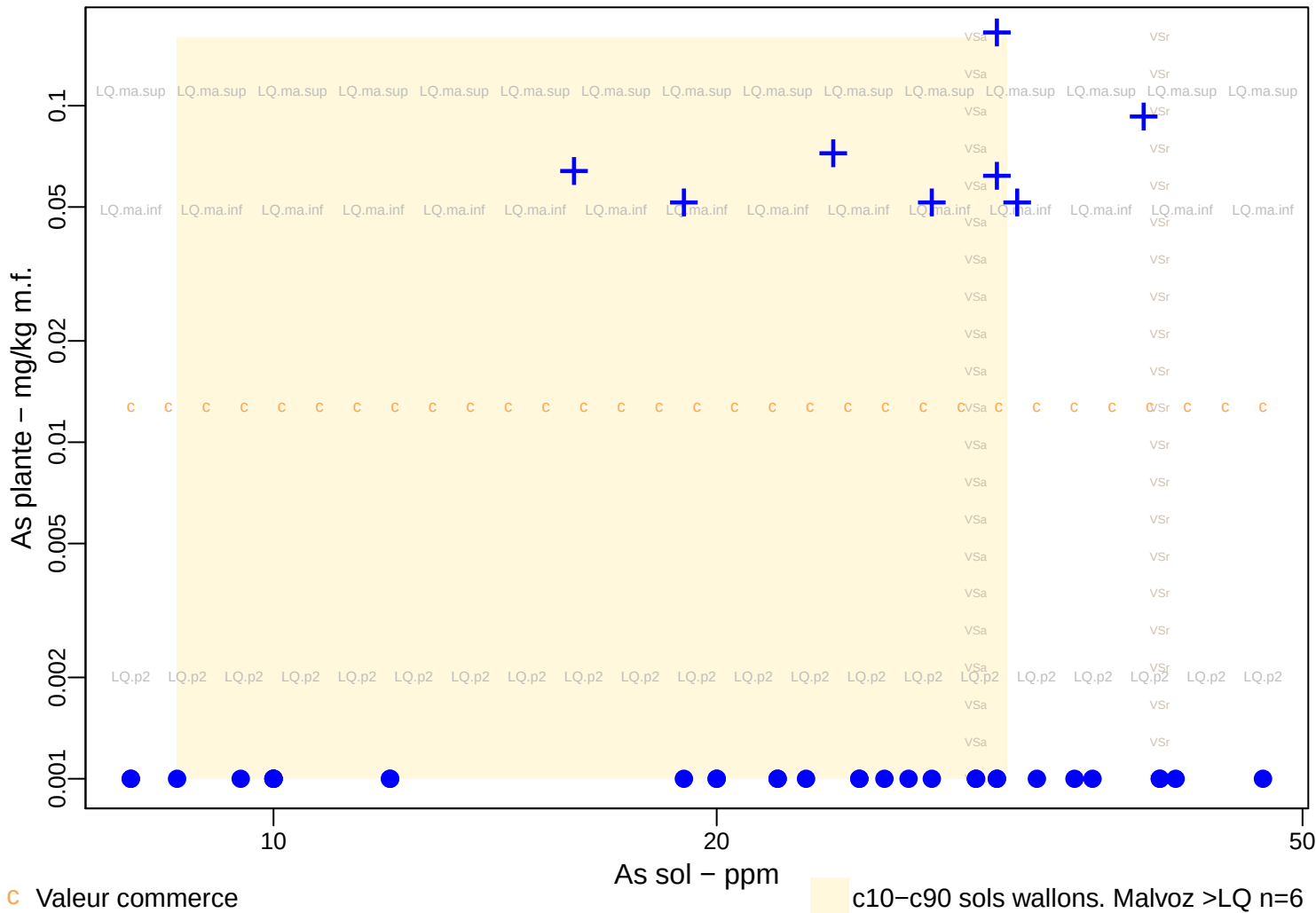
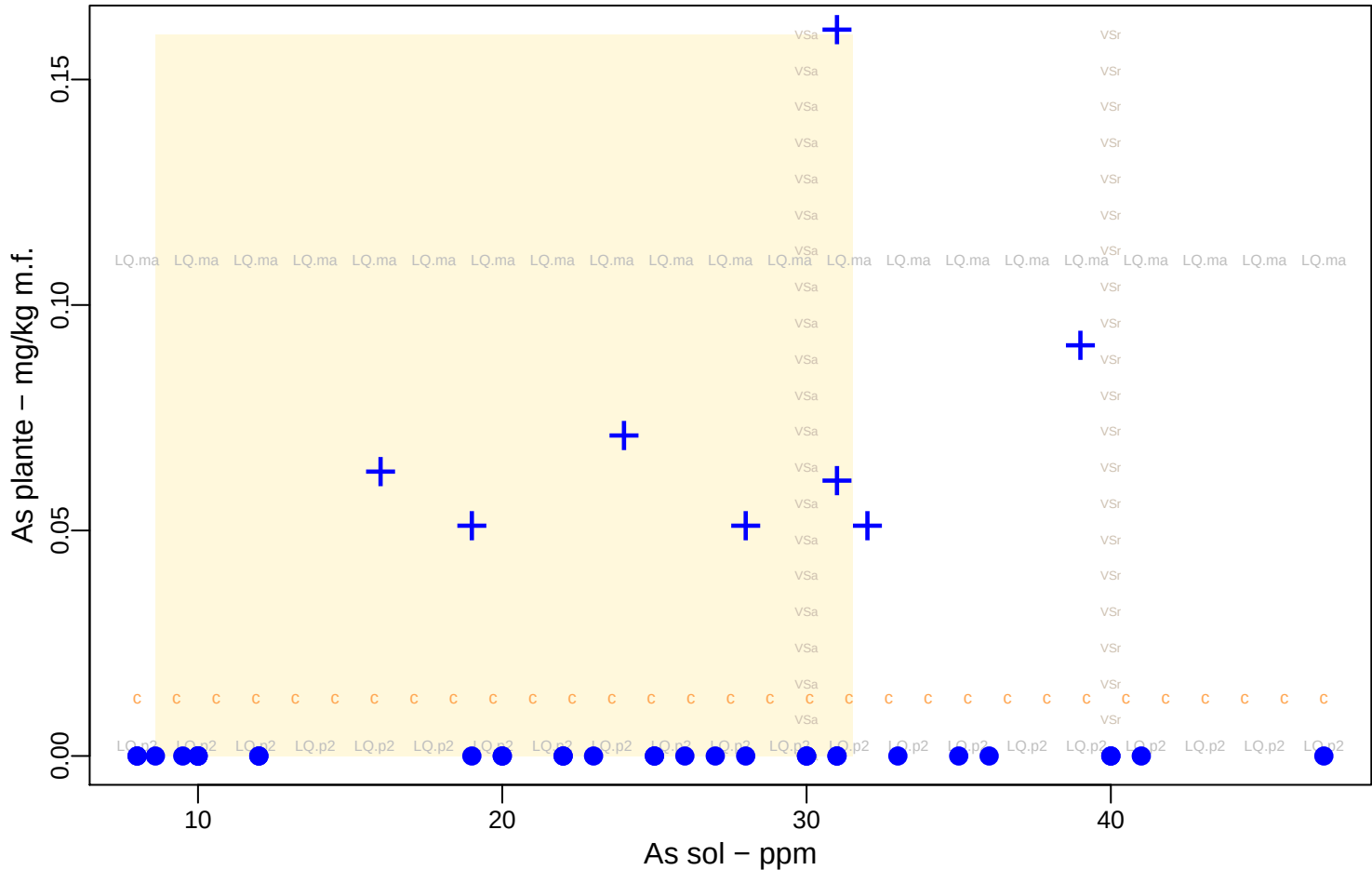
Bressoux : n=19 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=6 (/40)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=8 (/40)

Bette

Analyse du végétal

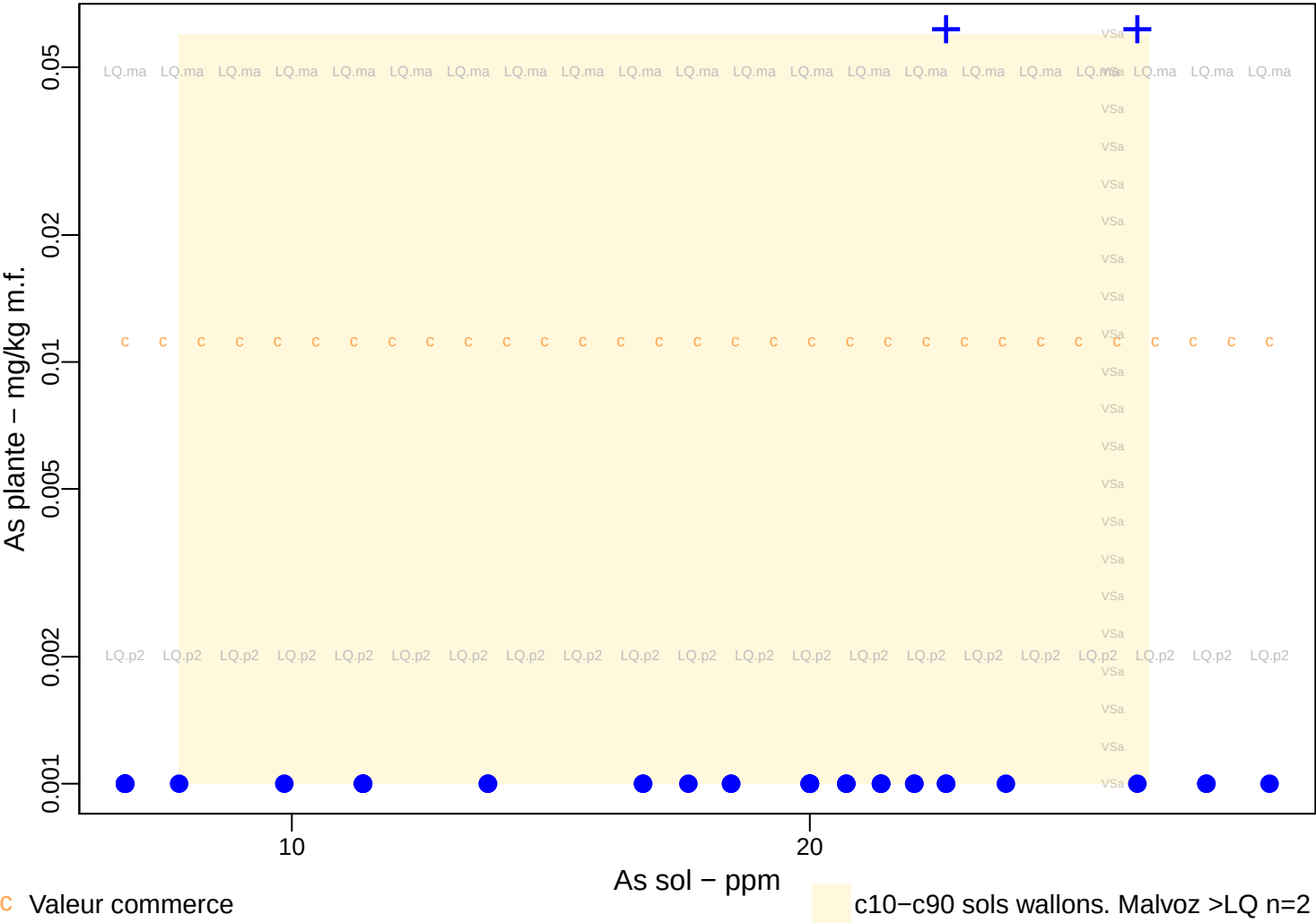
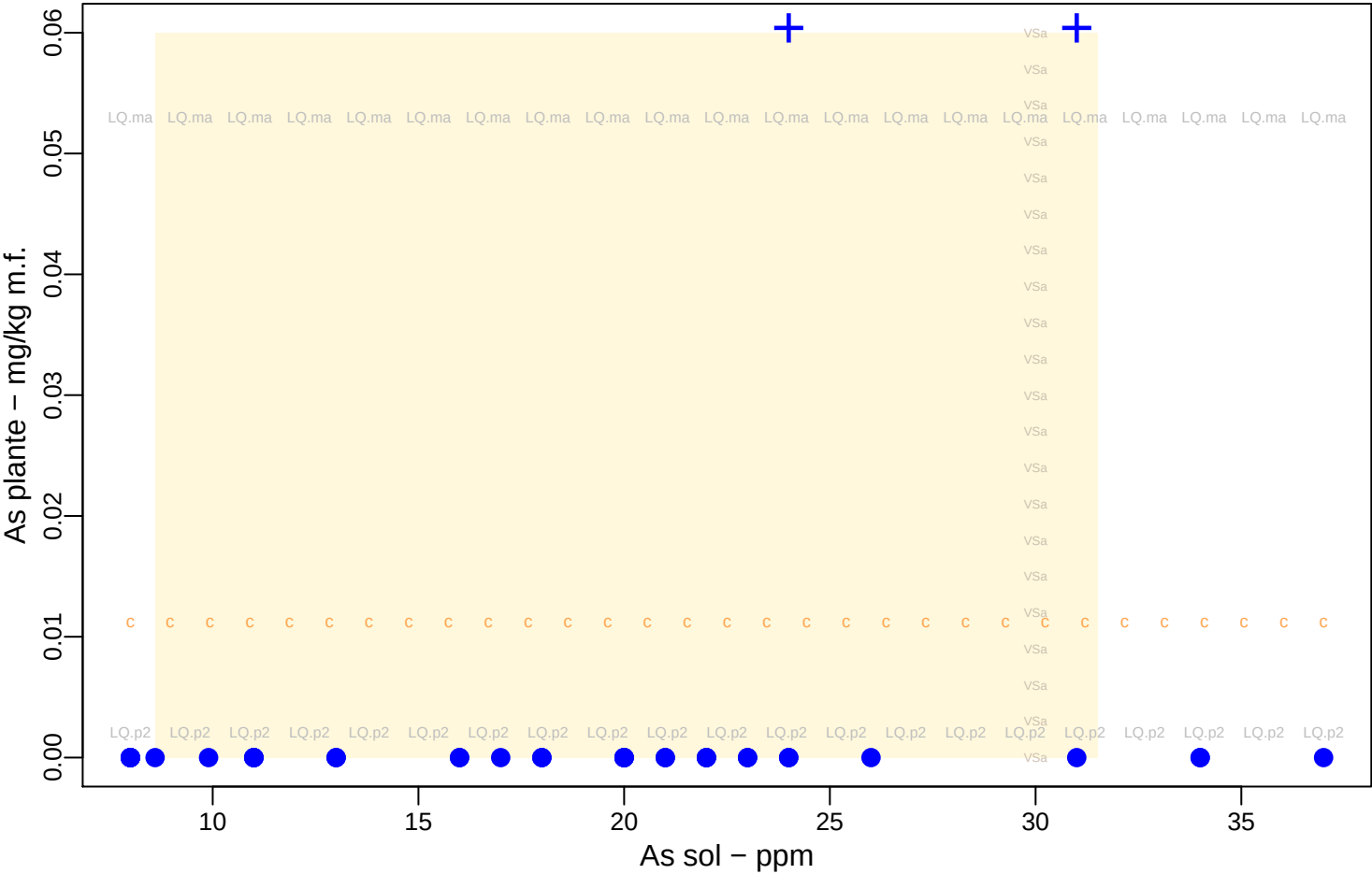
+ (n=8)

• <LQ (n=32)



Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=6 (/40)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=2 (/40)

Chou
Analyse du végétal
+ (n=2) • <LQ (n=38)



c Valeur commerce c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=2

Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=0 (/20)

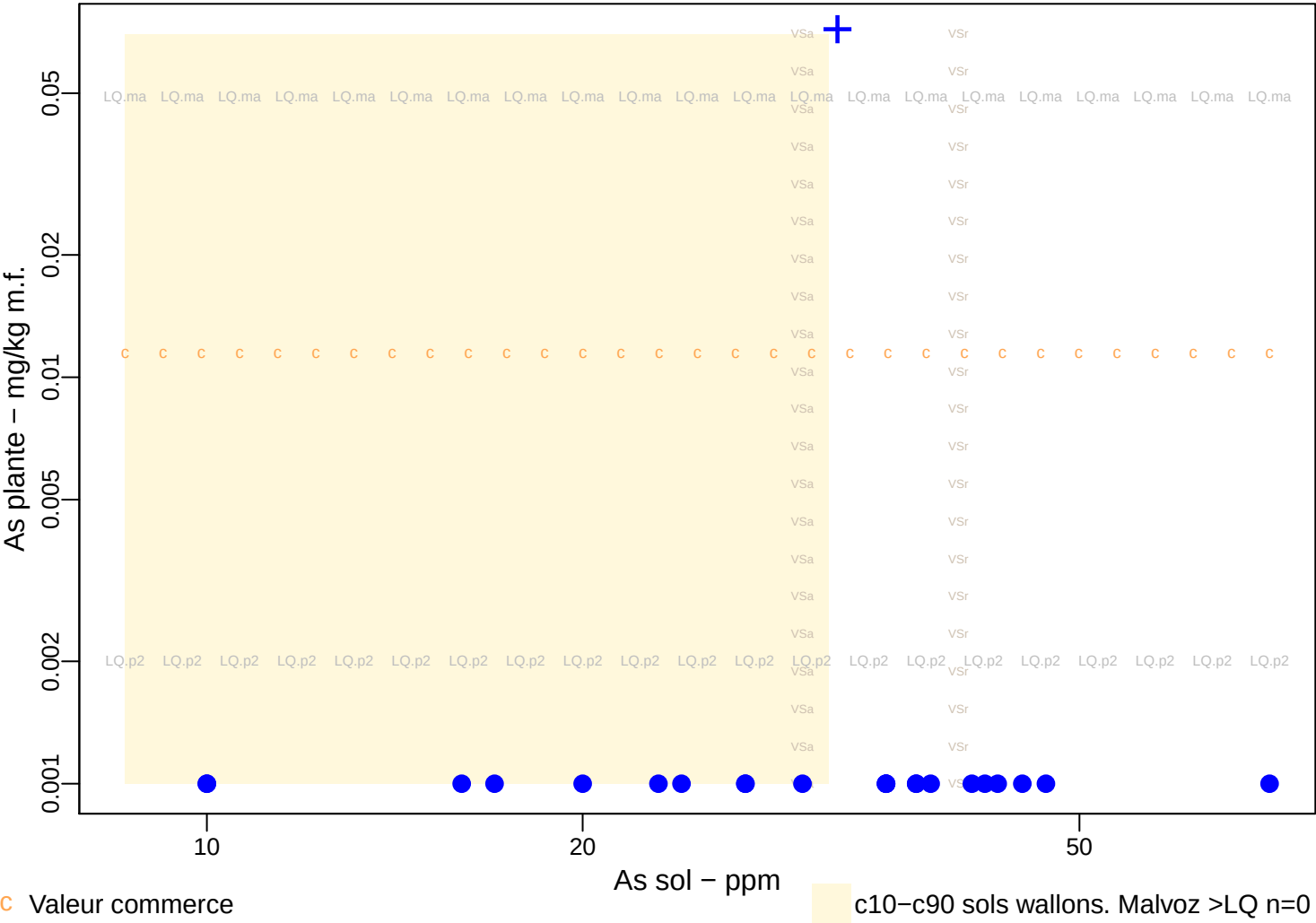
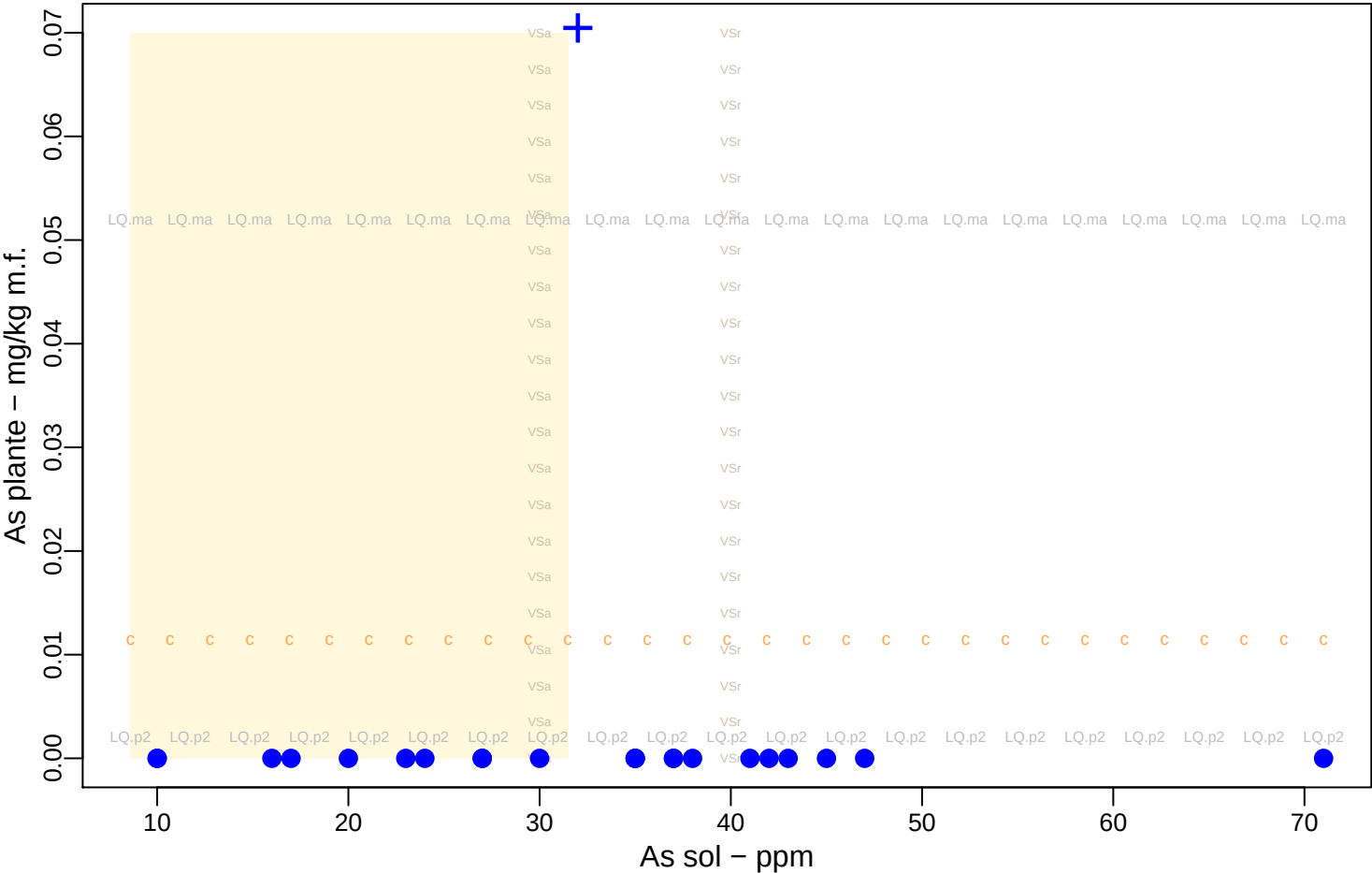
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=0

Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=2 (/23)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=1 (/23)

Framboise

Analyse du végétal

+ (n=1) • <LQ (n=22)



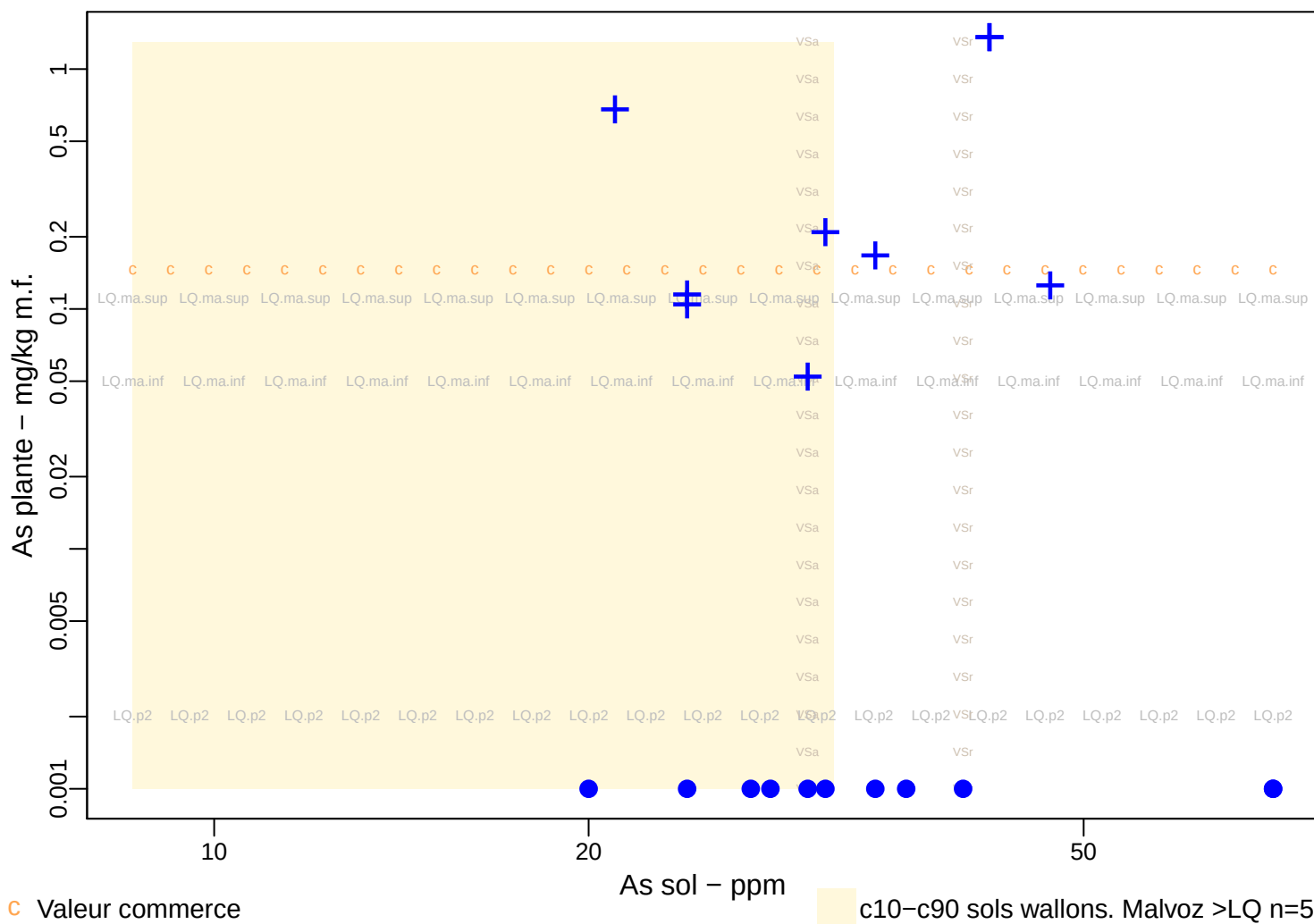
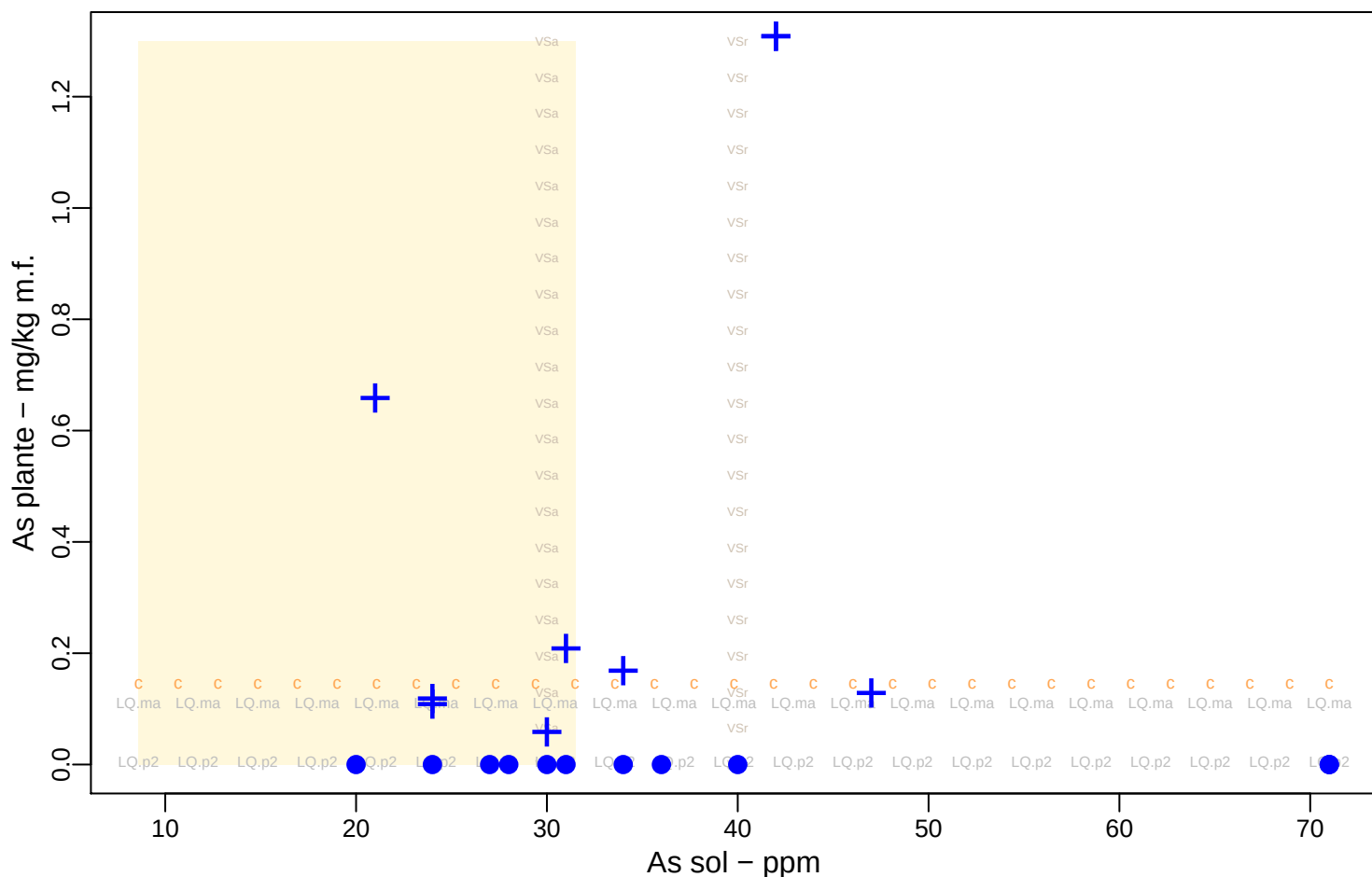
Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=9 (/20)

Menthe

Analyse du végétal

+ (n=9)

● <LQ (n=11)



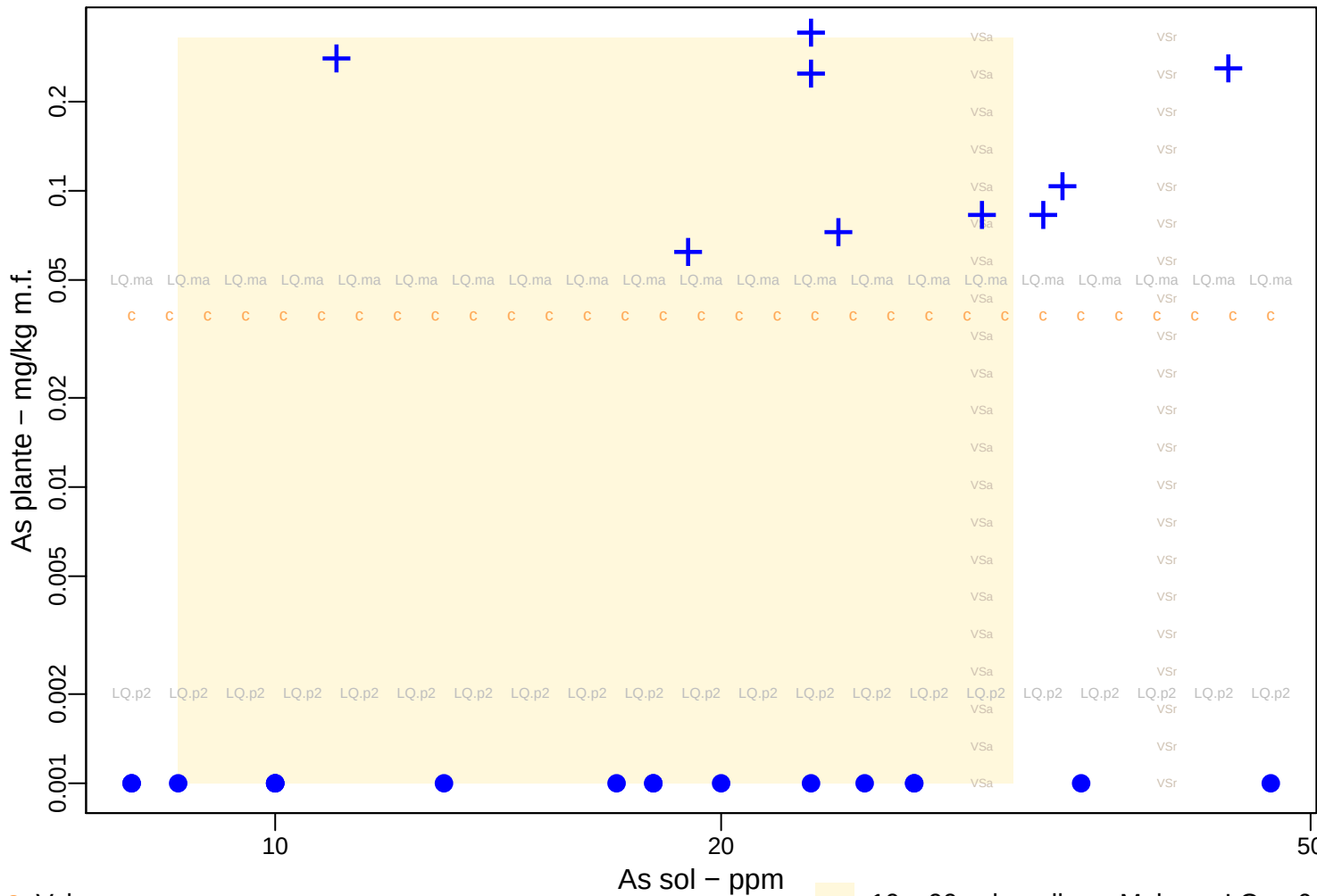
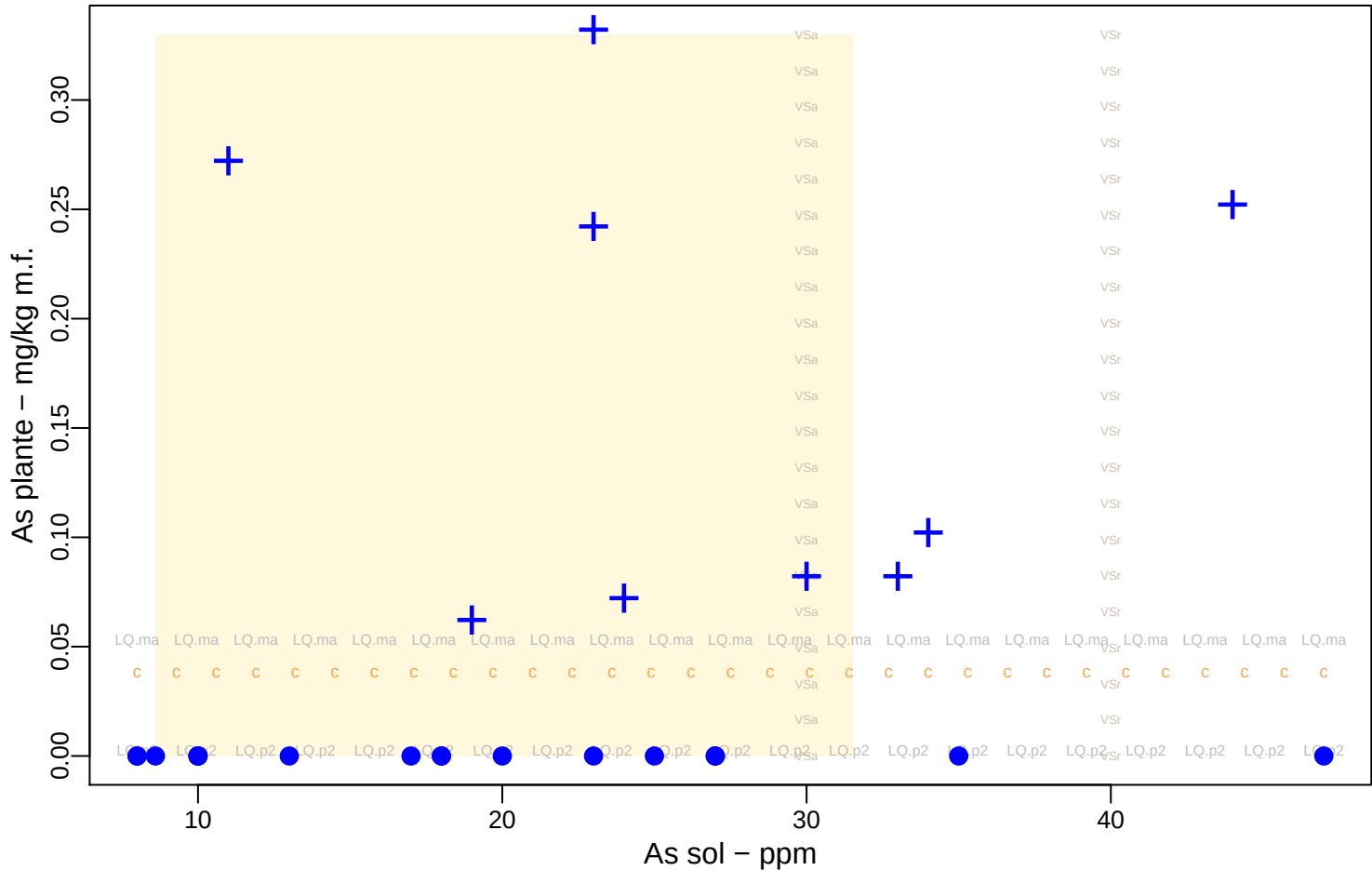
Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=5 (/26)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=9 (/26)

Persil

Analyse du végétal

+ (n=9)

• <LQ (n=17)



Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=6

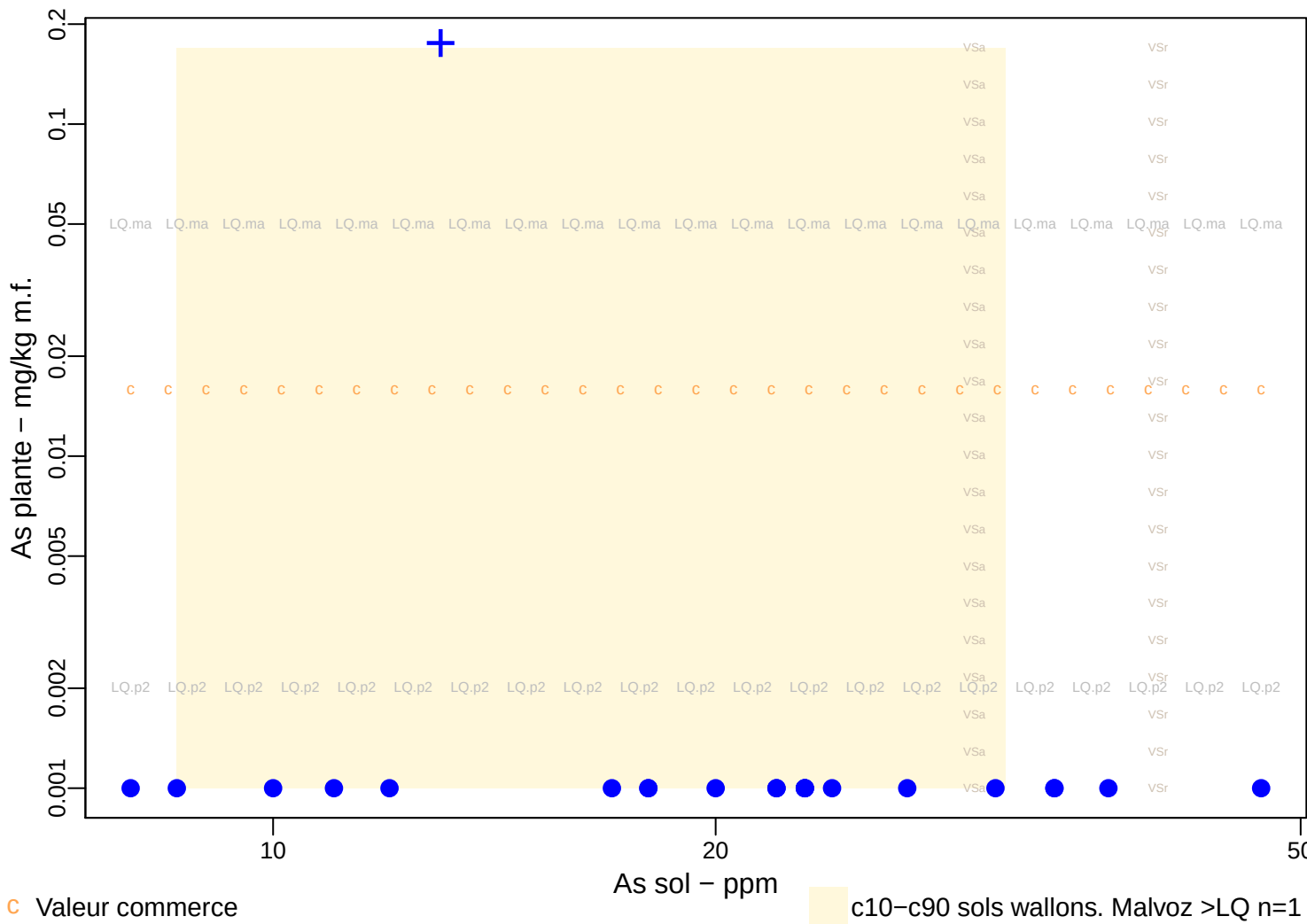
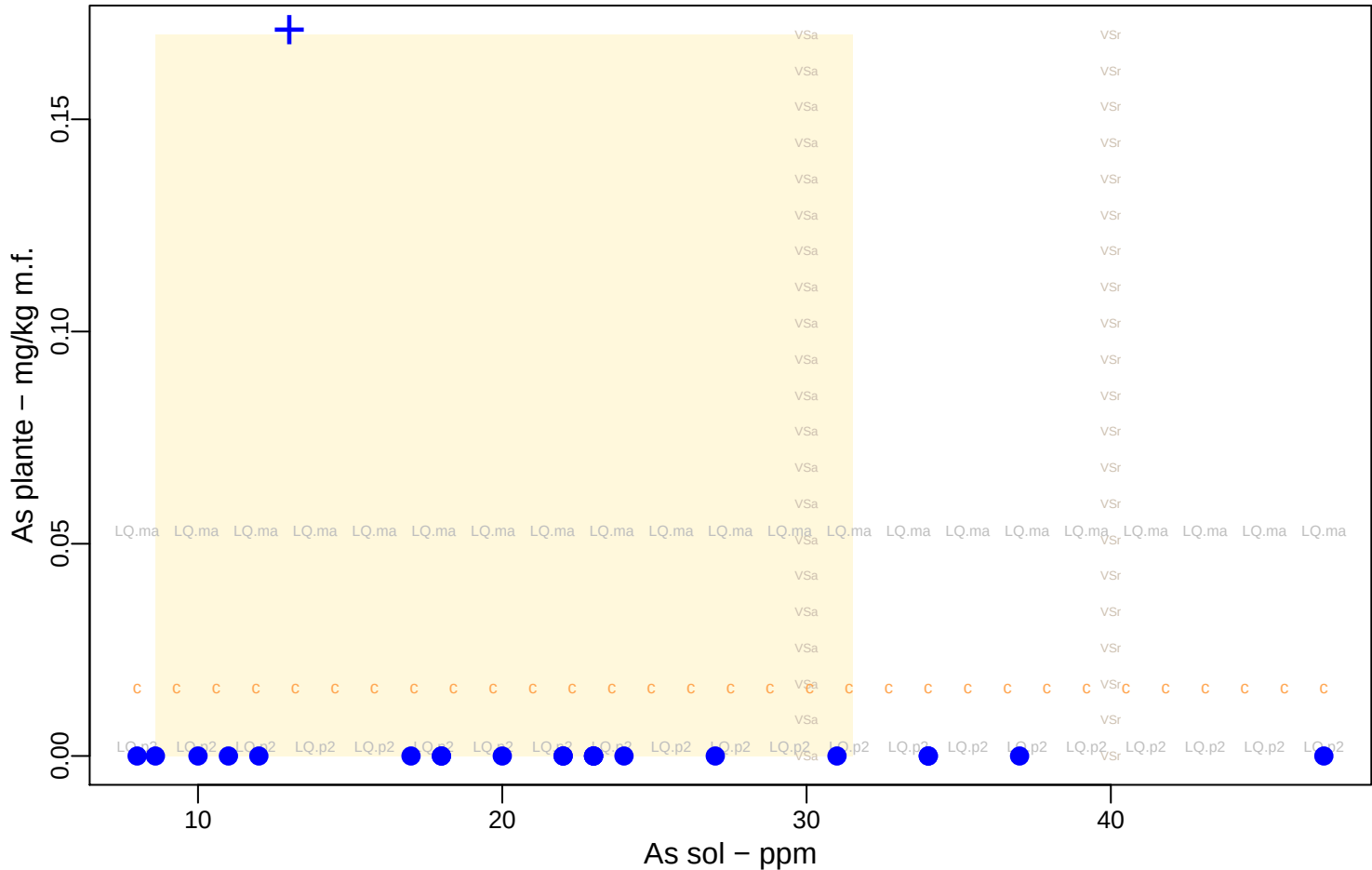
Bressoux : n=2 (/22)
Analyse de sol <LQ : n=2 (/22)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=1 (/22)

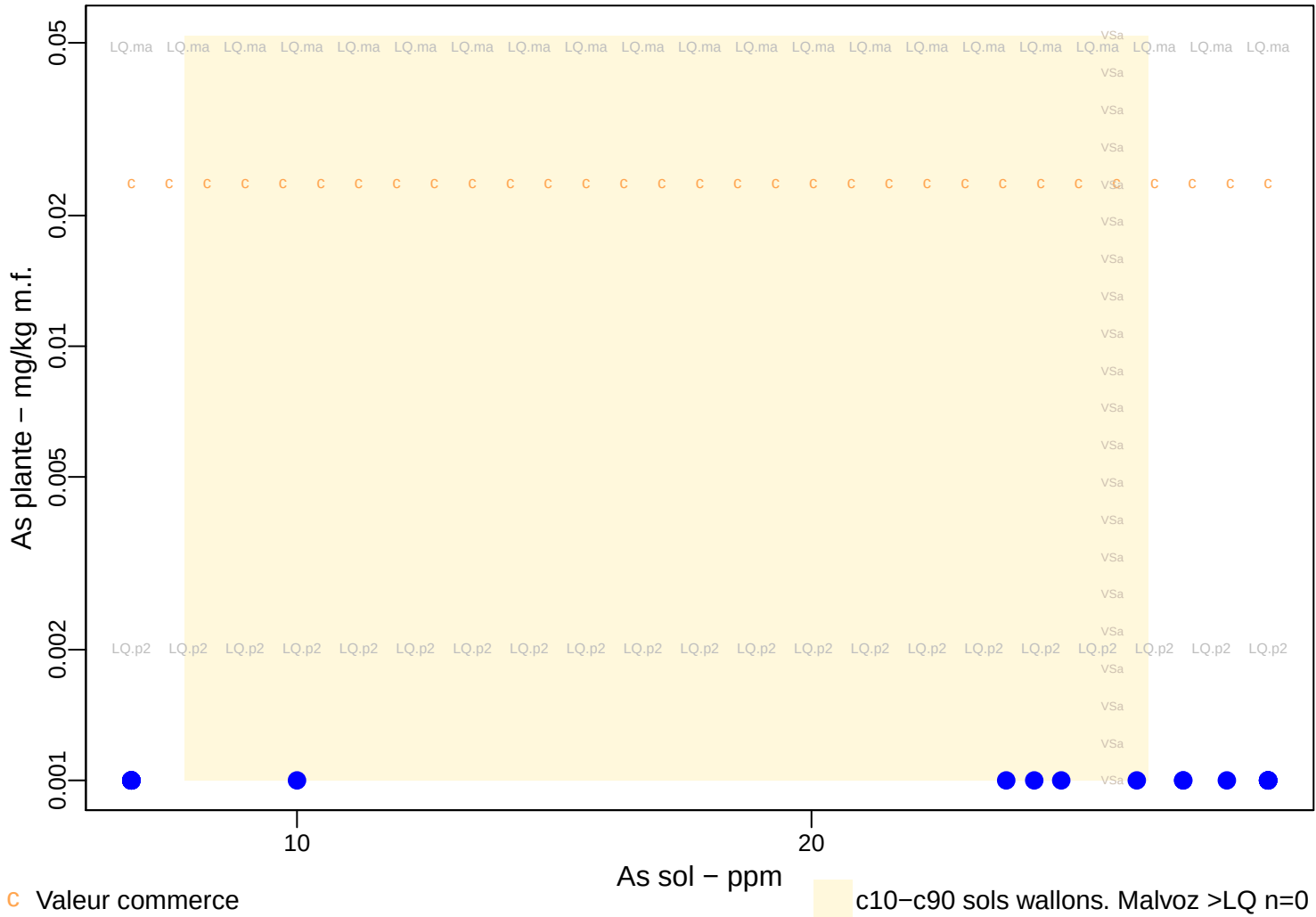
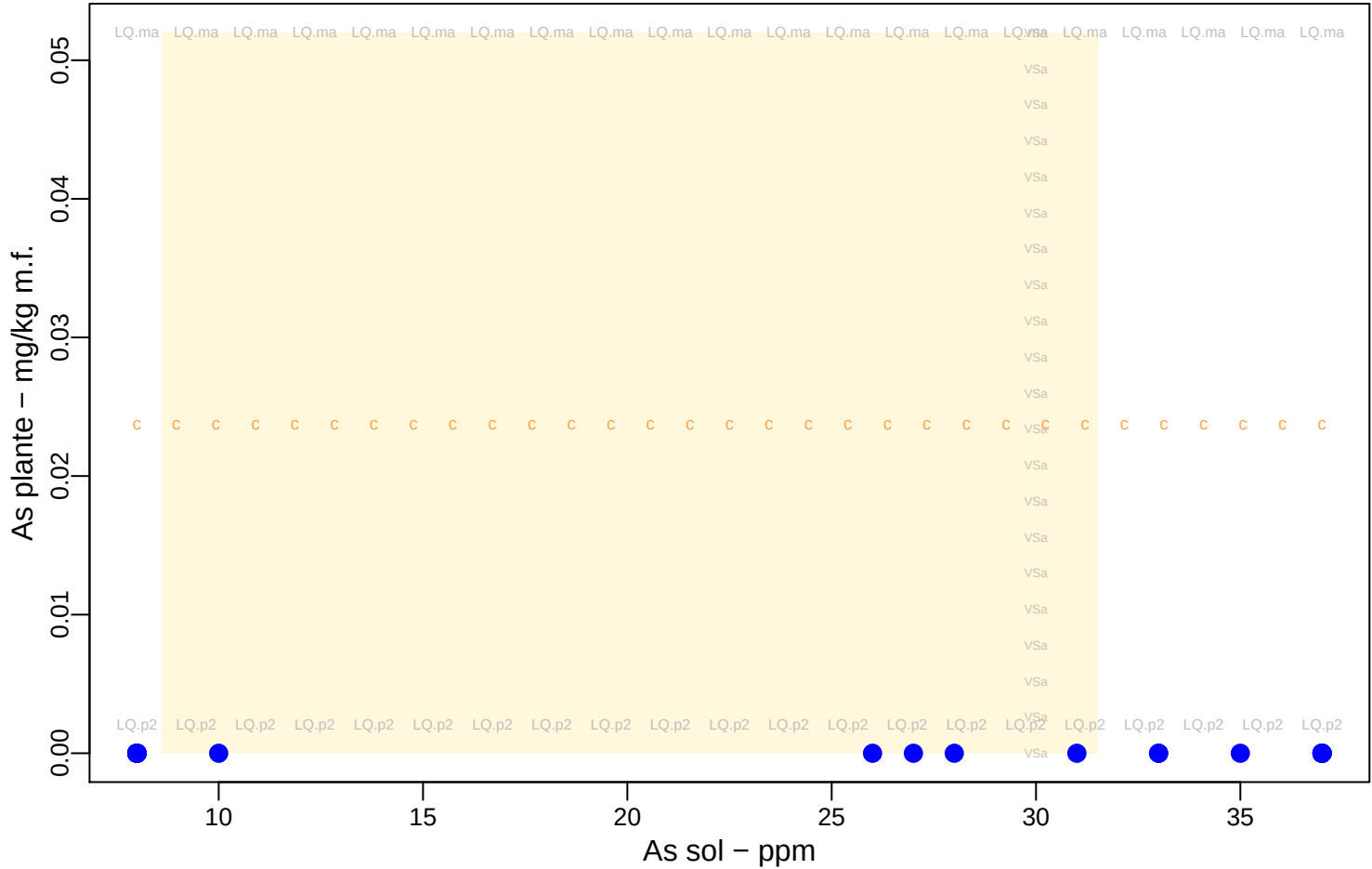
Poireau

Analyse du végétal

+ (n=1)

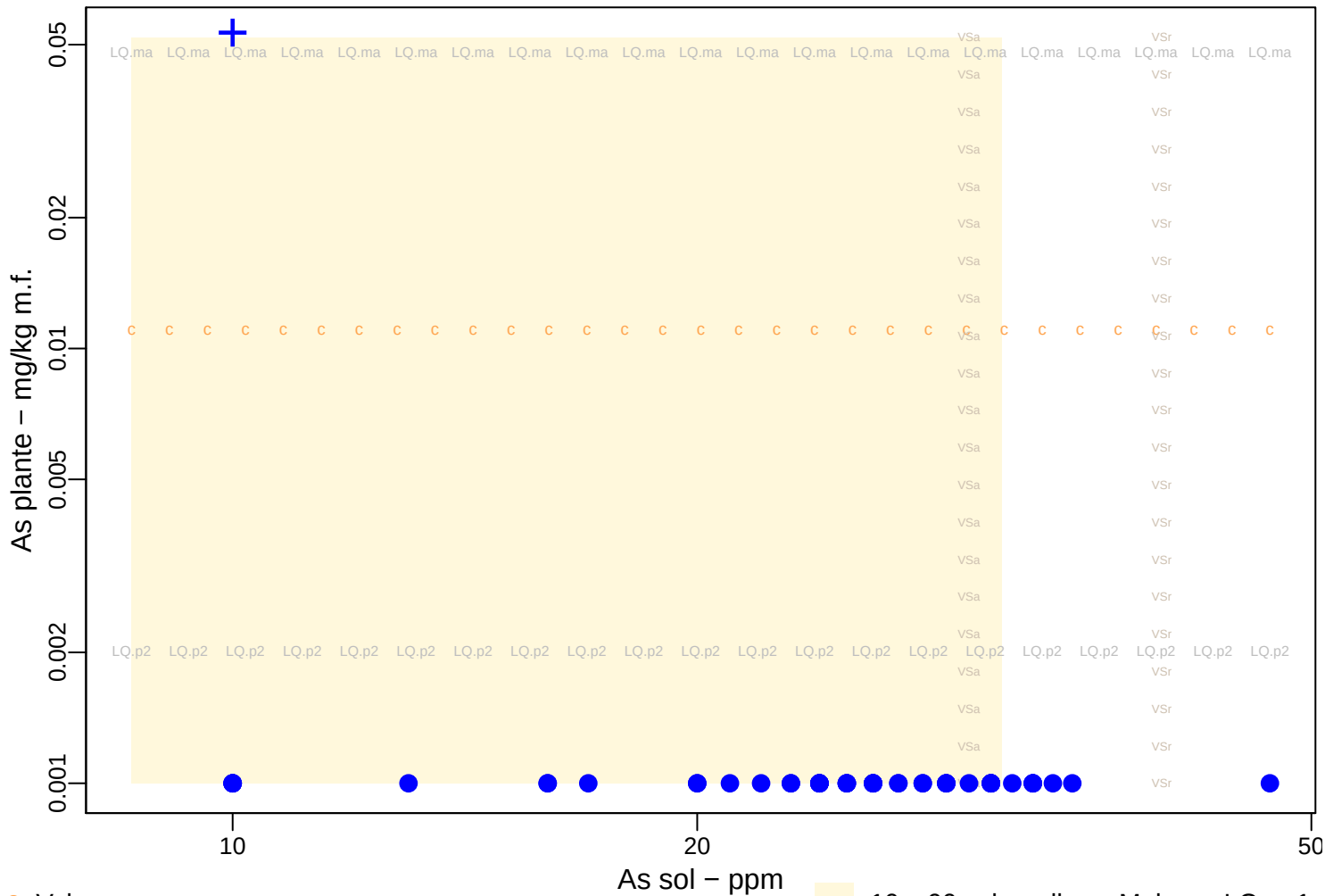
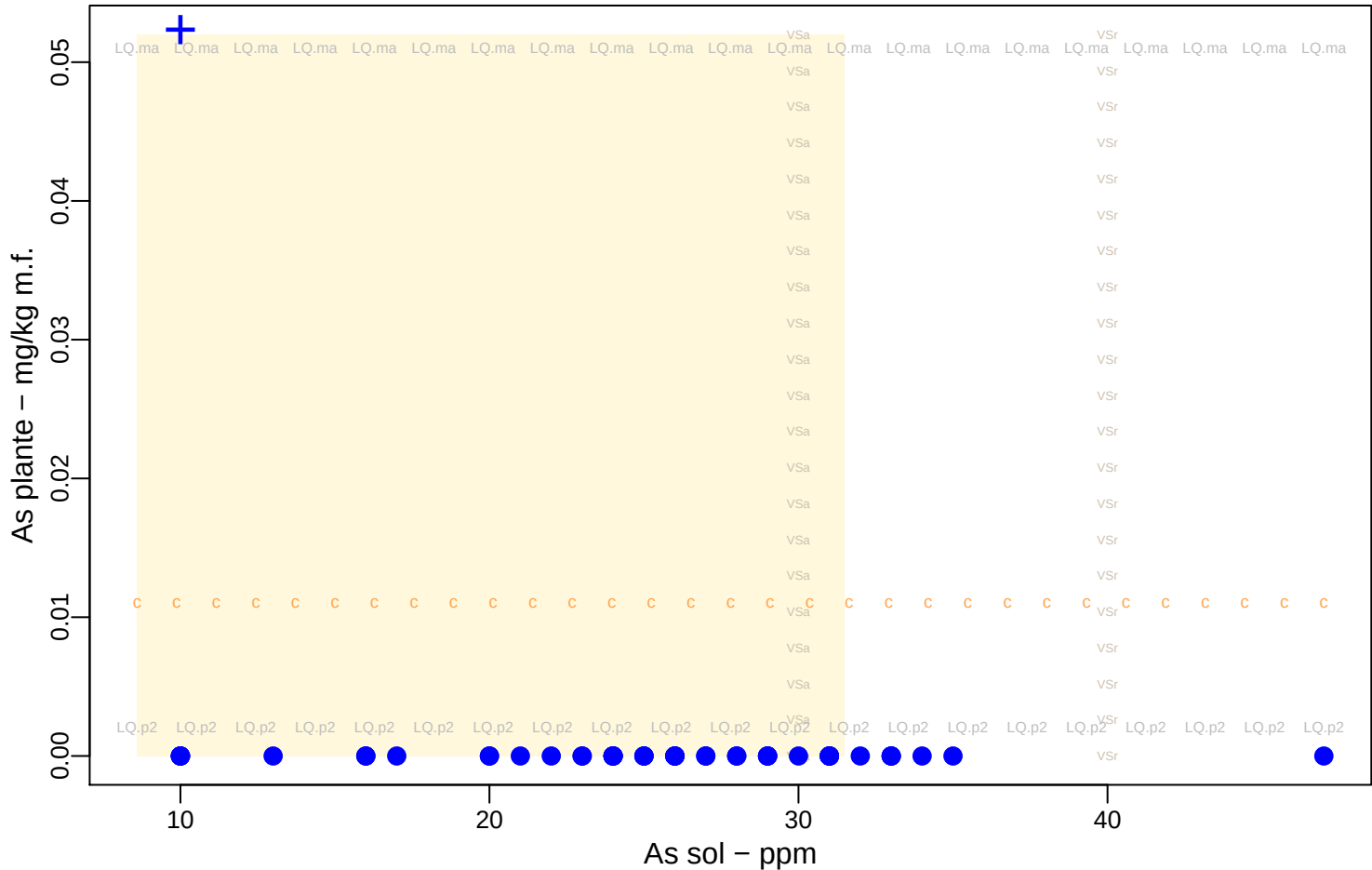
• <LQ (n=21)





Bressoux : n=23 (/47)
Analyse de sol <LQ : n=3 (/47)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=0 (/47)

Tomate
+ (n=1) • <LQ (n=46)



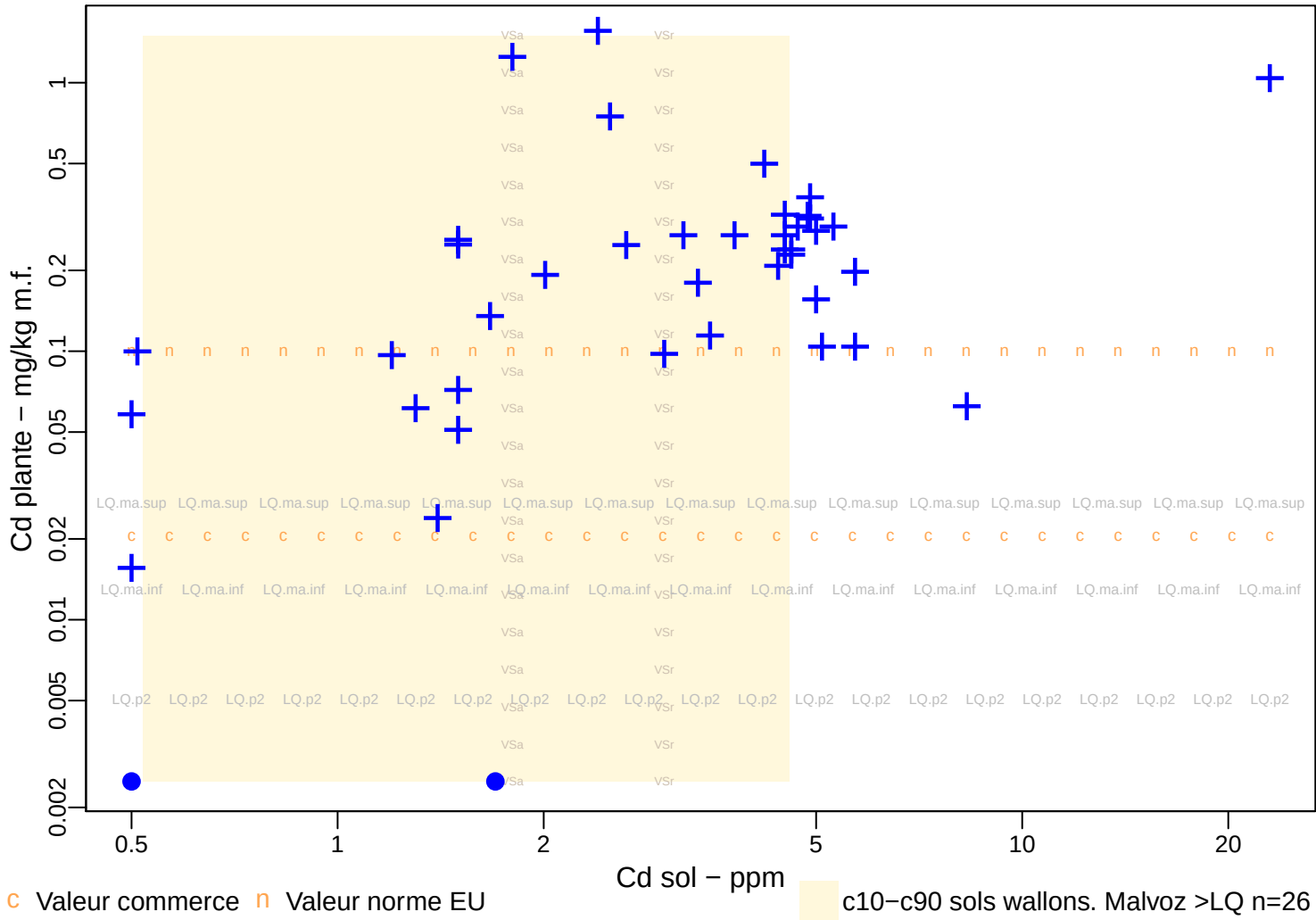
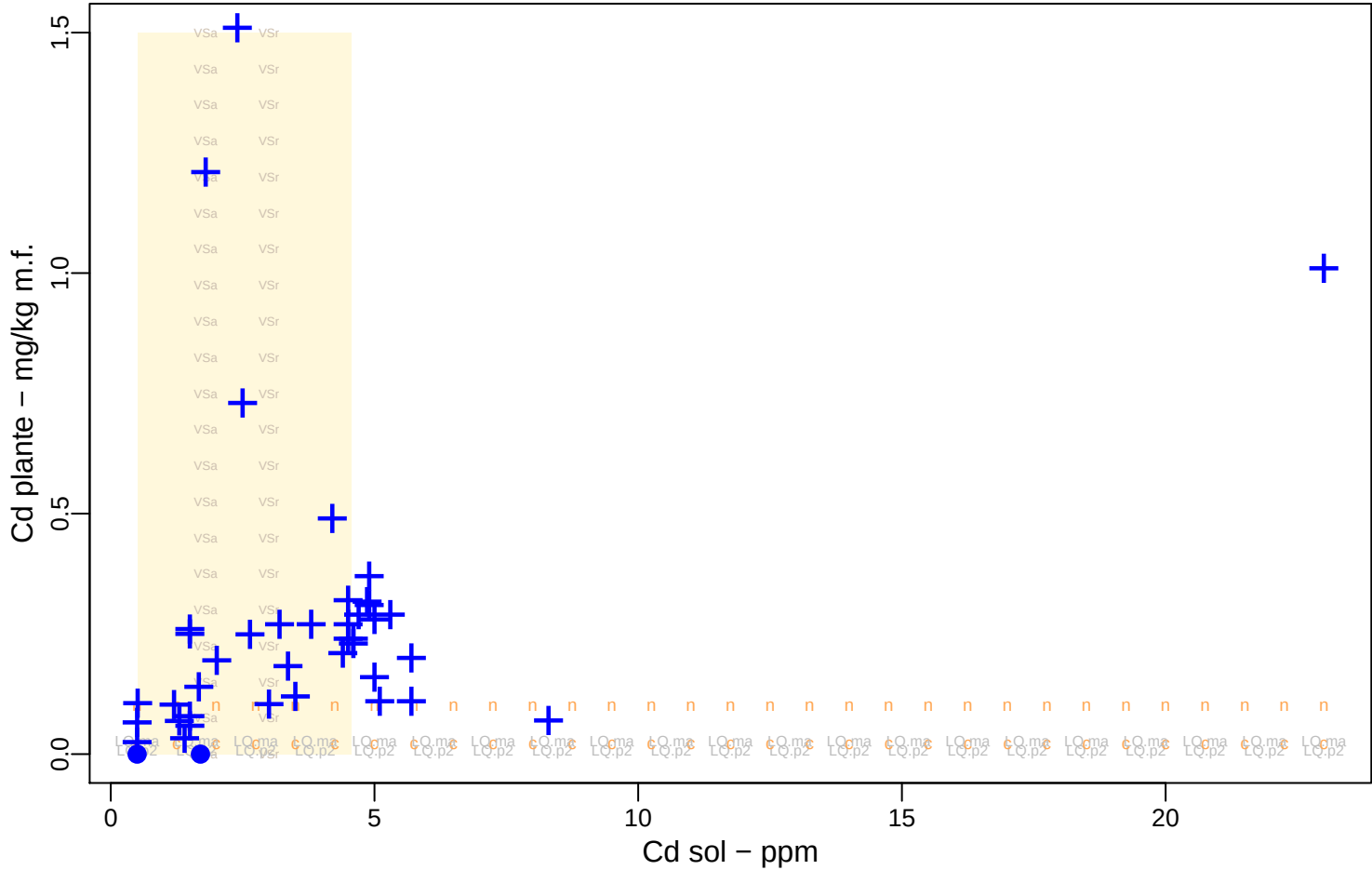
C Valeur commerce

c10–c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=1

Bressoux : n=19 (/42)
Analyse de sol <LQ : n=3 (/42)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=38 (/42)

Bette

Analyse du végétal
+ (n=40) • <LQ (n=2)

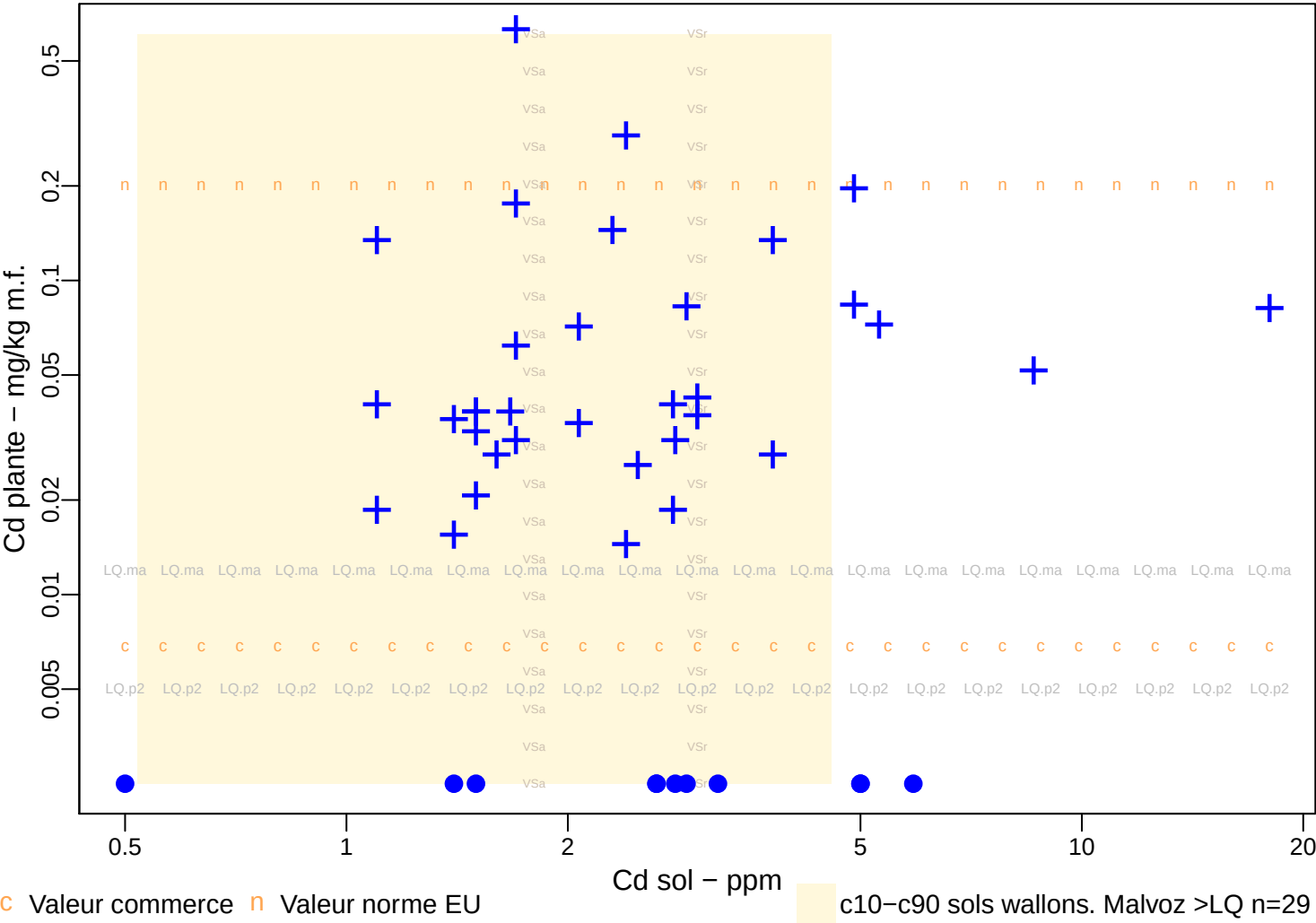
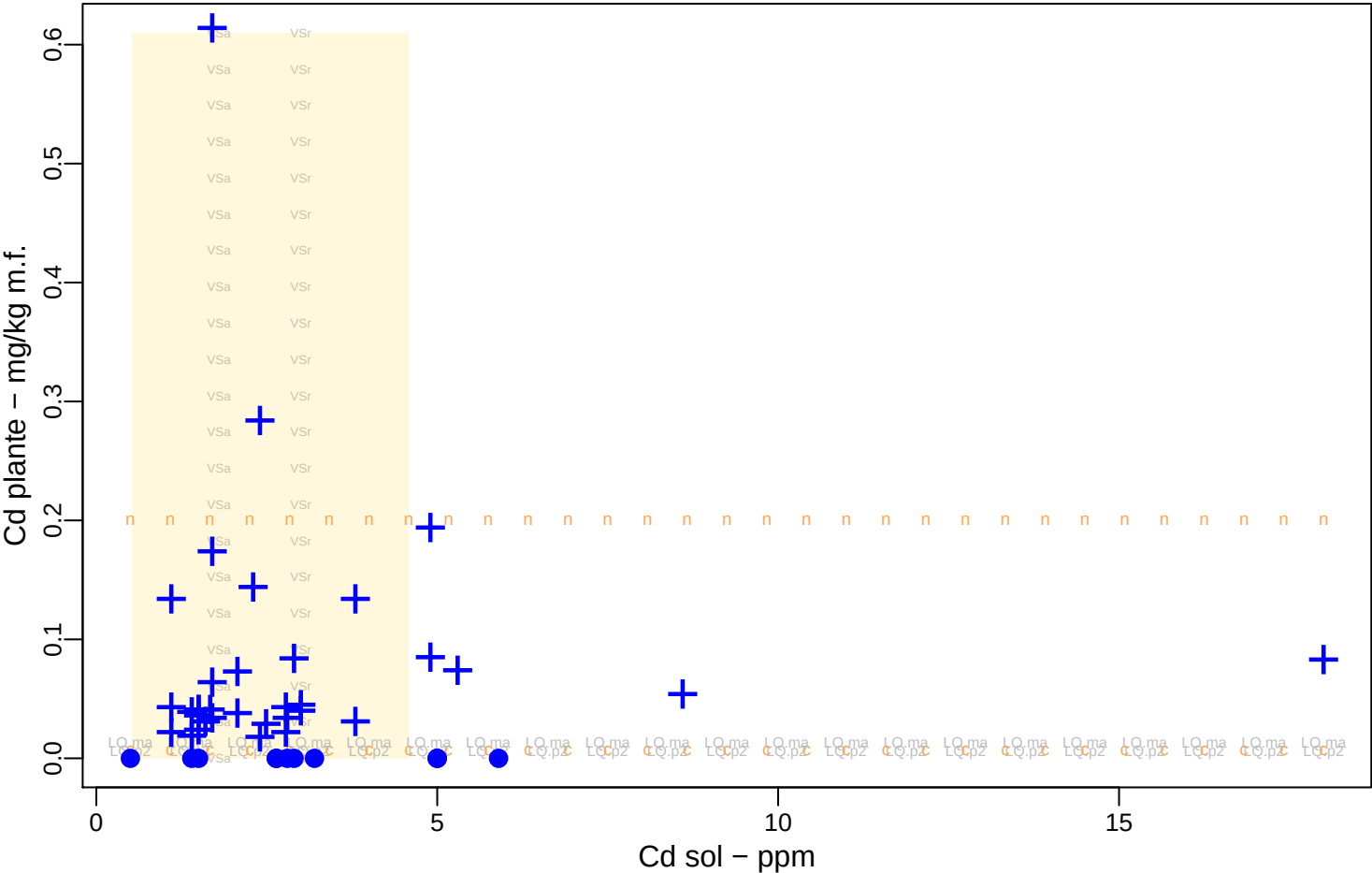


Bressoux : n=4 (/45)
Analyse de sol <LQ : n=1 (/45)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=34 (/45)

Chou

Analyse du végétal

+ (n=34) • <LQ (n=11)



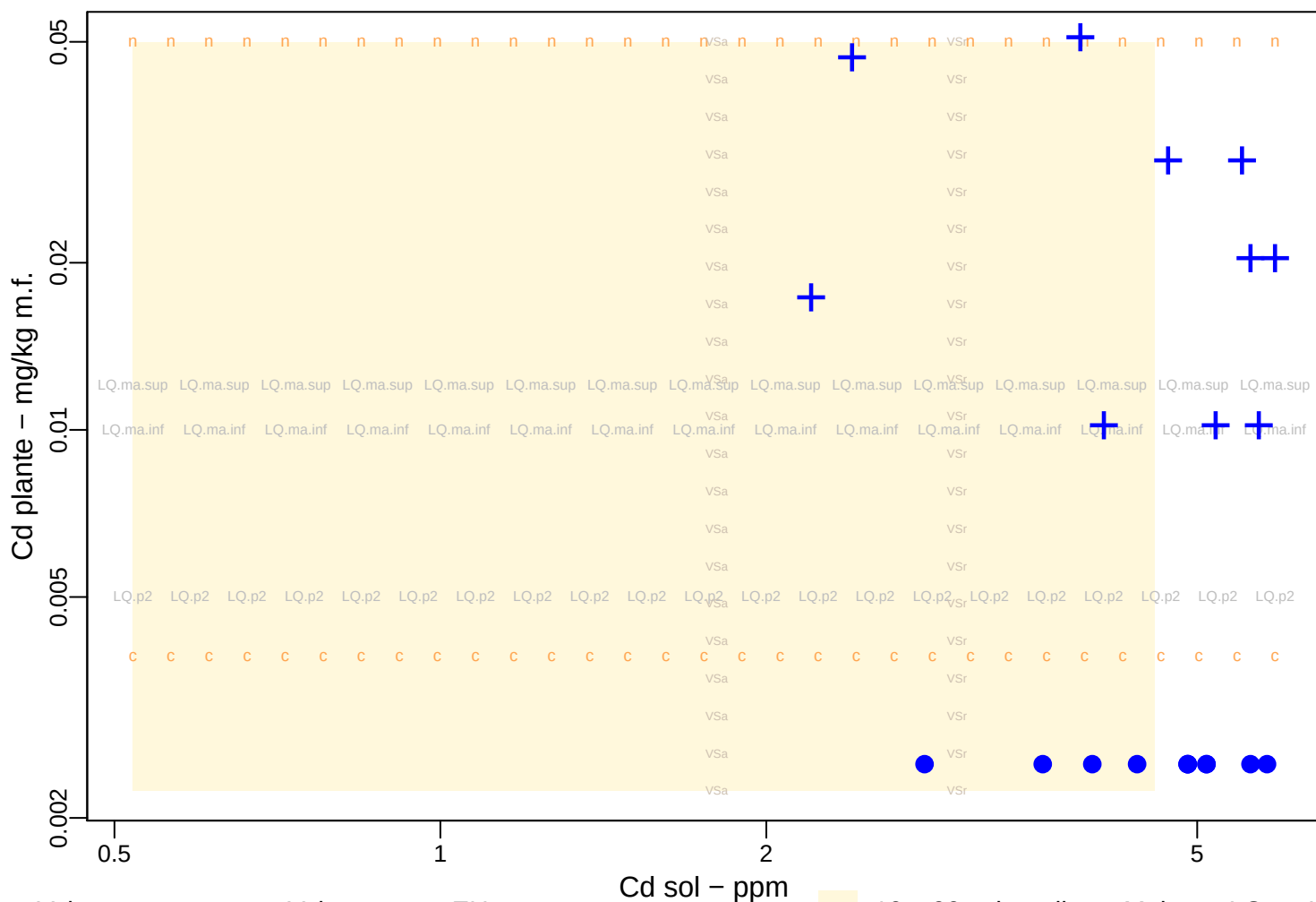
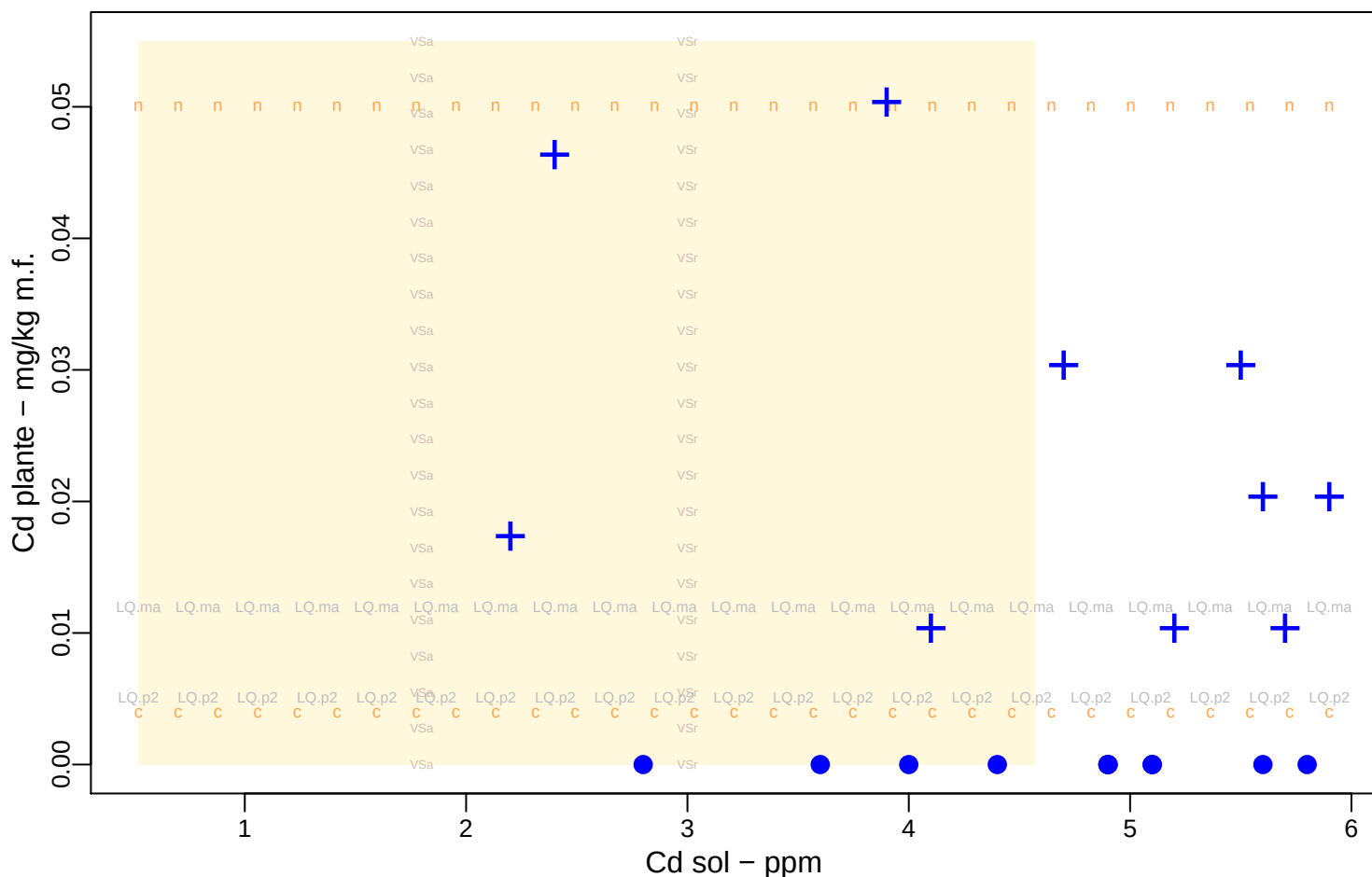
Bressoux : n=17 (/21)
 Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)
 Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=10 (/21)

Fraise

Analyse du végétal

+ (n=10)

• <LQ (n=11)



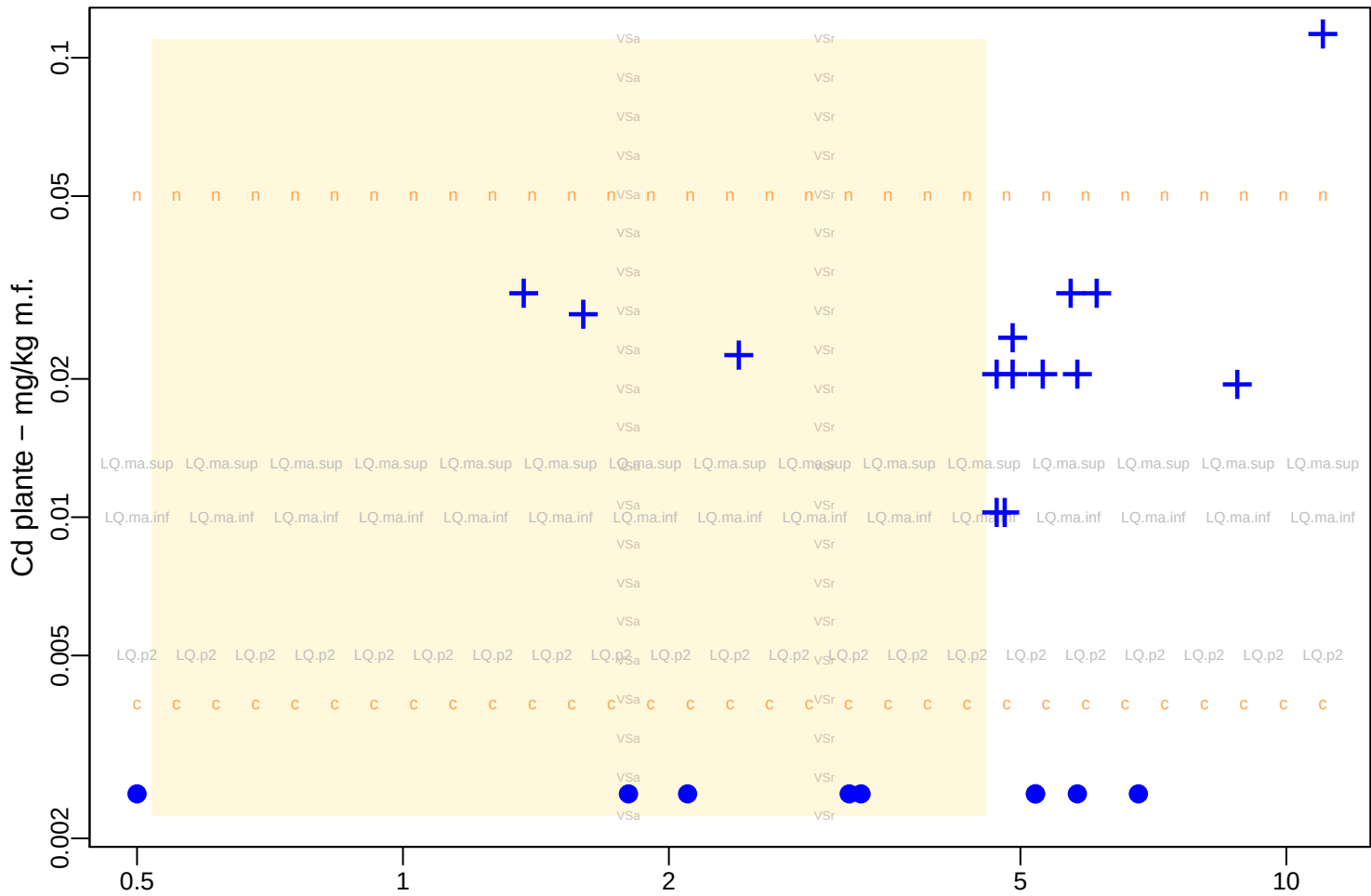
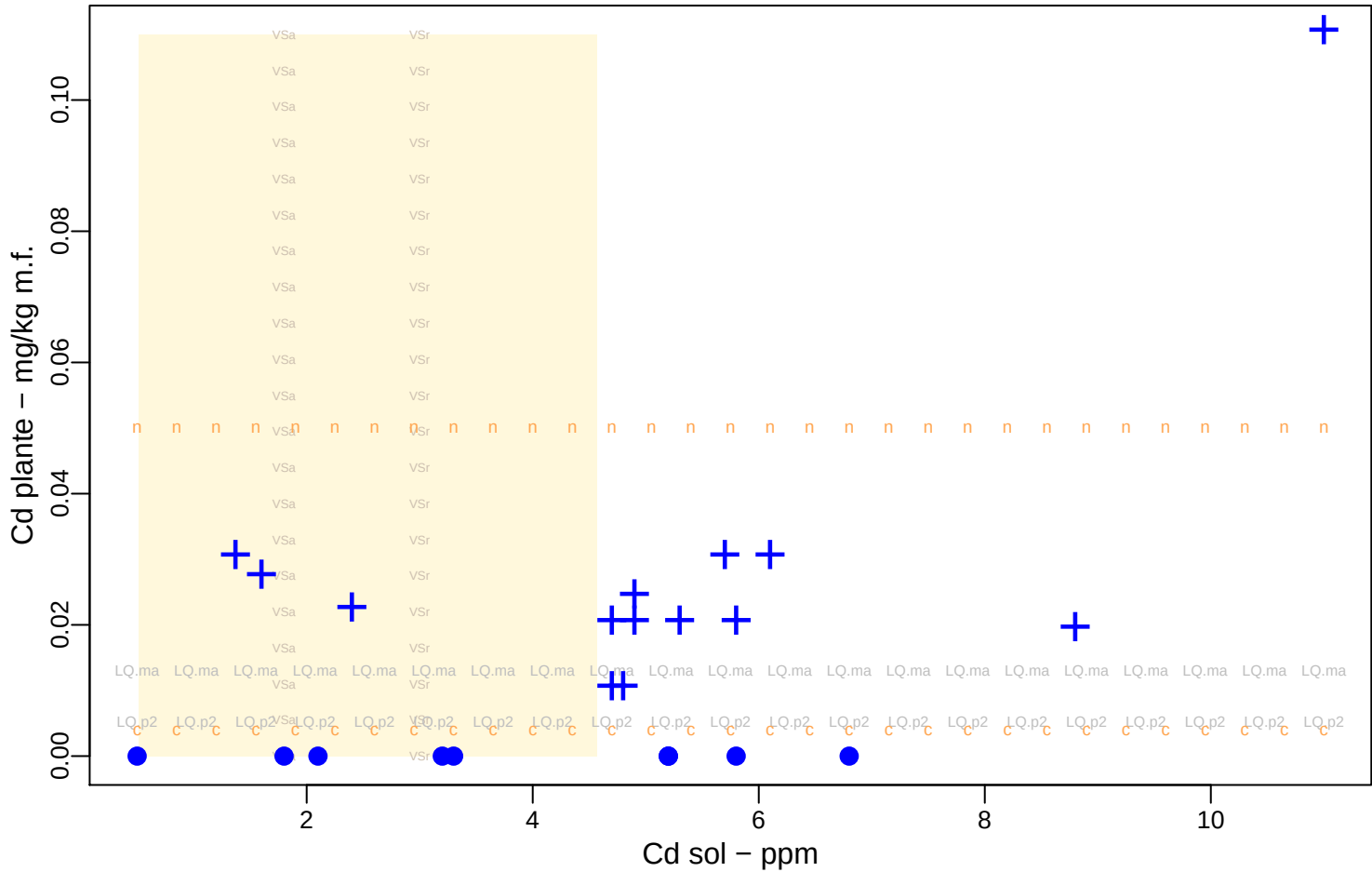
C Valeur commerce n Valeur norme EU

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=4

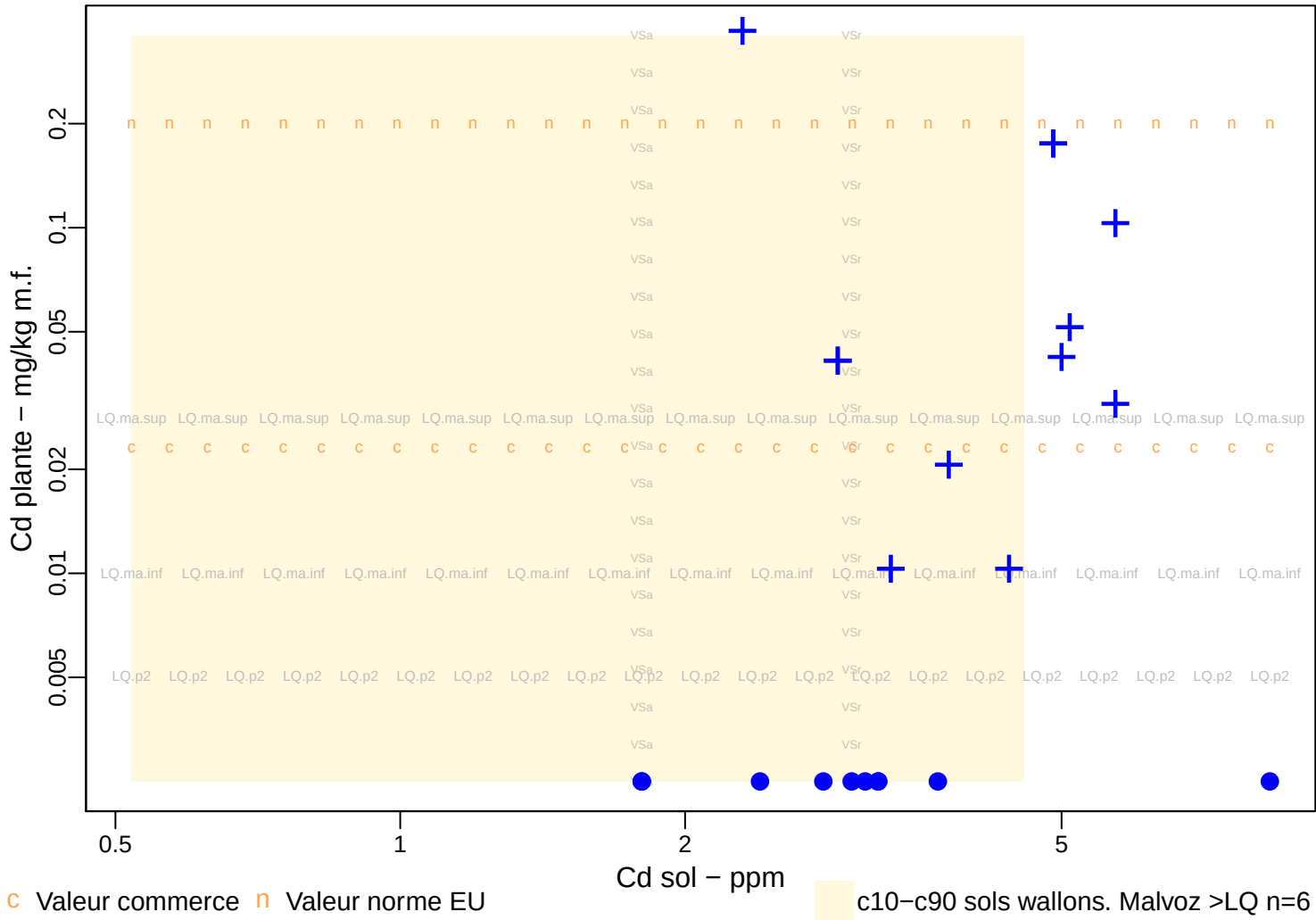
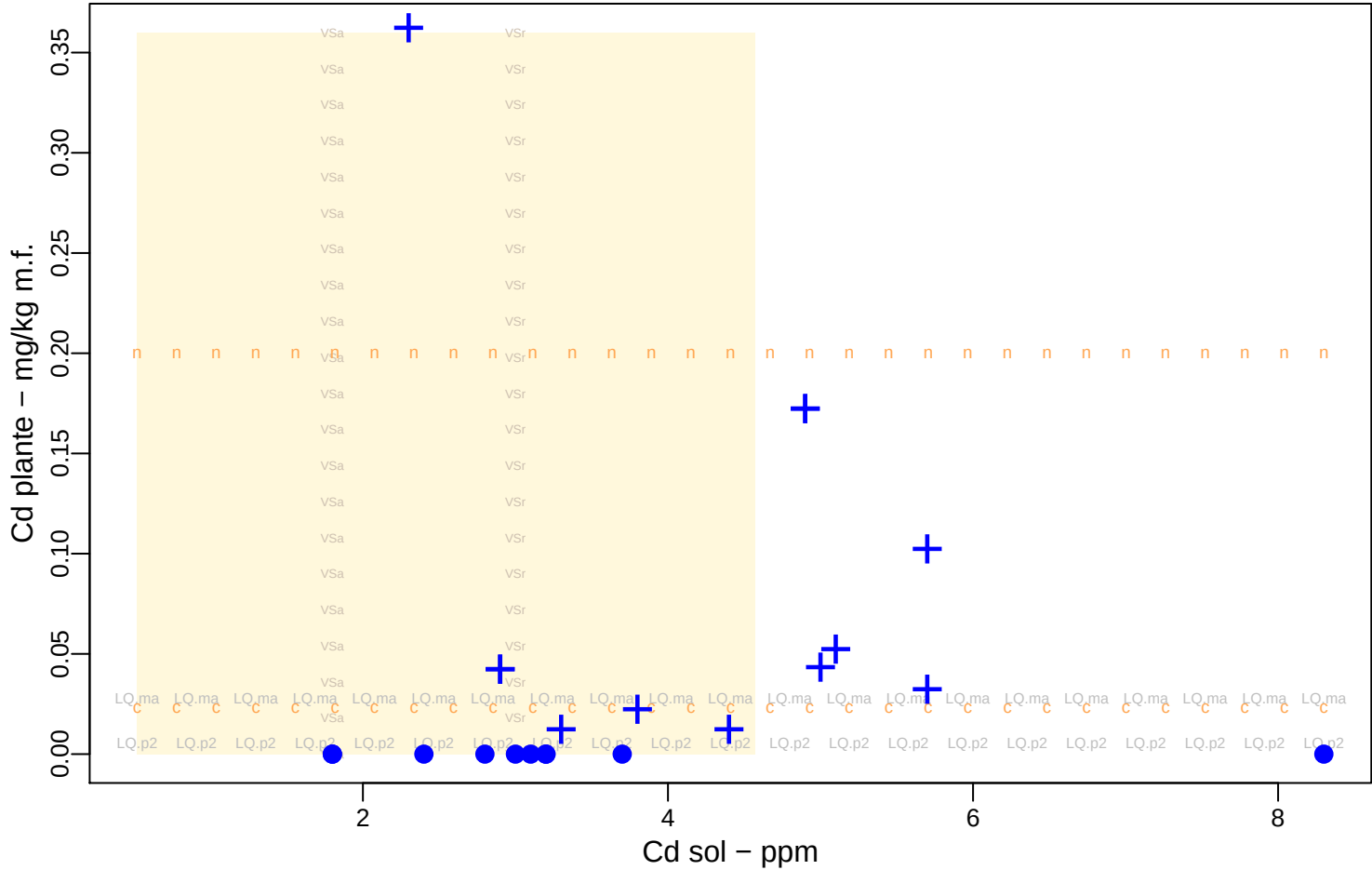
Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=1 (/23)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=14 (/23)

Framboise

Analyse du végétal
+ (n=14) • <LQ (n=9)



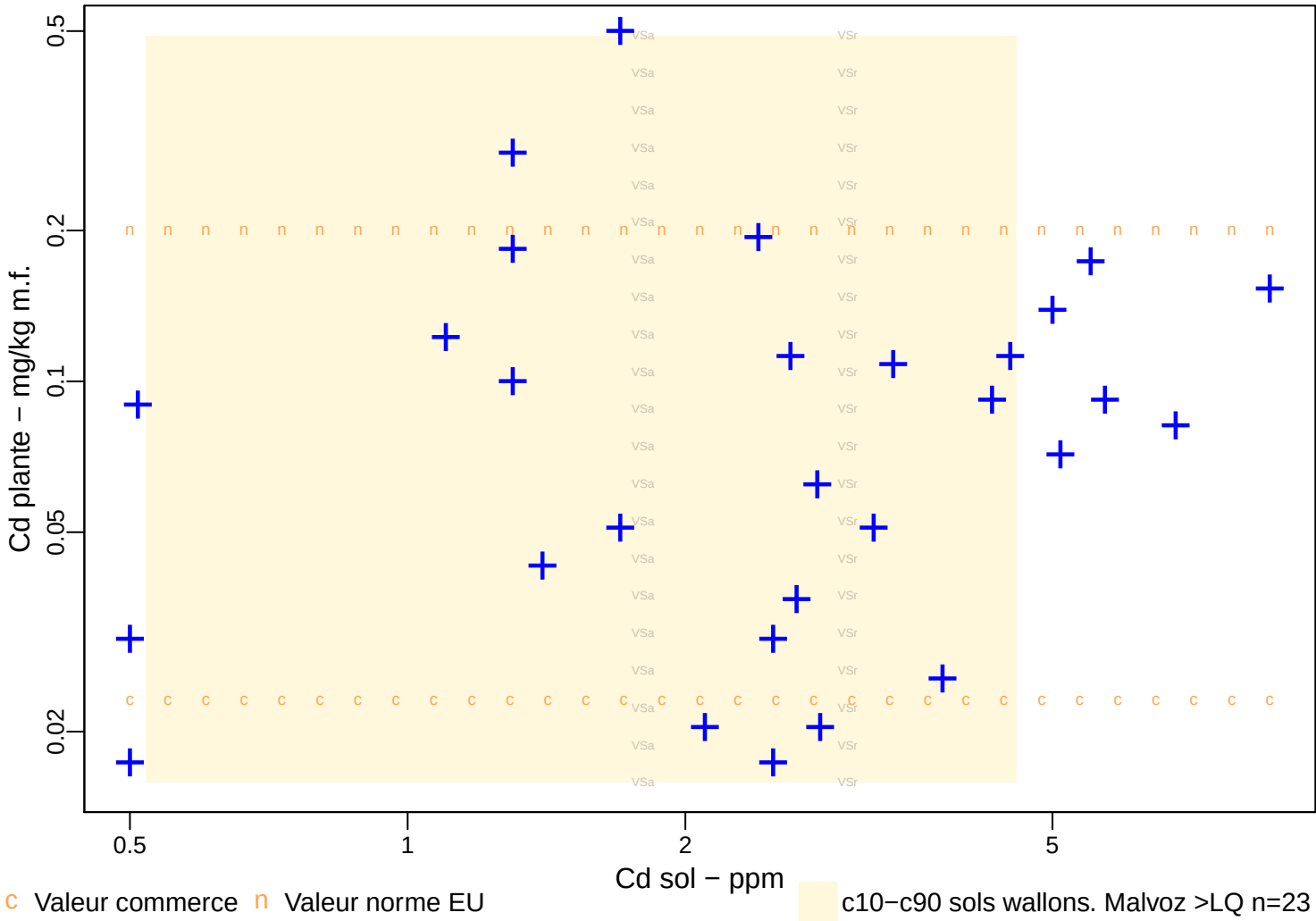
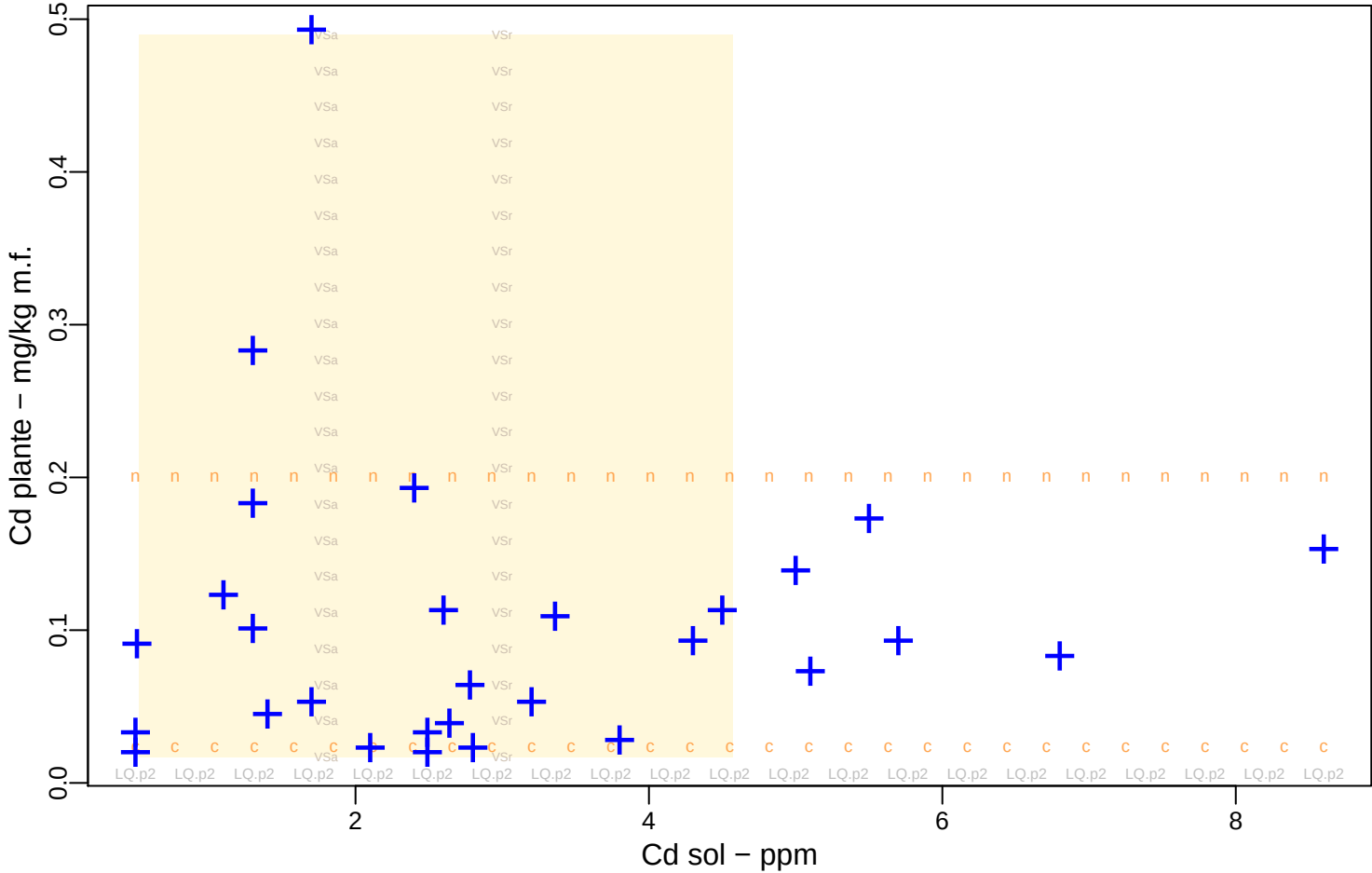
c Valeur commerce n Valeur norme EU c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=3



Bressoux : n=6 (/29)
Analyse de sol <LQ : n=2 (/29)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=27 (/29)

Persil

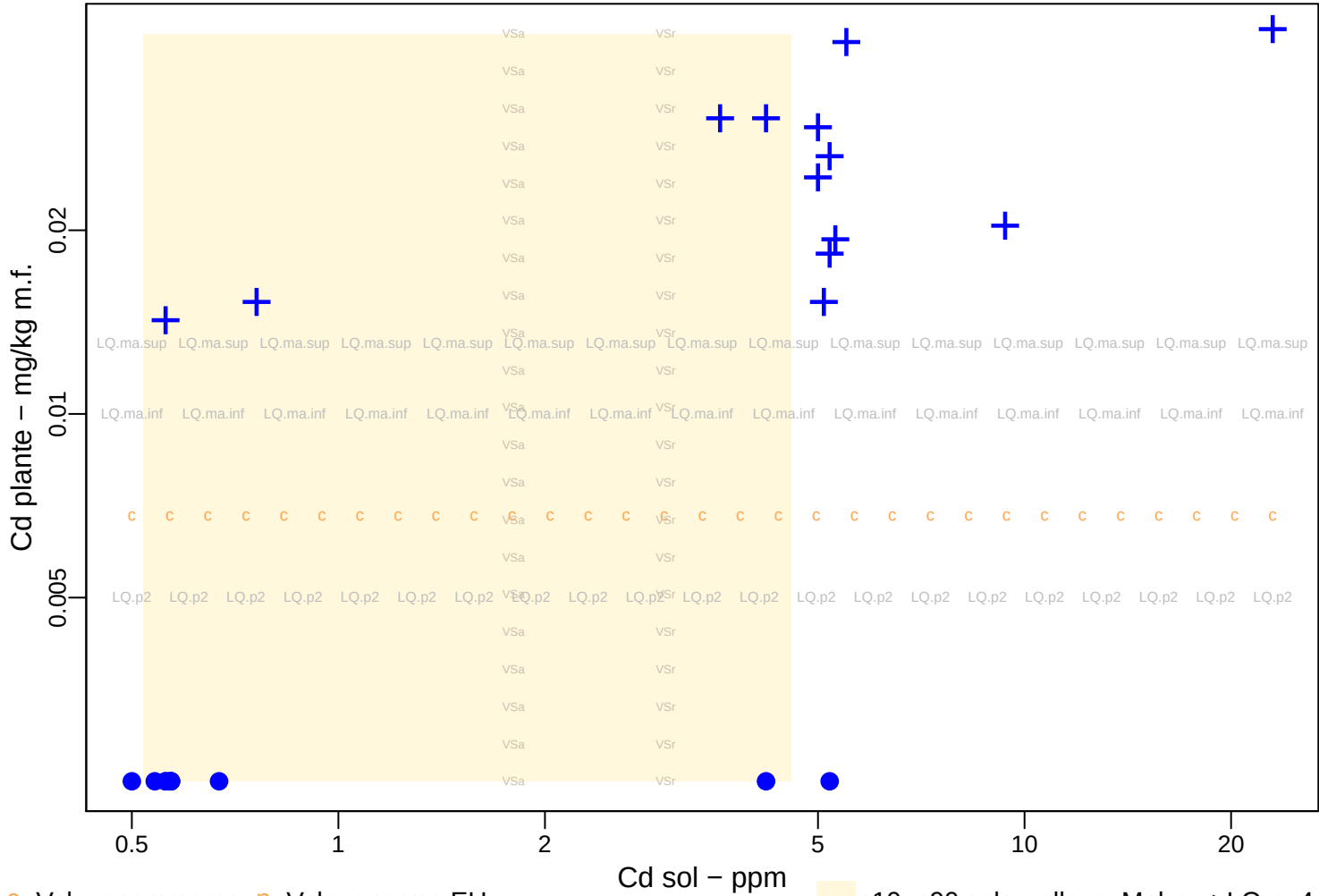
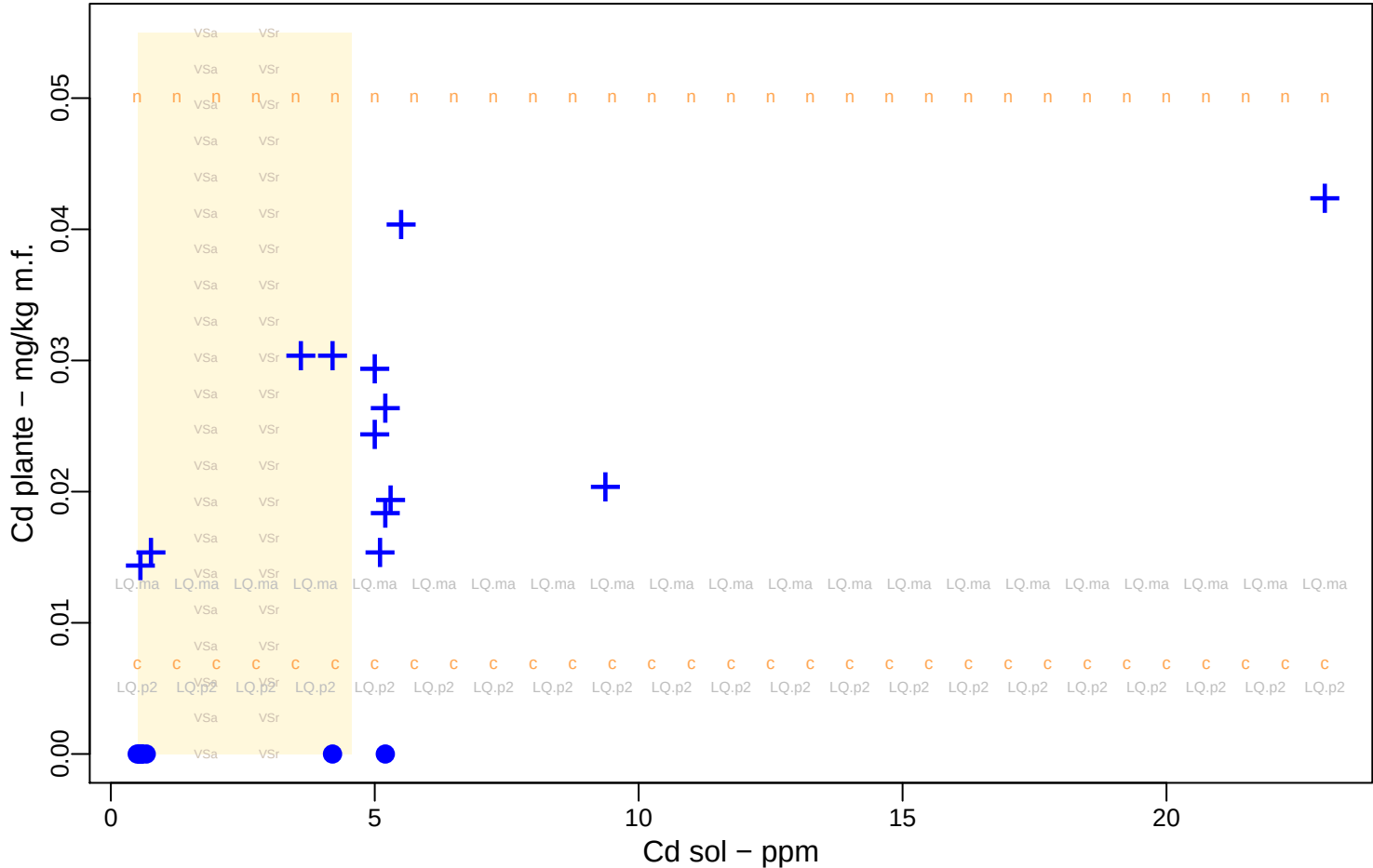
Analyse du végétal
+ (n=29) • <LQ (n=0)



Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=8 (/24)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=12 (/24)

Poivron

Analyse du végétal
+ (n=13) • <LQ (n=11)

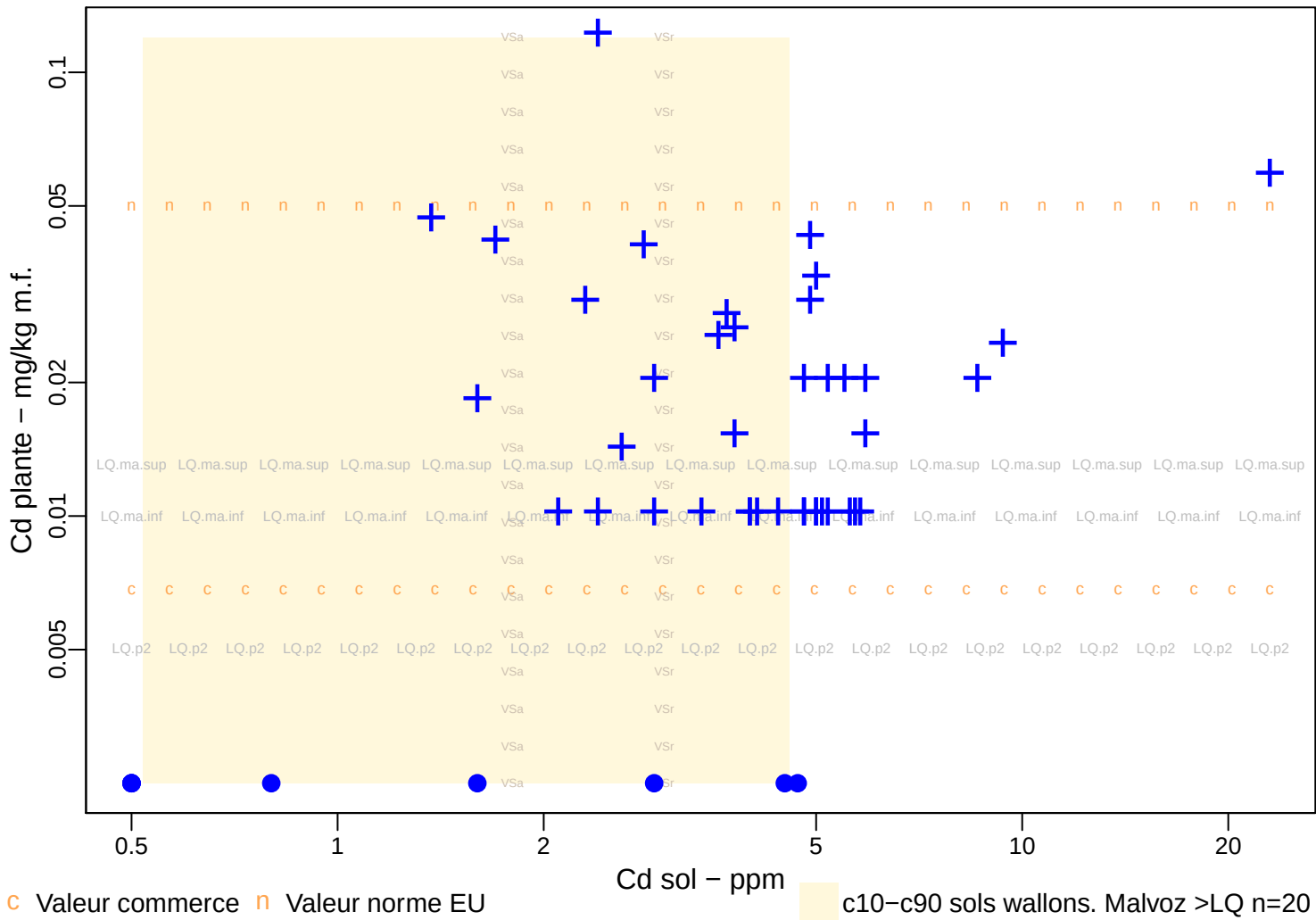
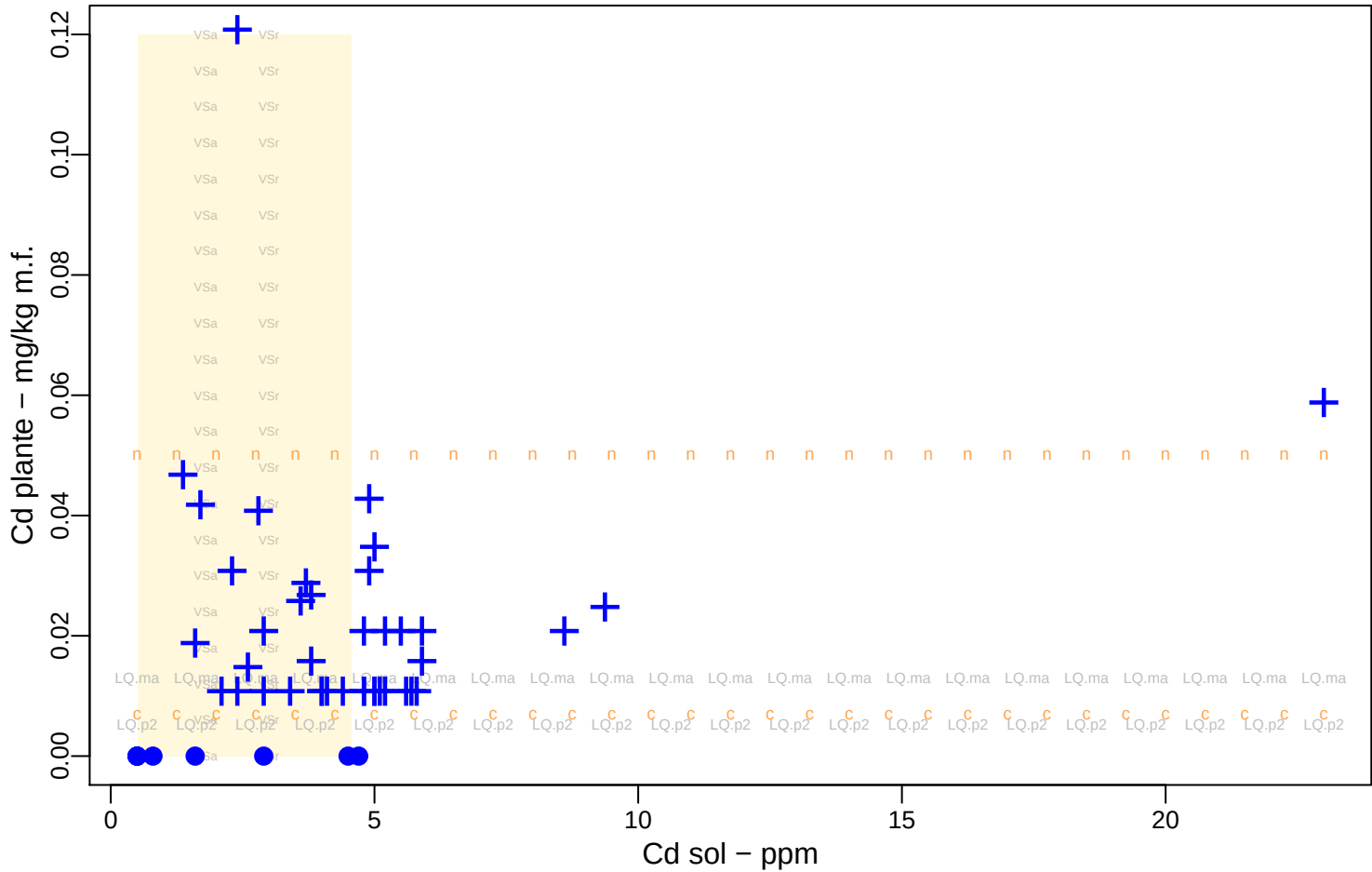


C Valeur commerce n Valeur norme EU c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=4

Bressoux : n=23 (/48)
Analyse de sol <LQ : n=3 (/48)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=40 (/48)

Tomate

Analyse du végétal
+ (n=40) • <LQ (n=8)

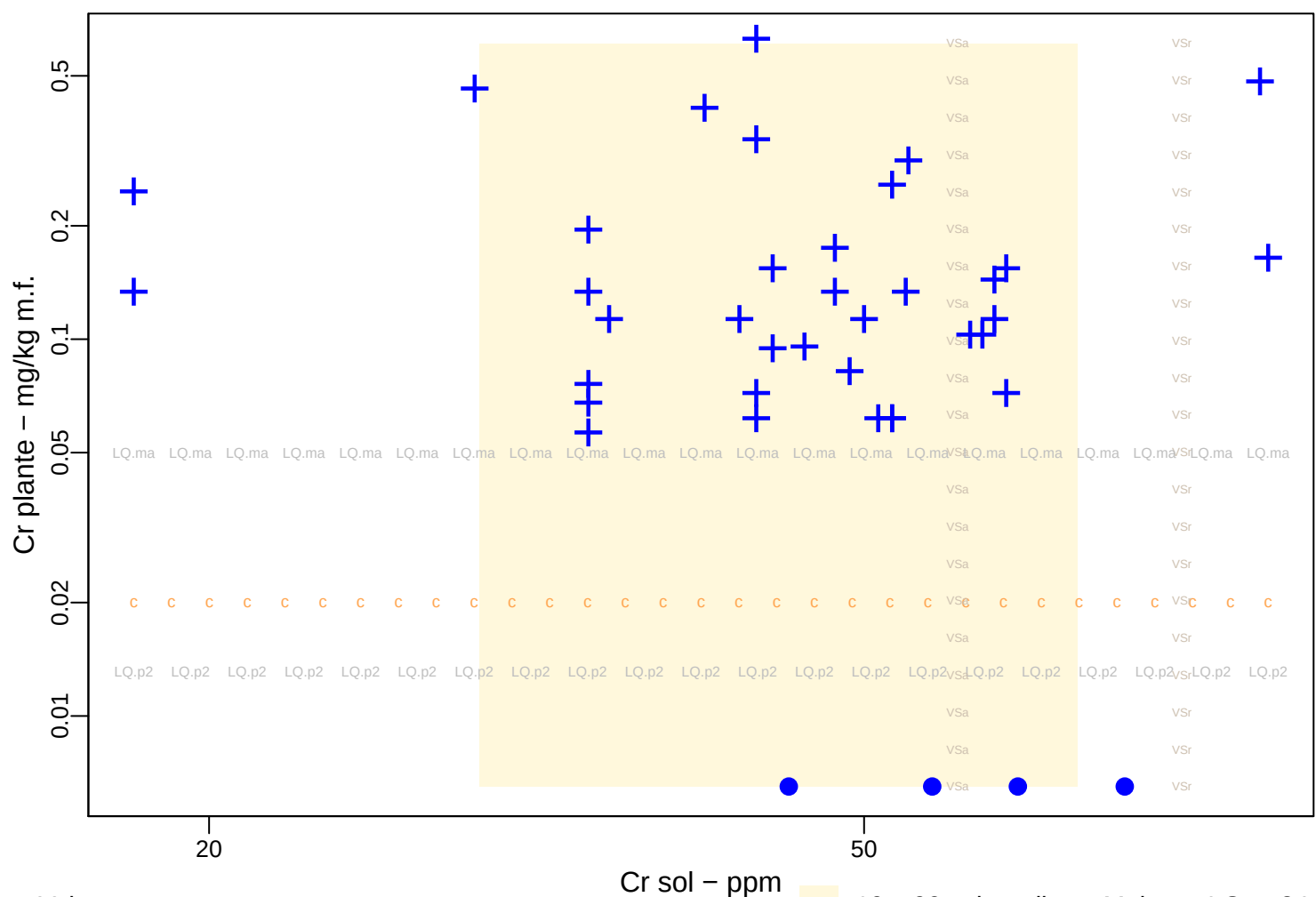
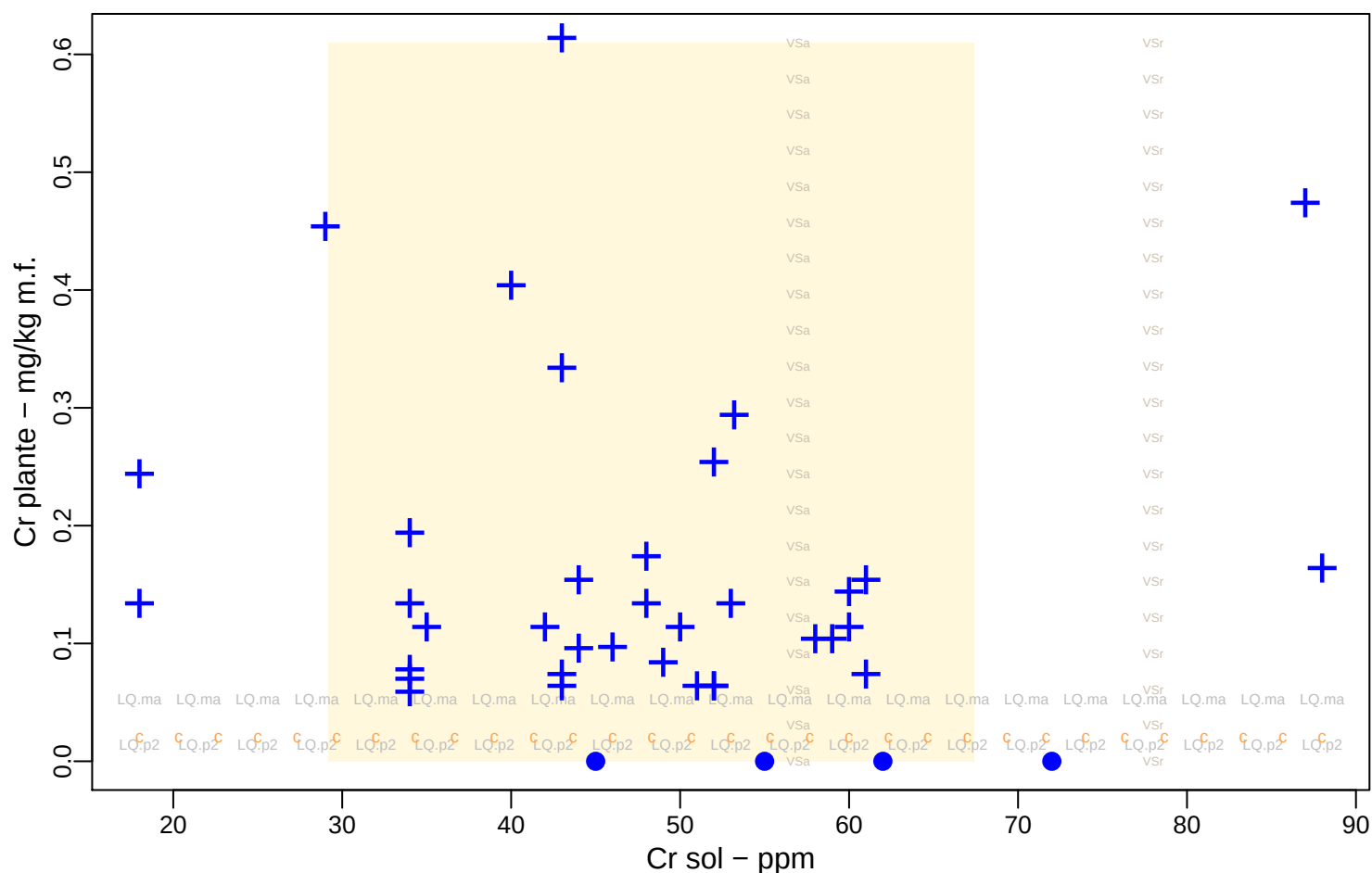


Bressoux : n=19 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=36 (/40)

Bette

Analyse du végétal

+ (n=36) ● <LQ (n=4)

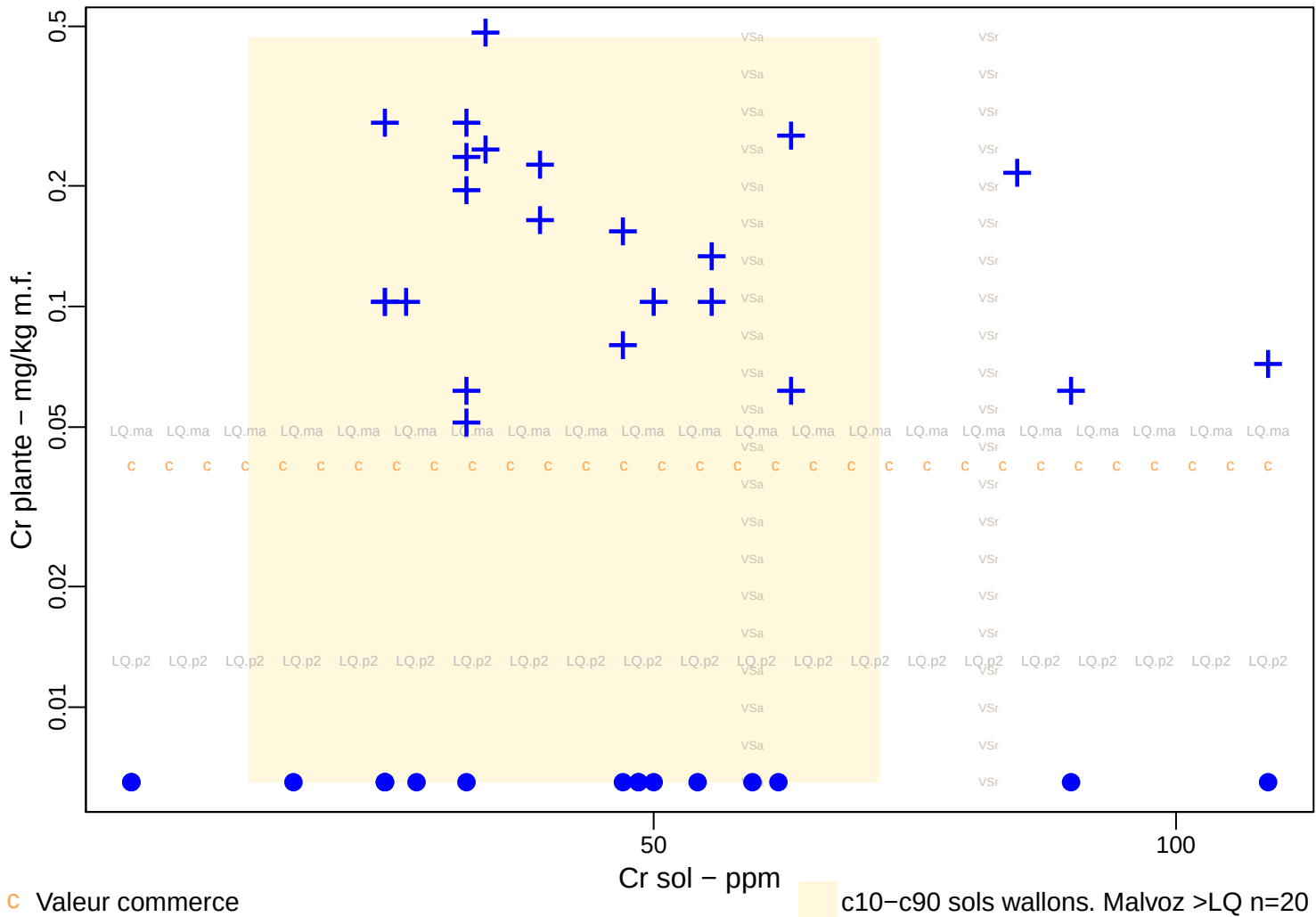
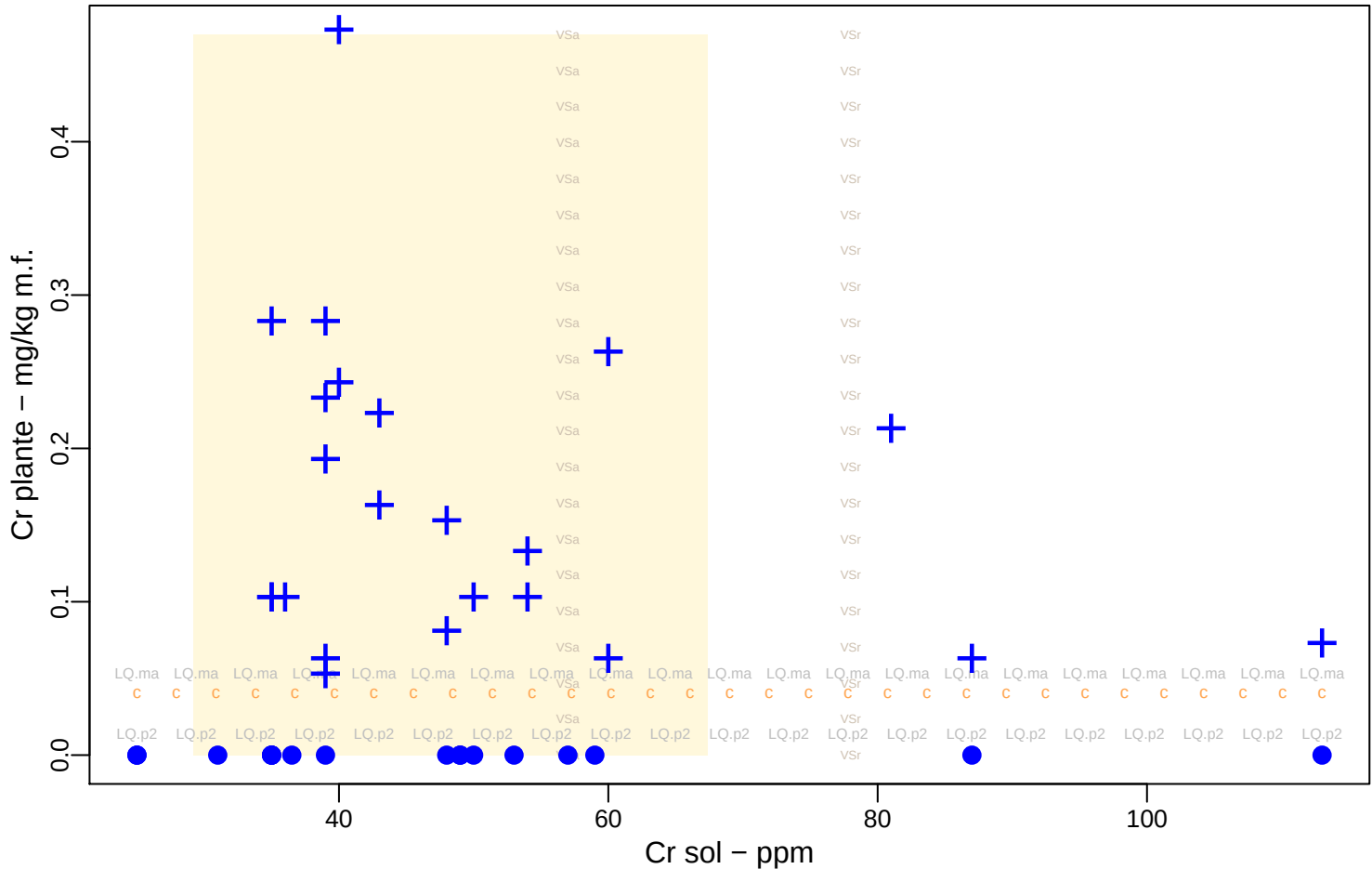


● Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=34

Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=23 (/40)

Chou
Analyse du végétal
+ (n=23) • <LQ (n=17)



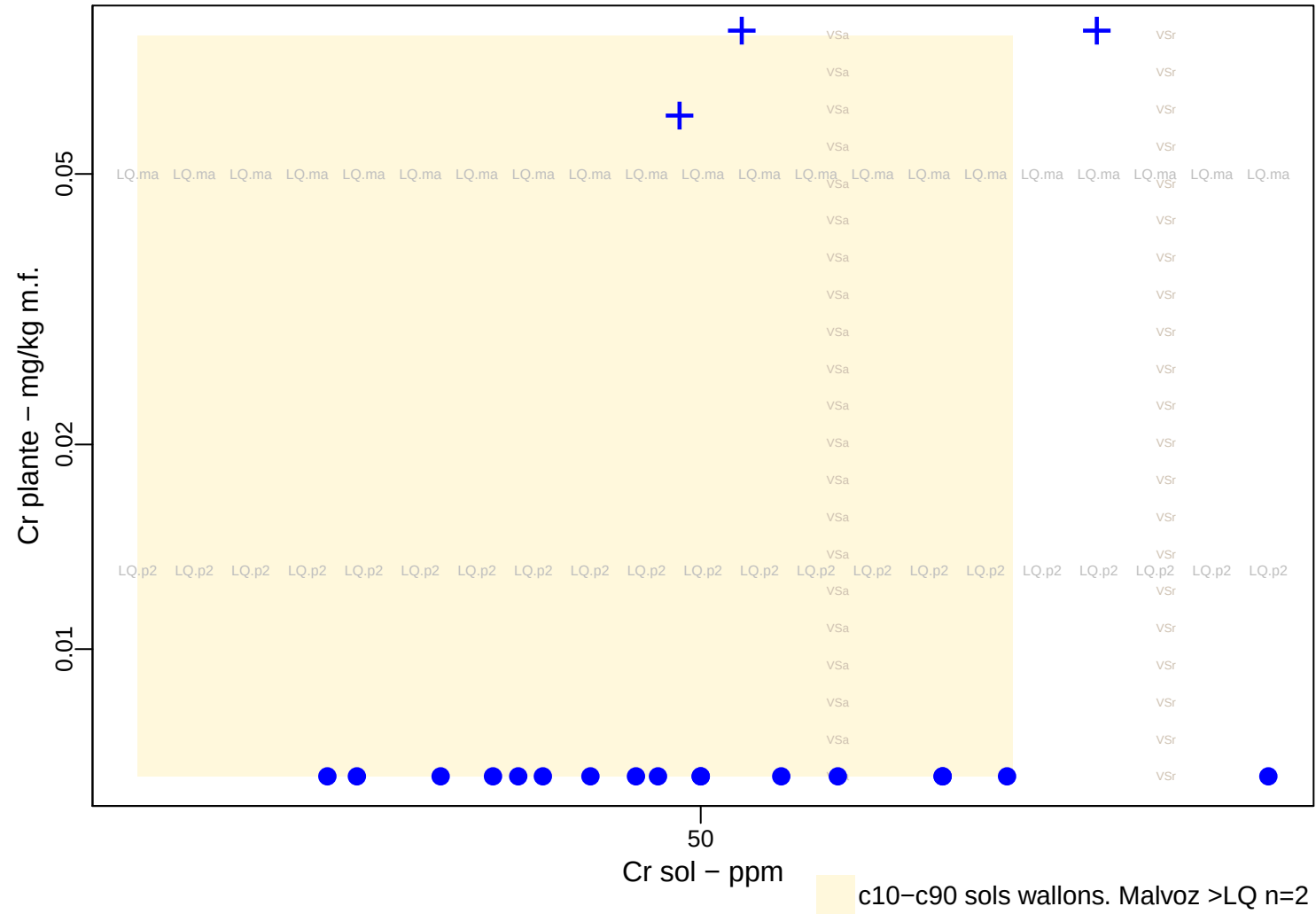
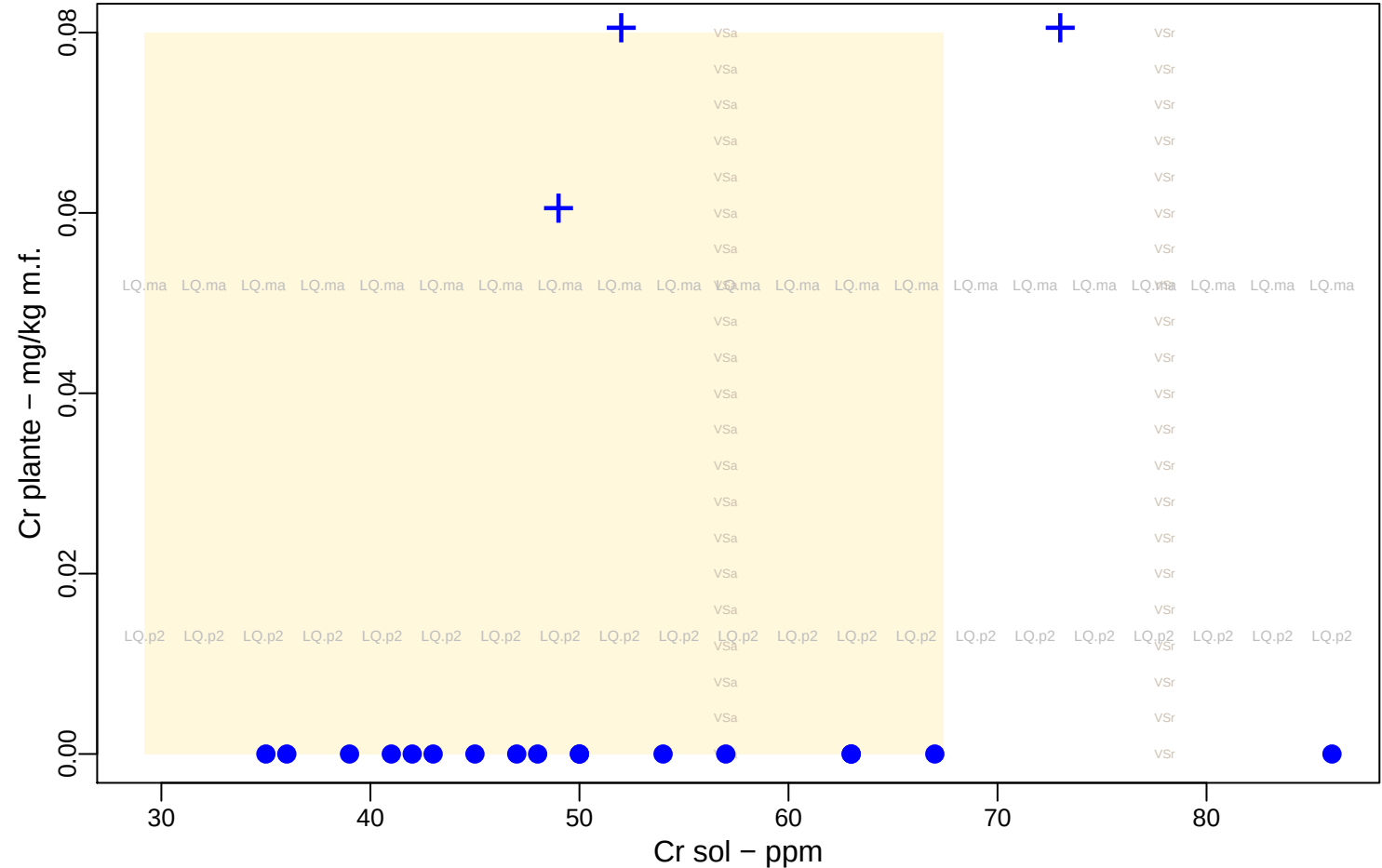
Bressoux : n=17 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=3 (/20)

Fraise

Analyse du végétal

+ (n=3)

• <LQ (n=17)

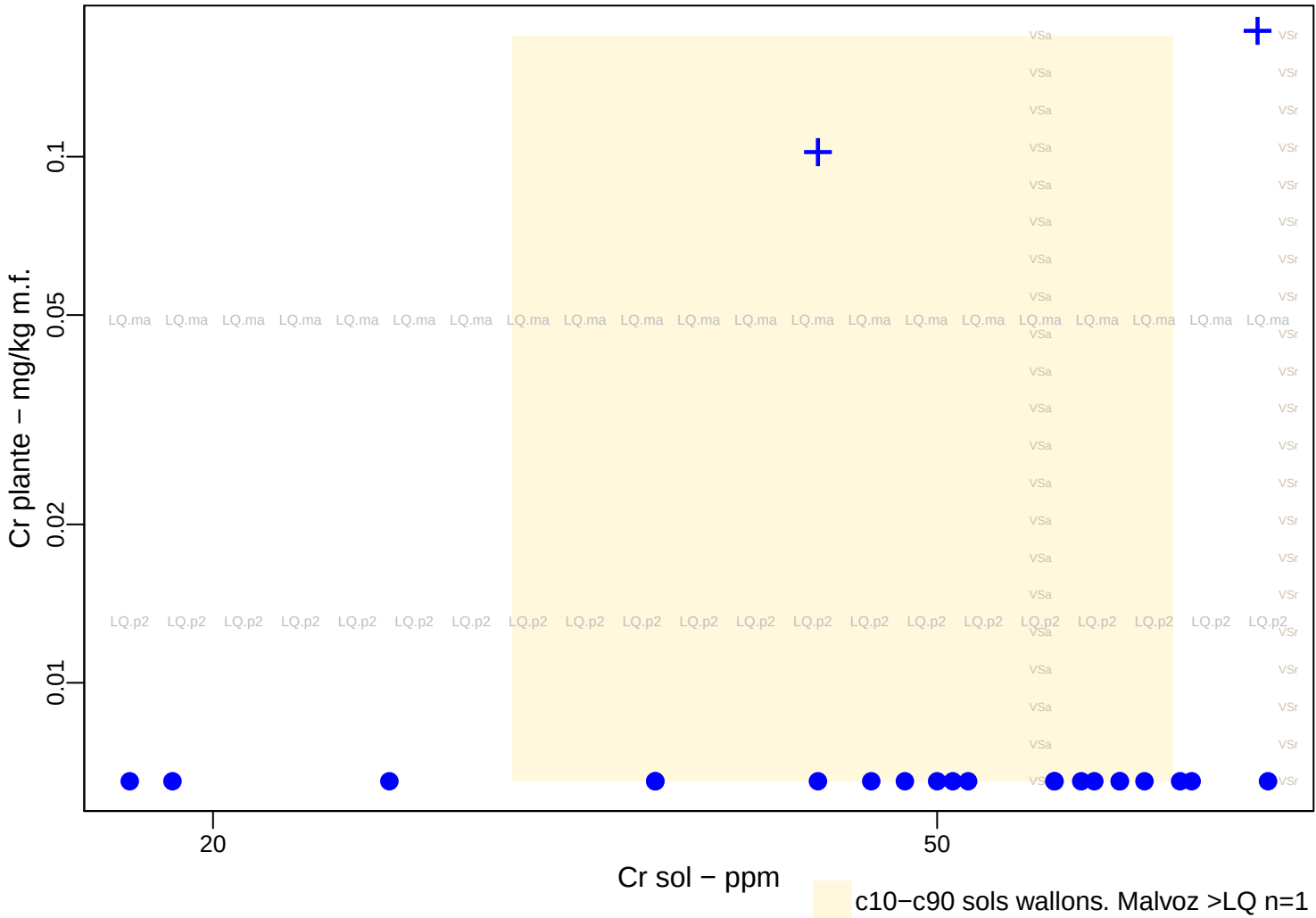
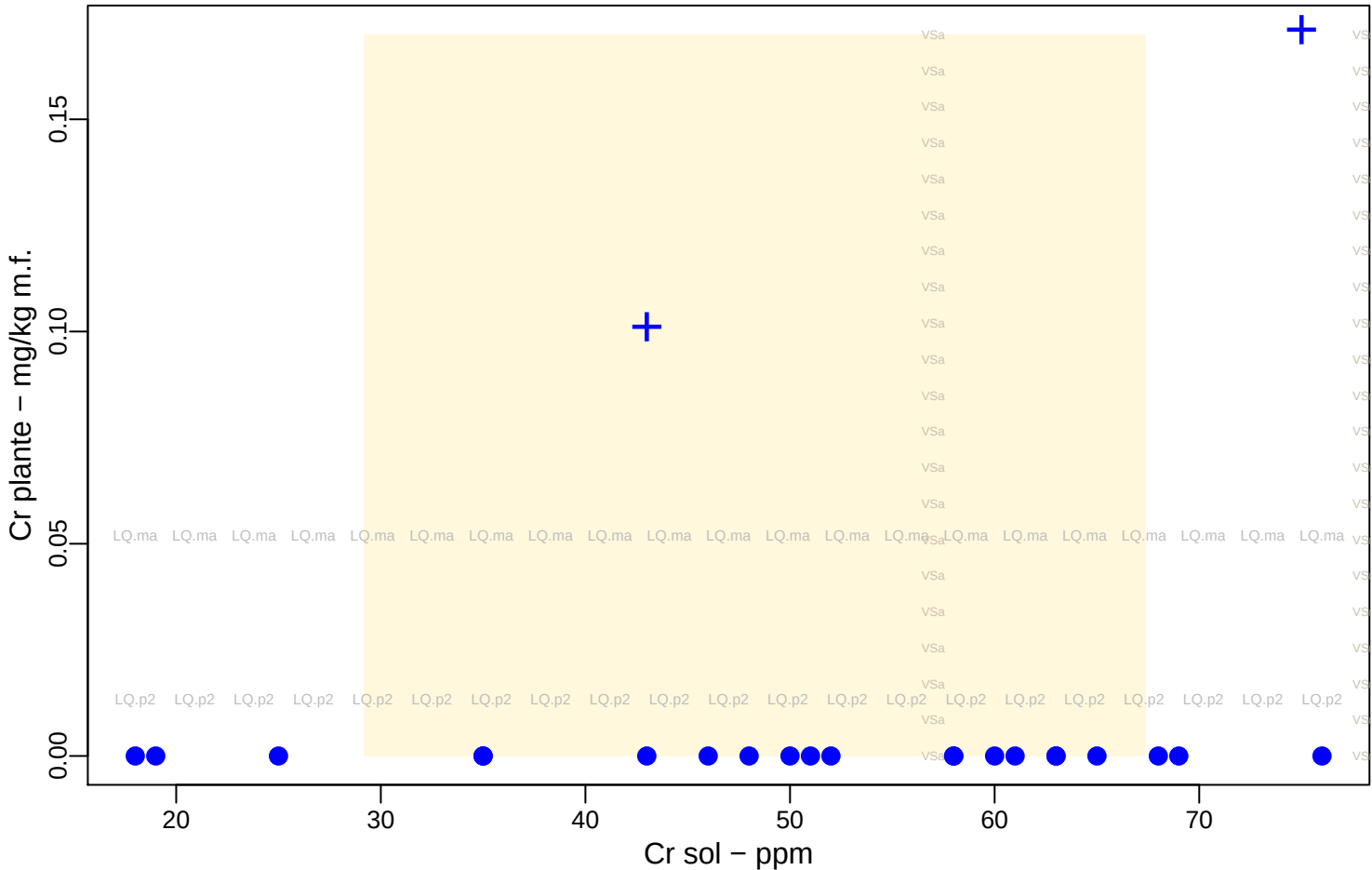


Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/23)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=2 (/23)

Framboise

Analyse du végétal

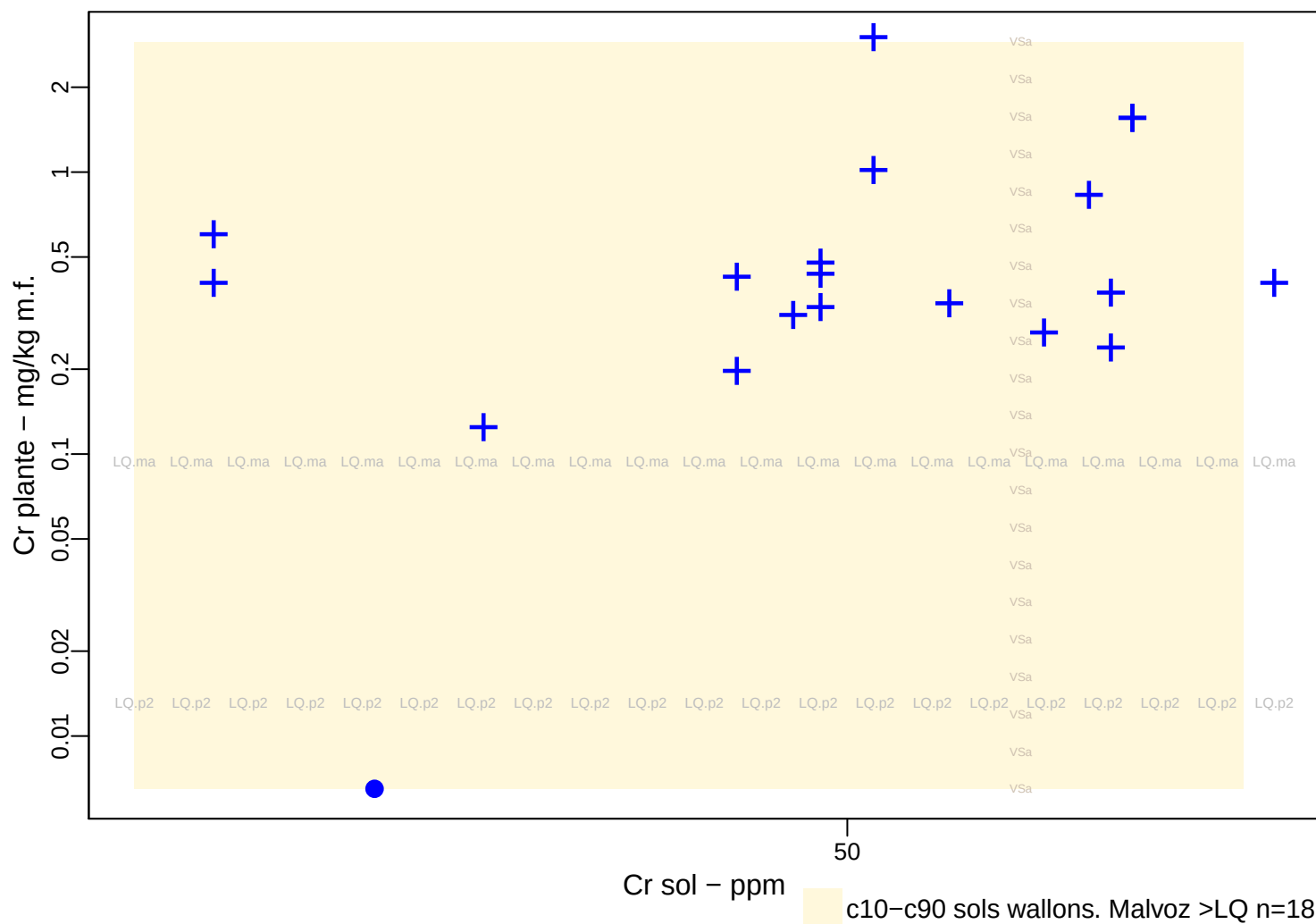
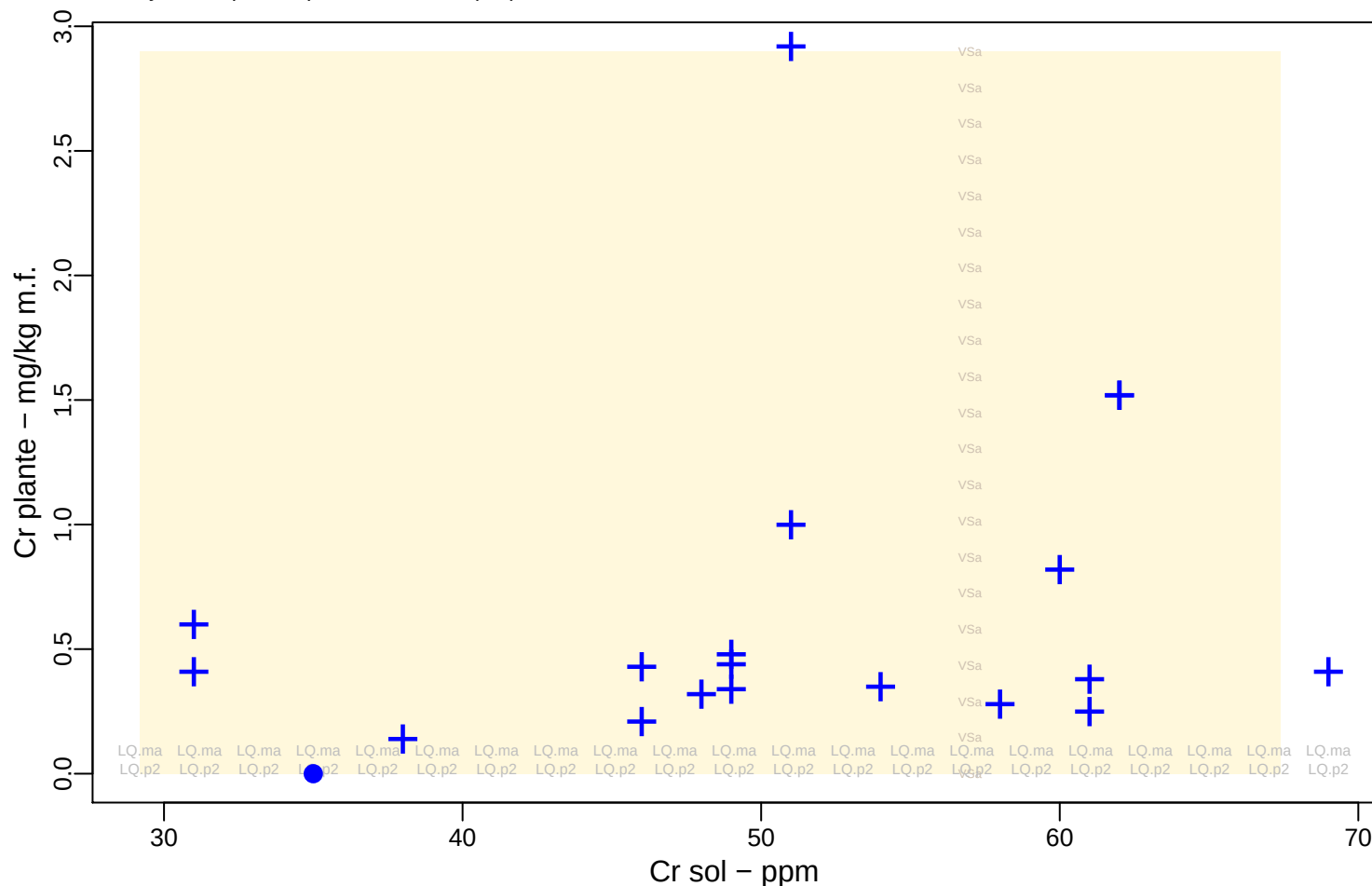
+ (n=2) • <LQ (n=21)



Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=19 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=19) ● <LQ (n=1)

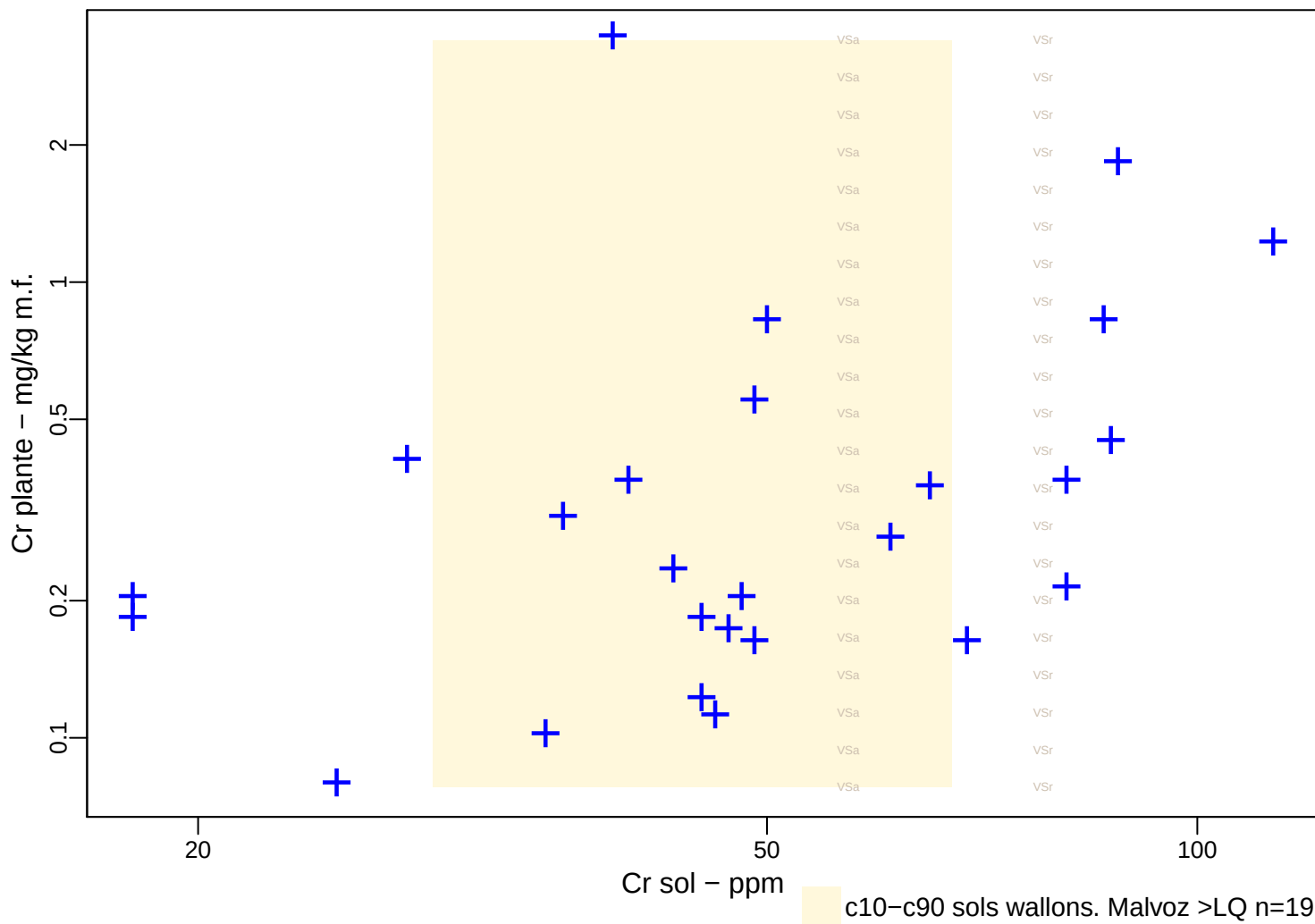
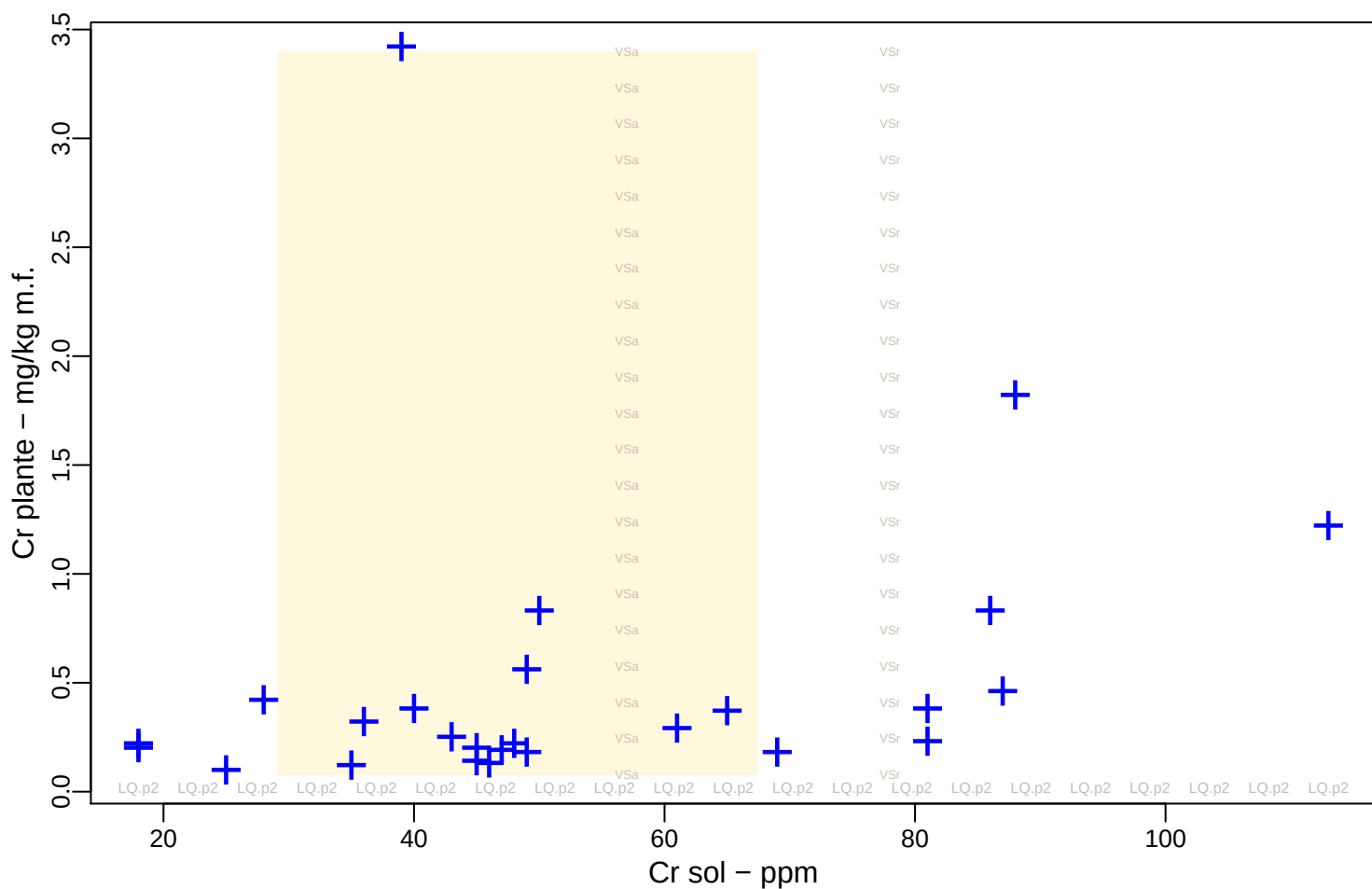


Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/26)

Persil

Analyse du végétal

+ (n=26) • <LQ (n=0)



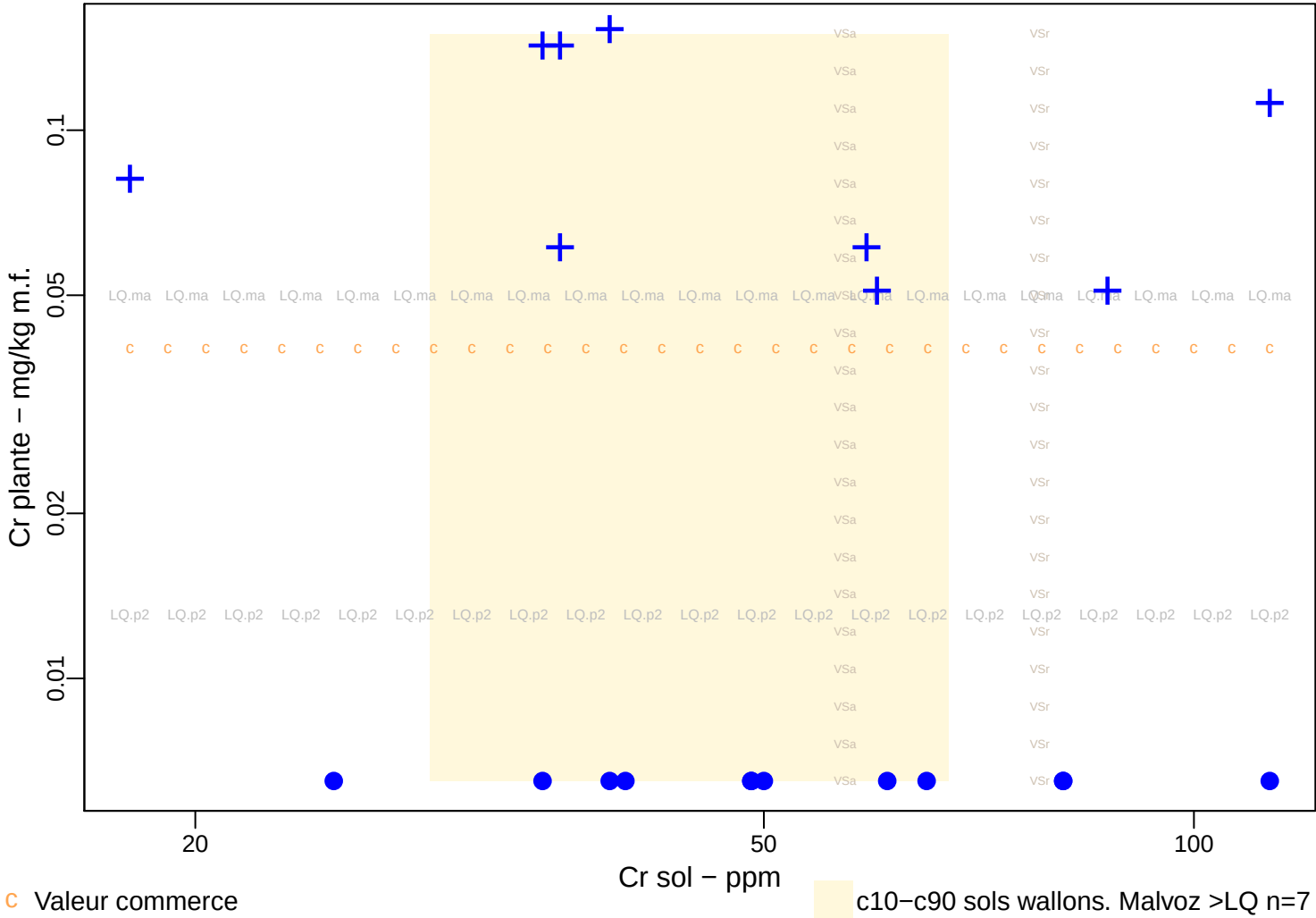
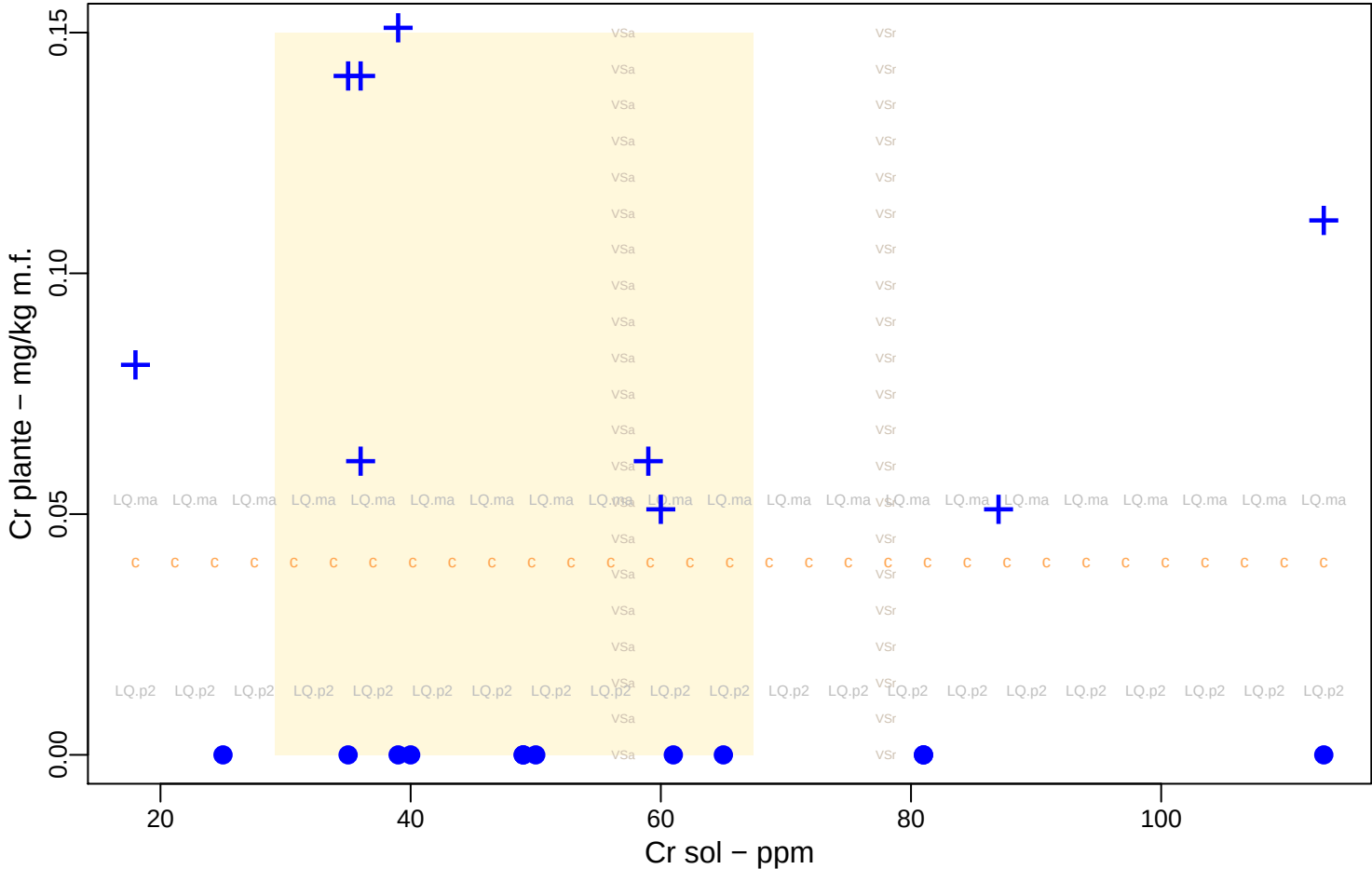
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=19

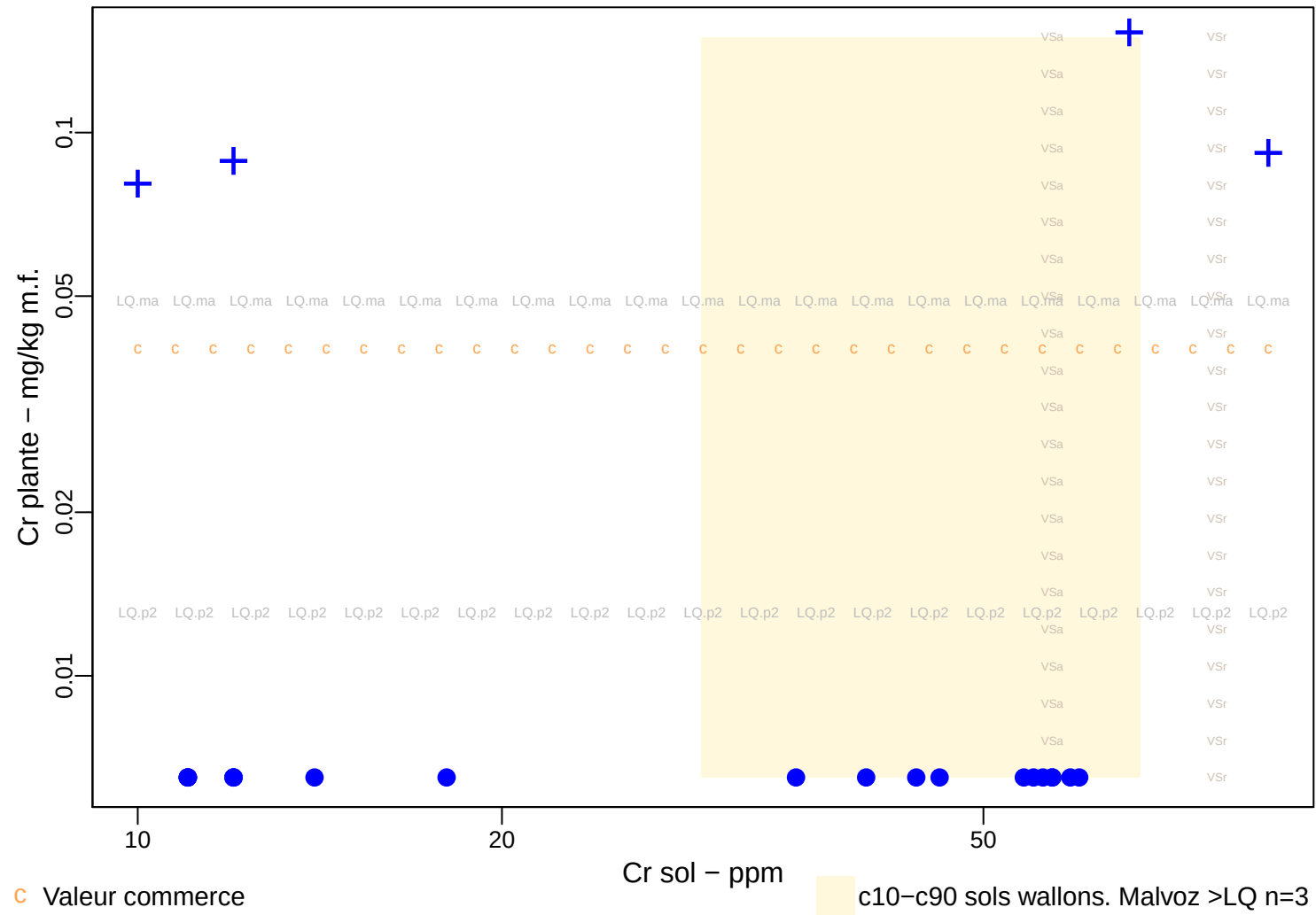
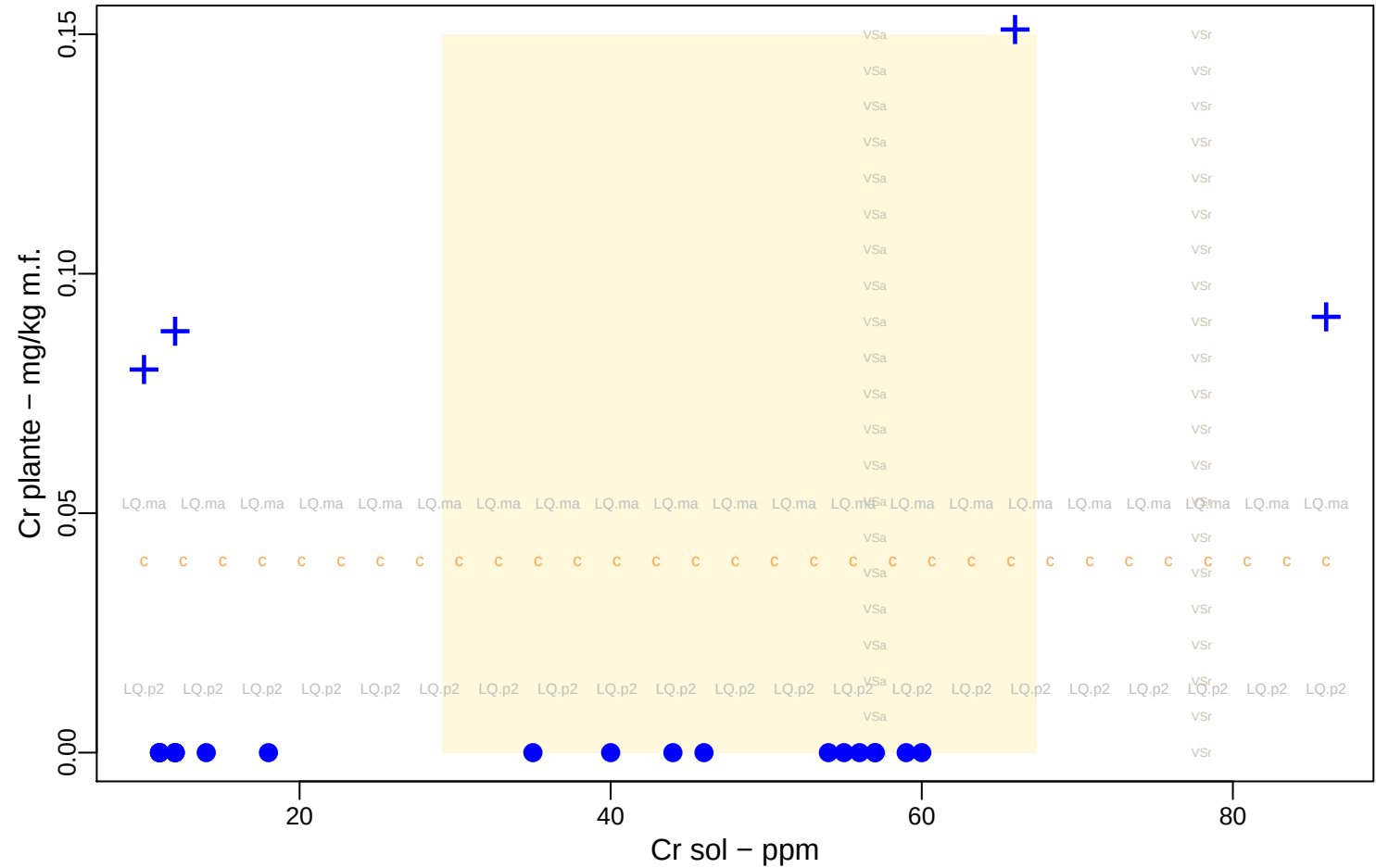
Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=9 (/21)

Poireau

Analyse du végétal

+ (n=9) • <LQ (n=12)





Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=7 (/46)

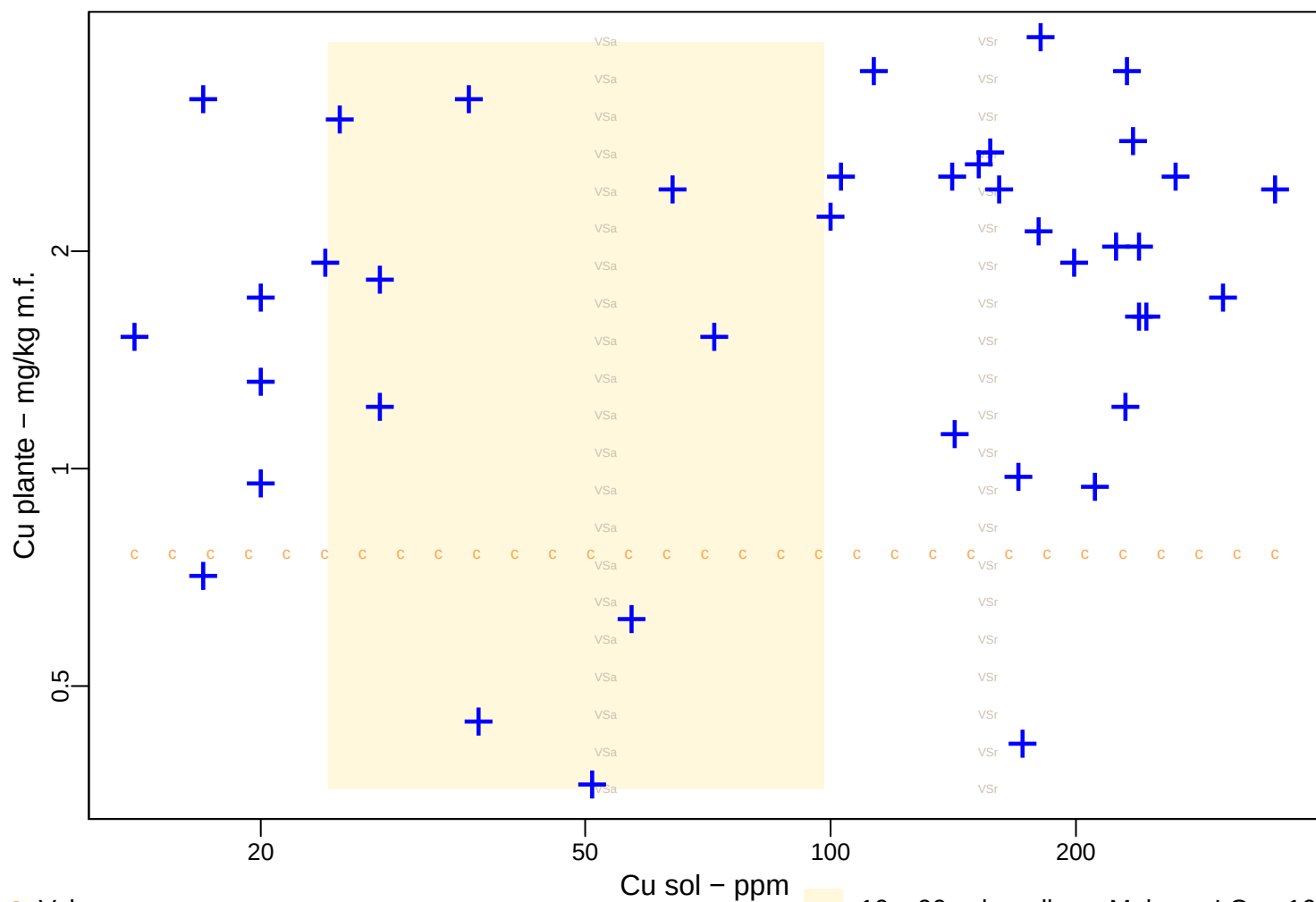
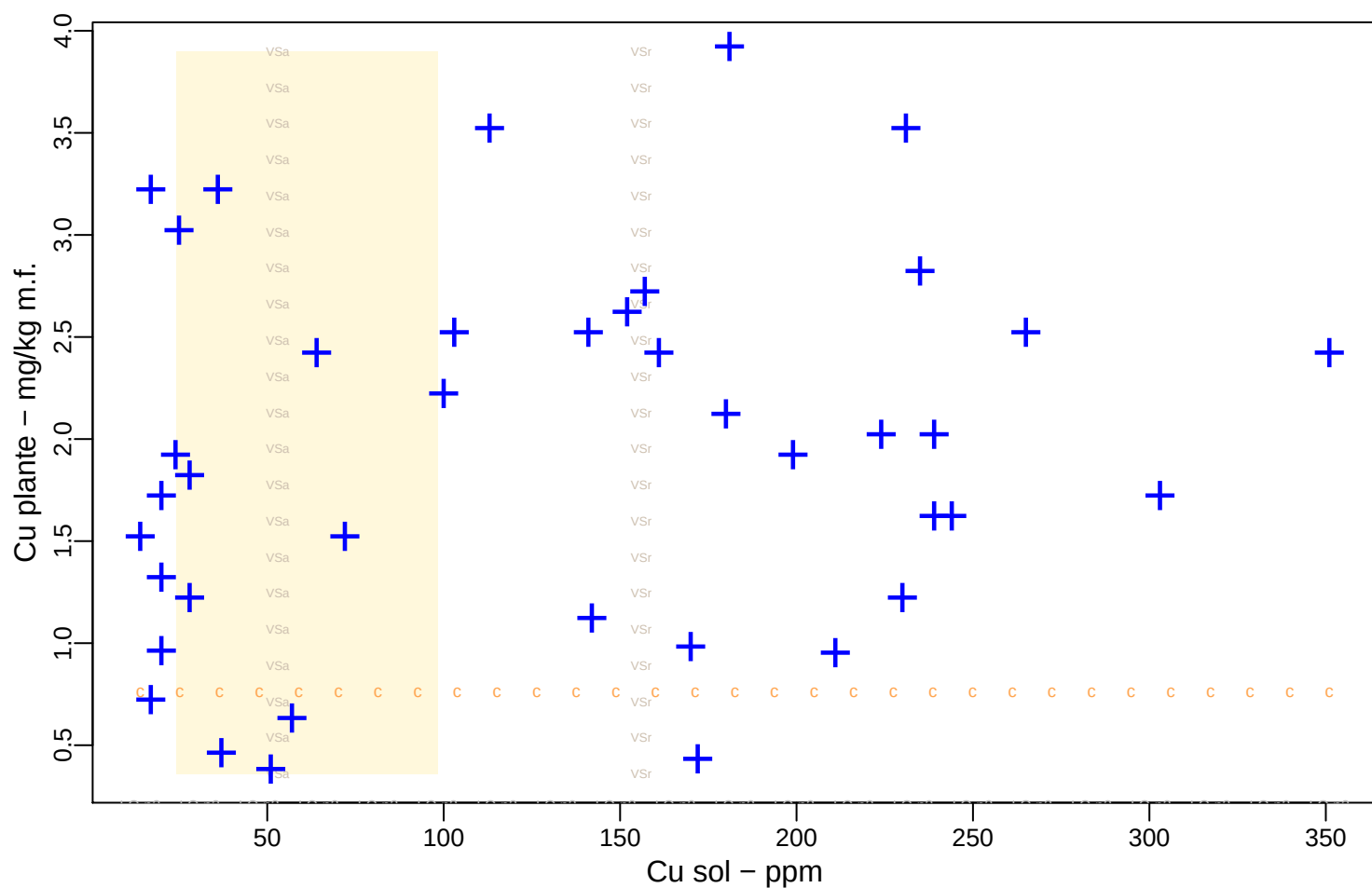
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=7

Bressoux : n=19 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Bette

Analyse du végétal

+ (n=40) • <LQ (n=0)



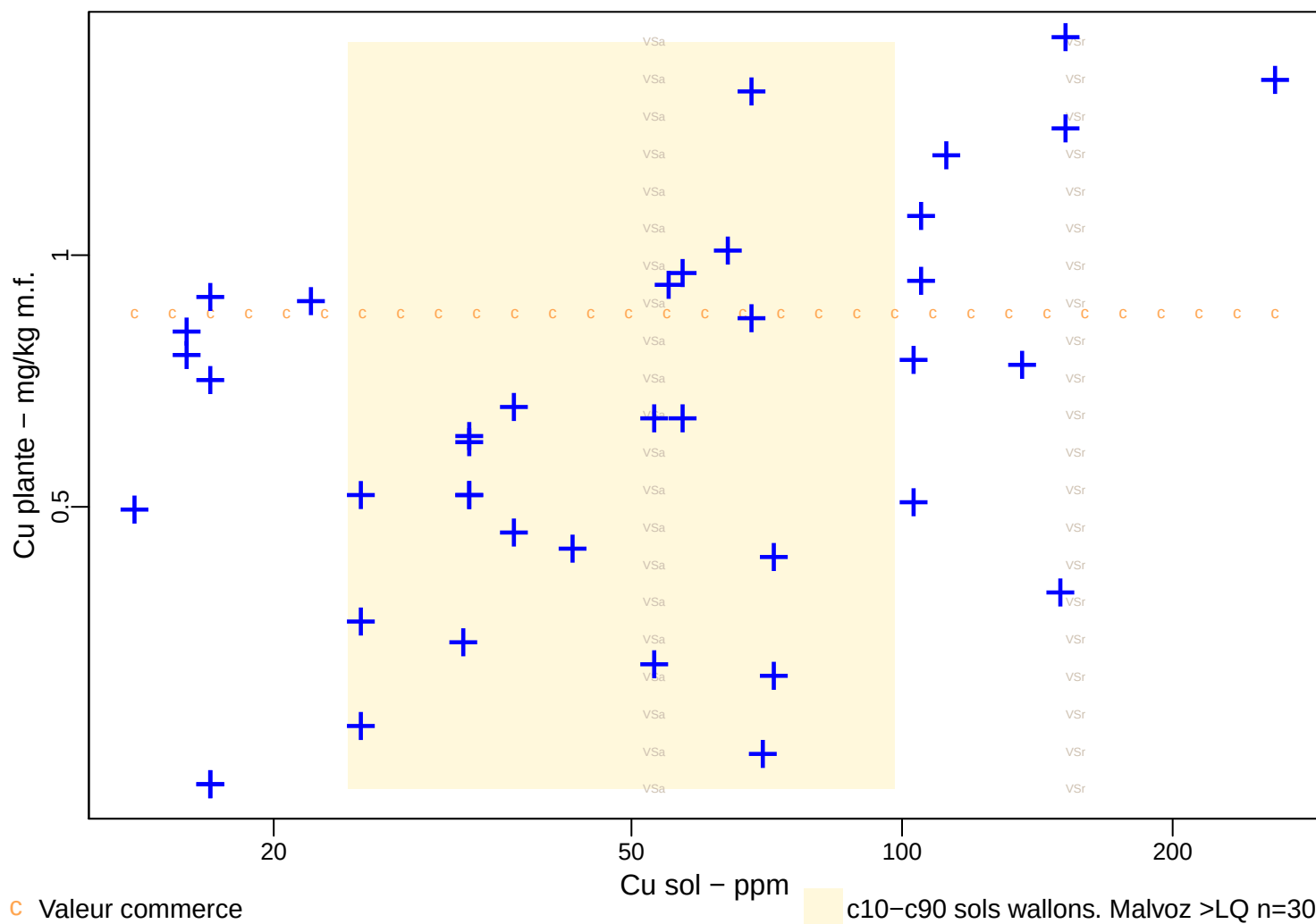
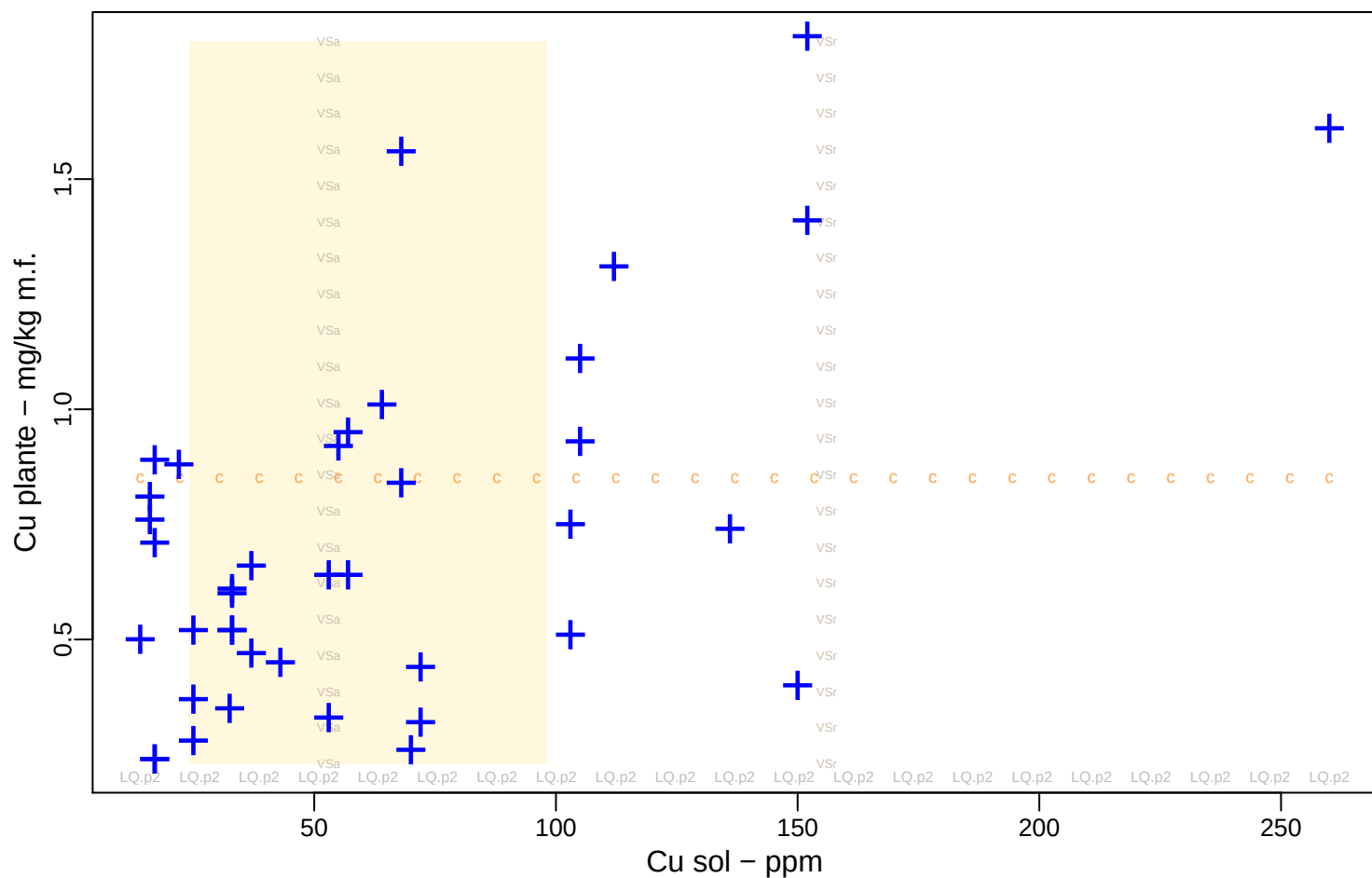
• Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=16

Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Chou

Analyse du végétal
+ (n=40) ● <LQ (n=0)



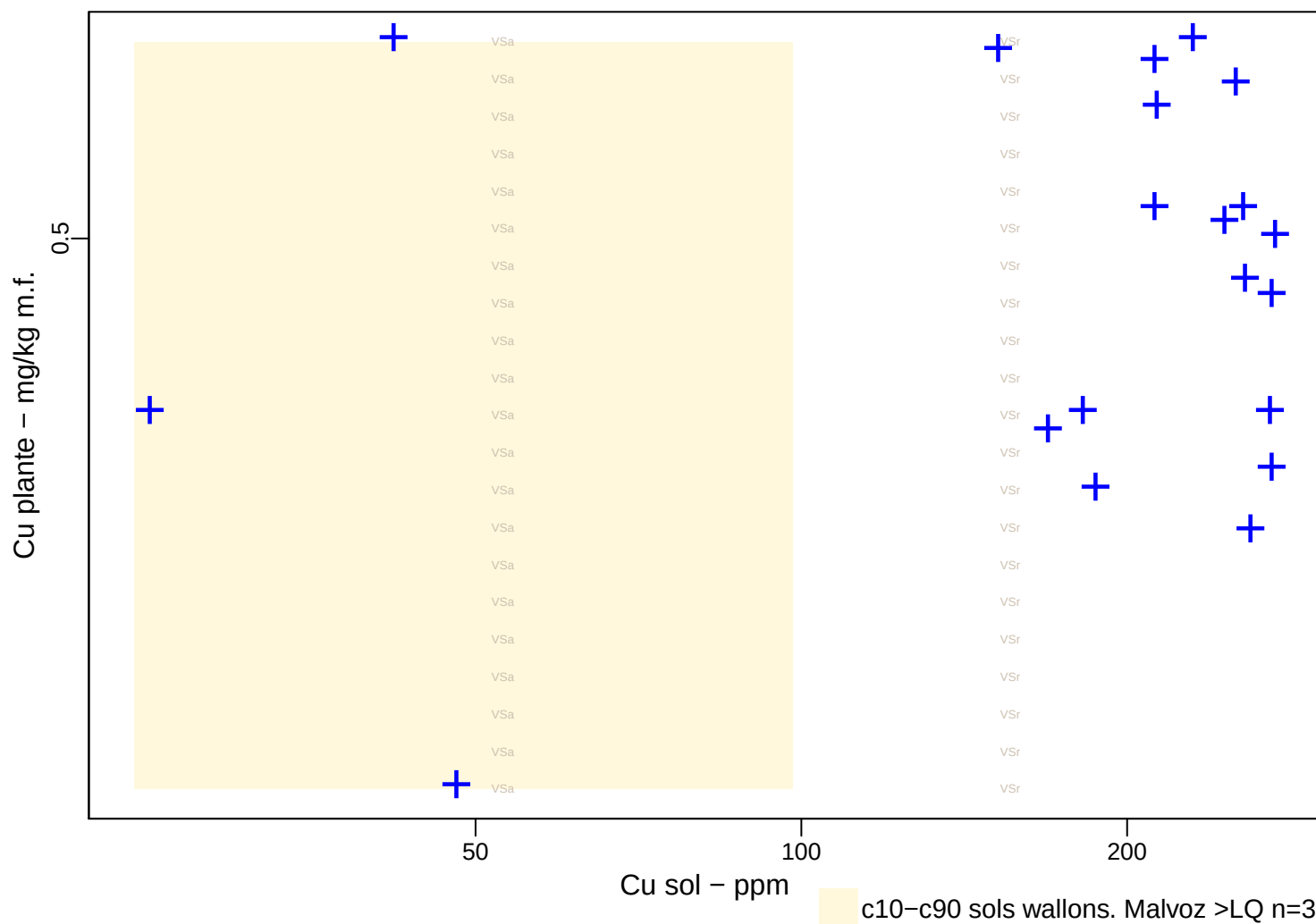
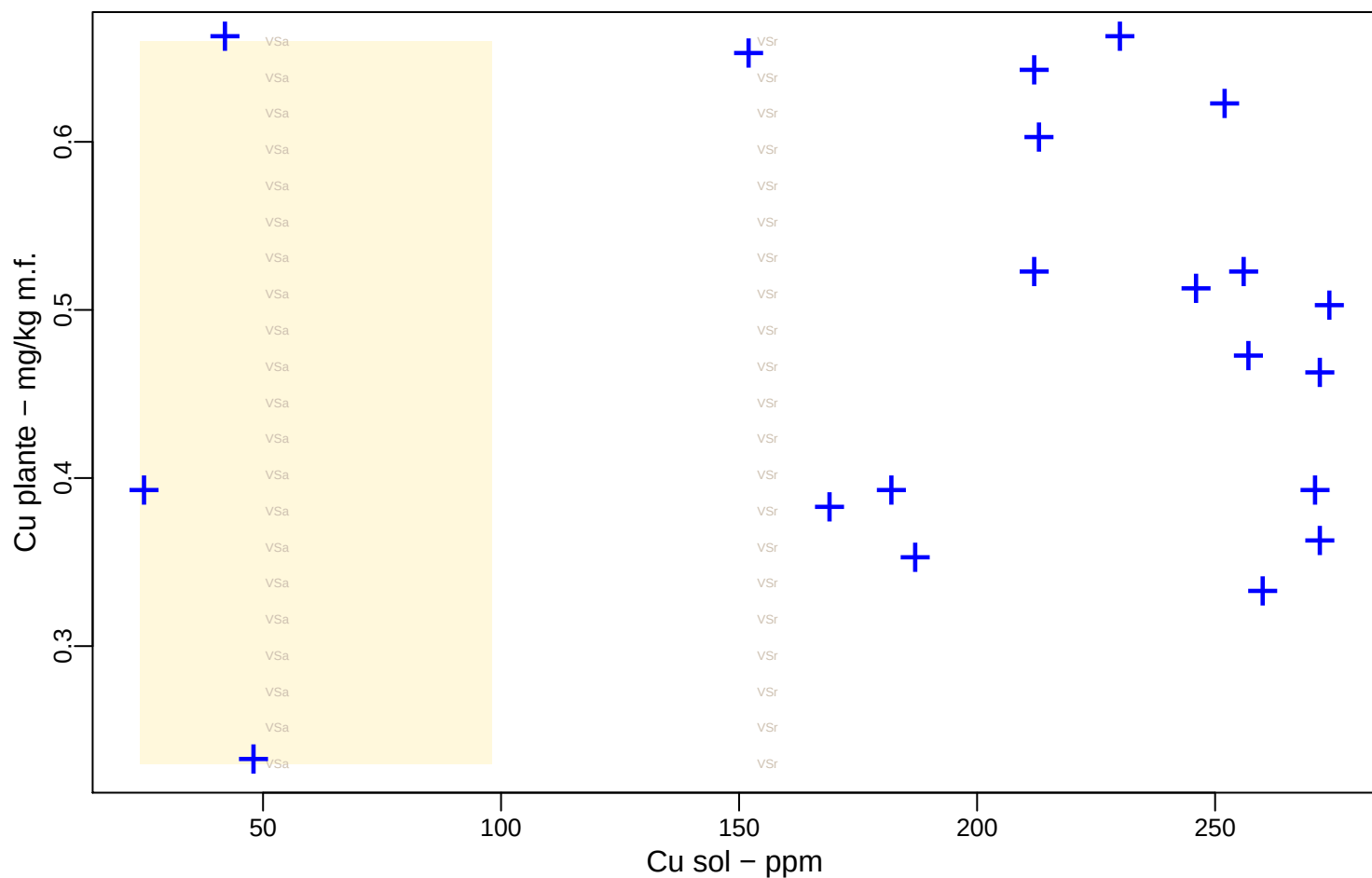
C Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=30

Bressoux : n=17 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Fraise

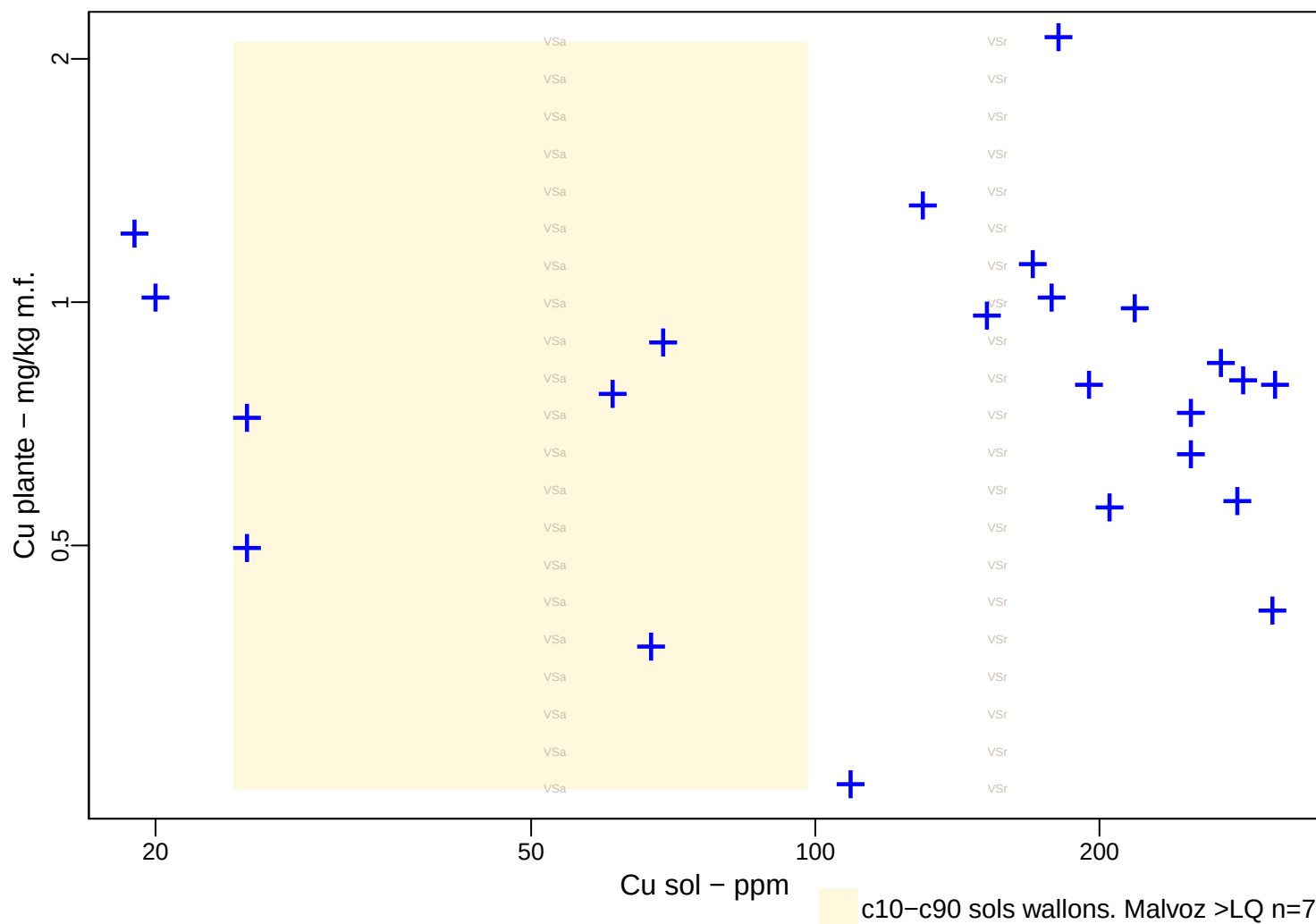
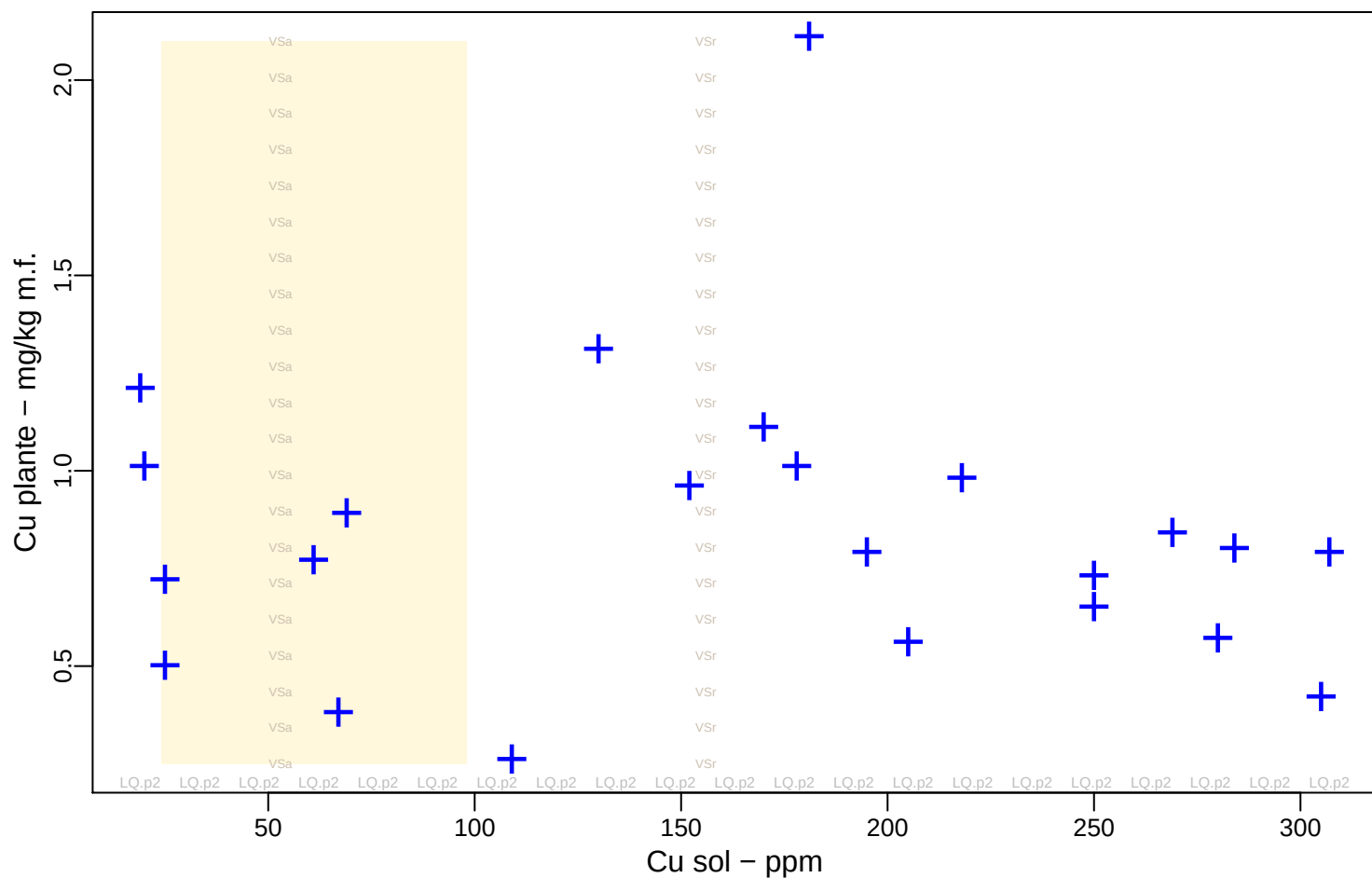
Analyse du végétal
+ (n=20) ● <LQ (n=0)



Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/23)

Framboise

Analyse du végétal
+ (n=23) • <LQ (n=0)

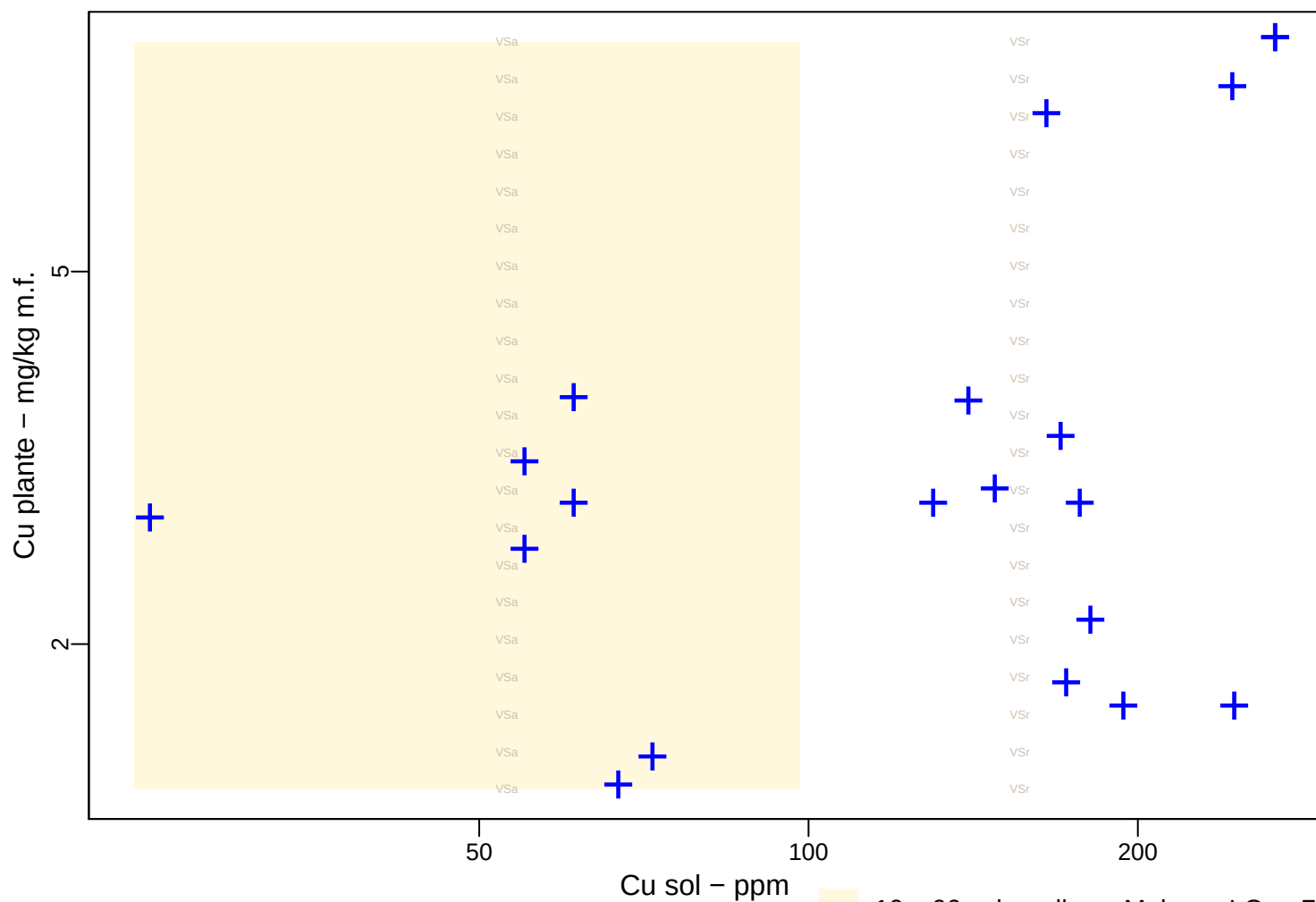
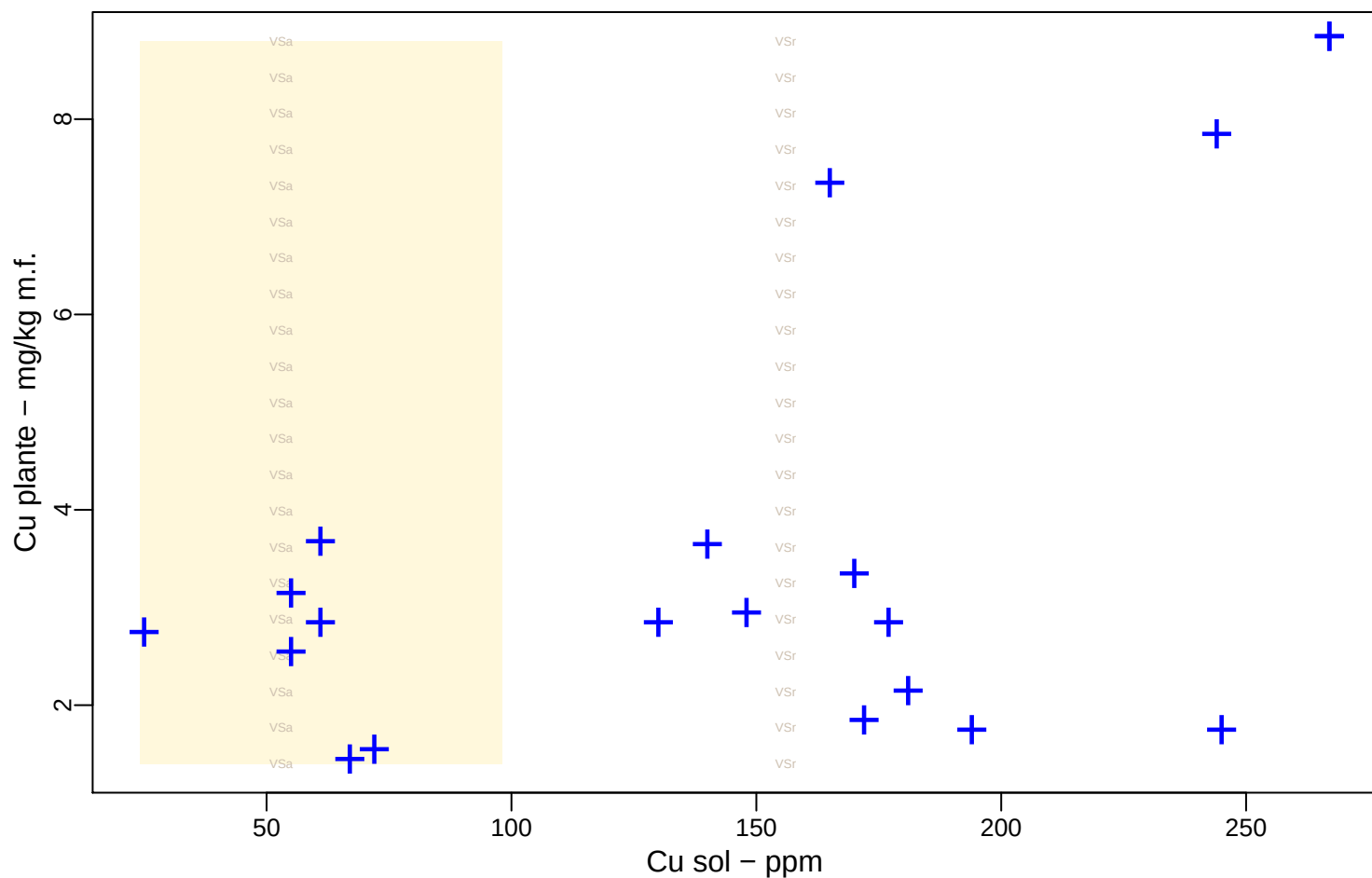


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=7

Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=20) • <LQ (n=0)

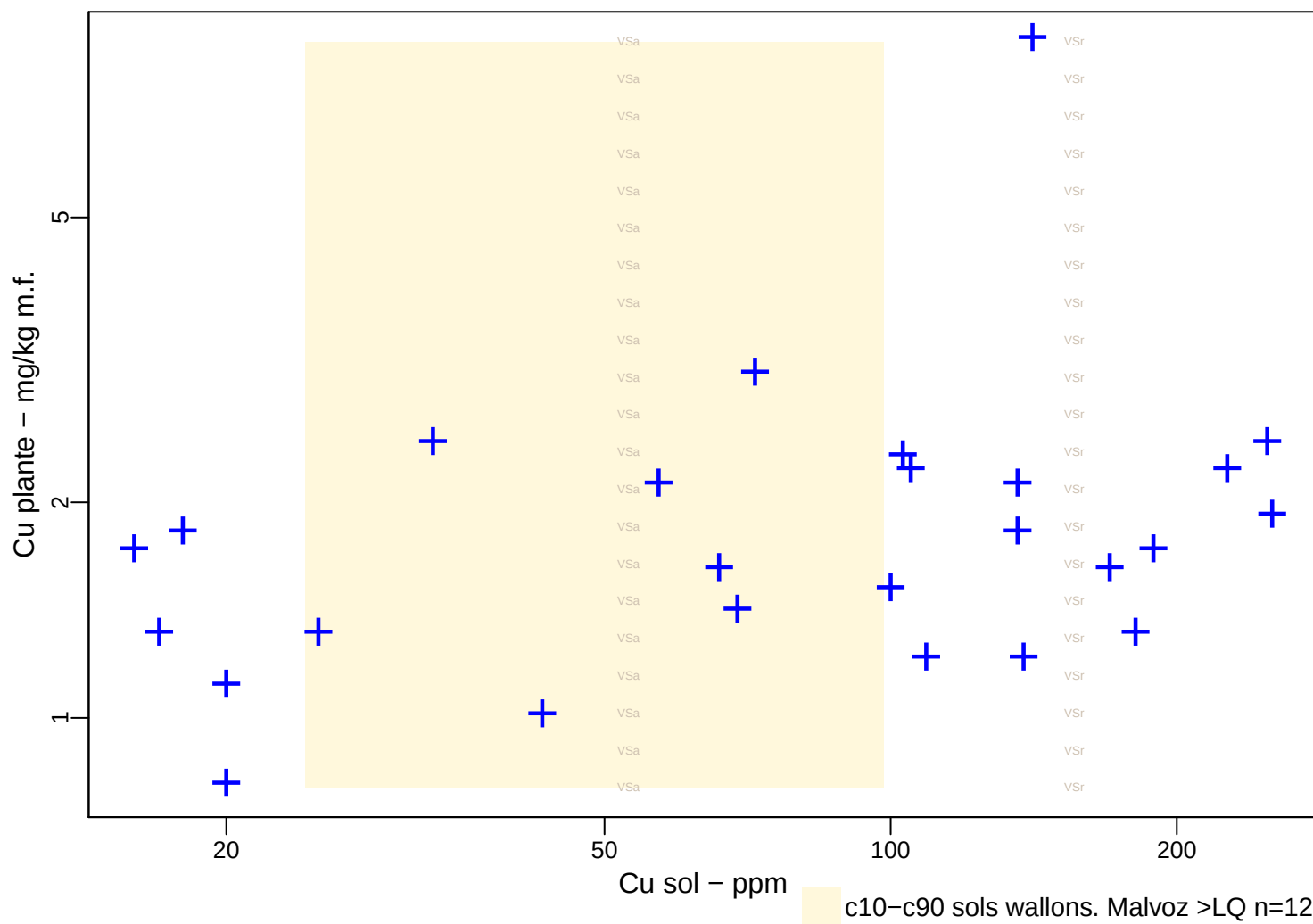
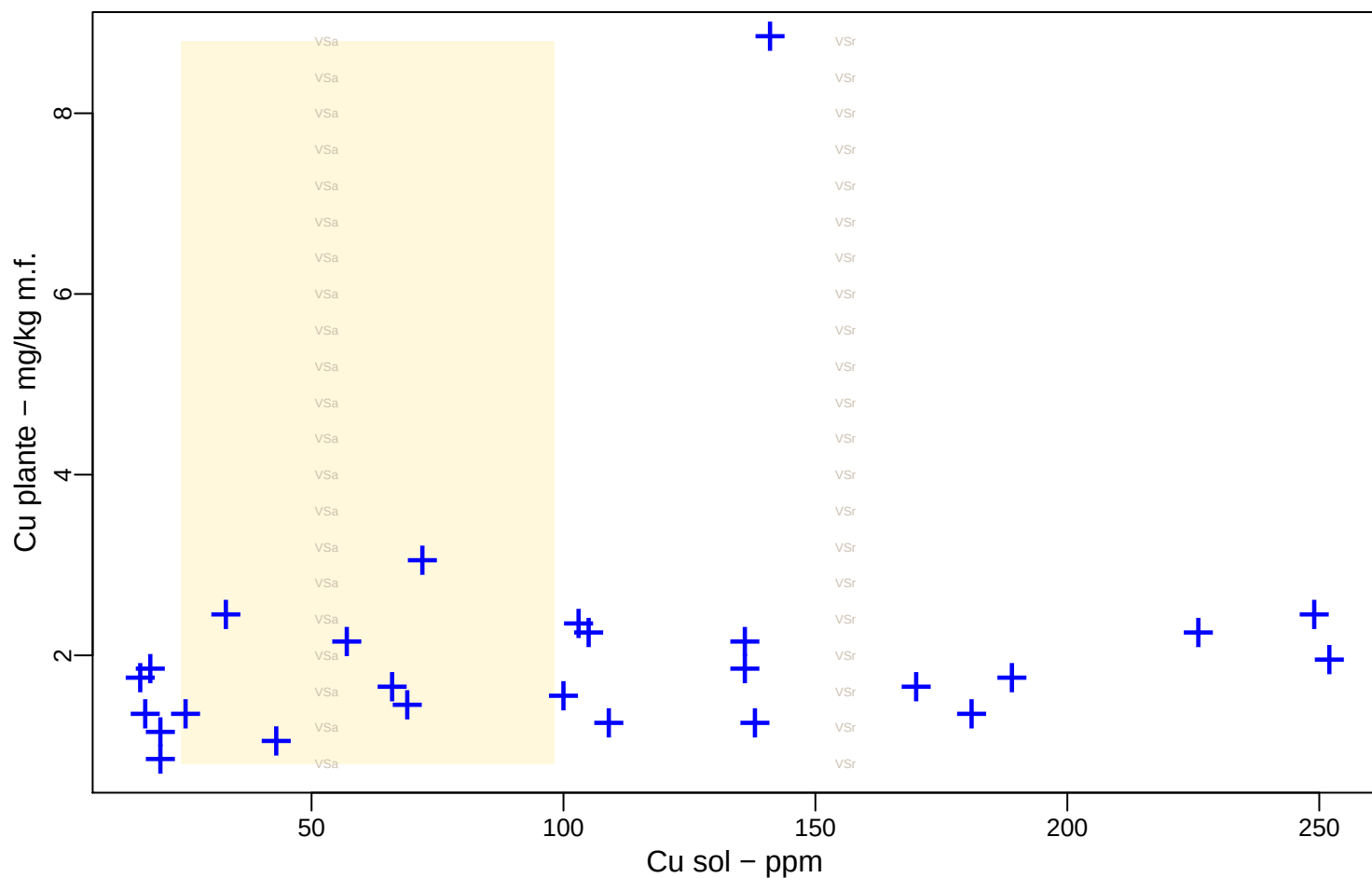


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=7

Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/26)

Persil

Analyse du végétal
+ (n=26) • <LQ (n=0)



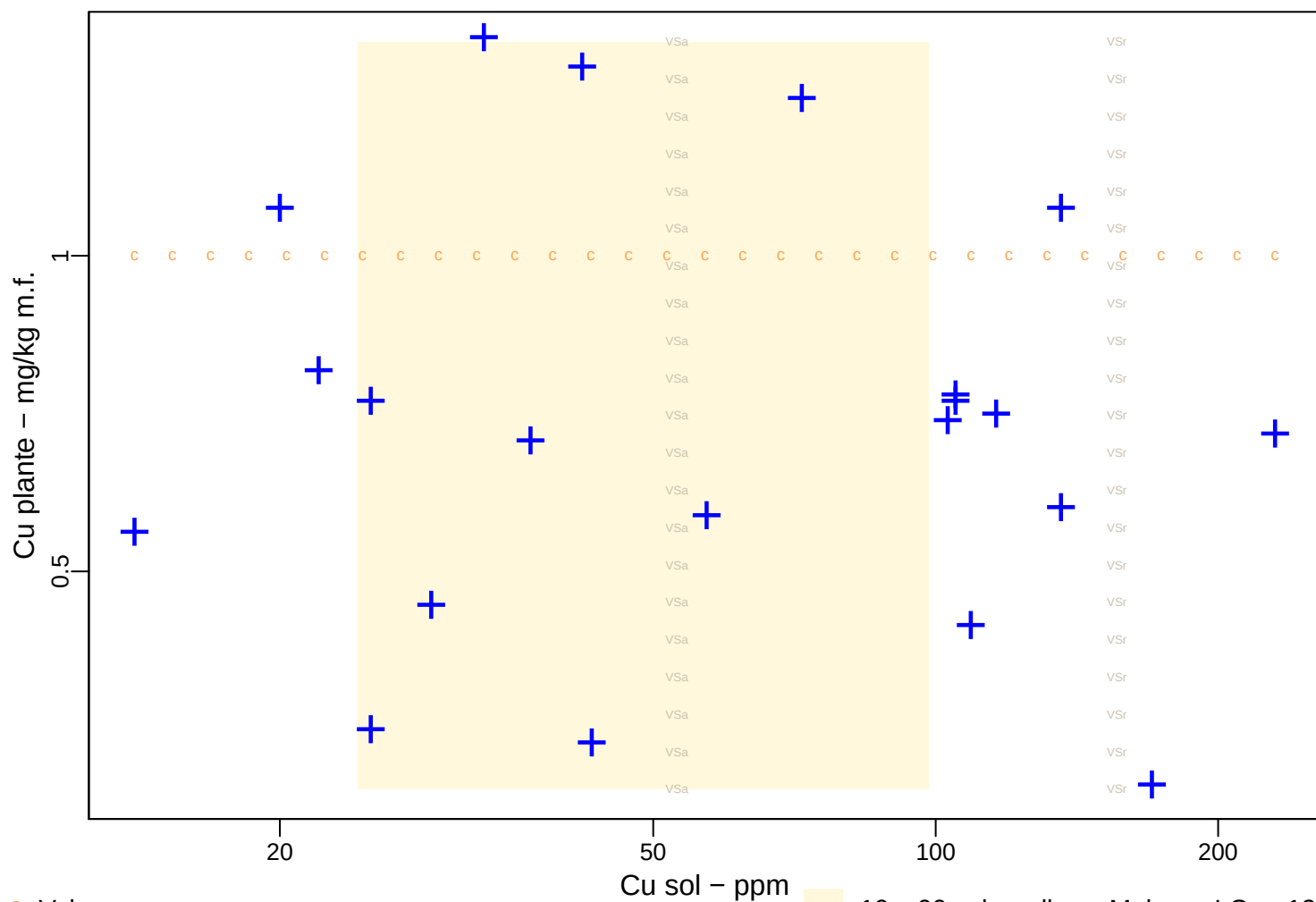
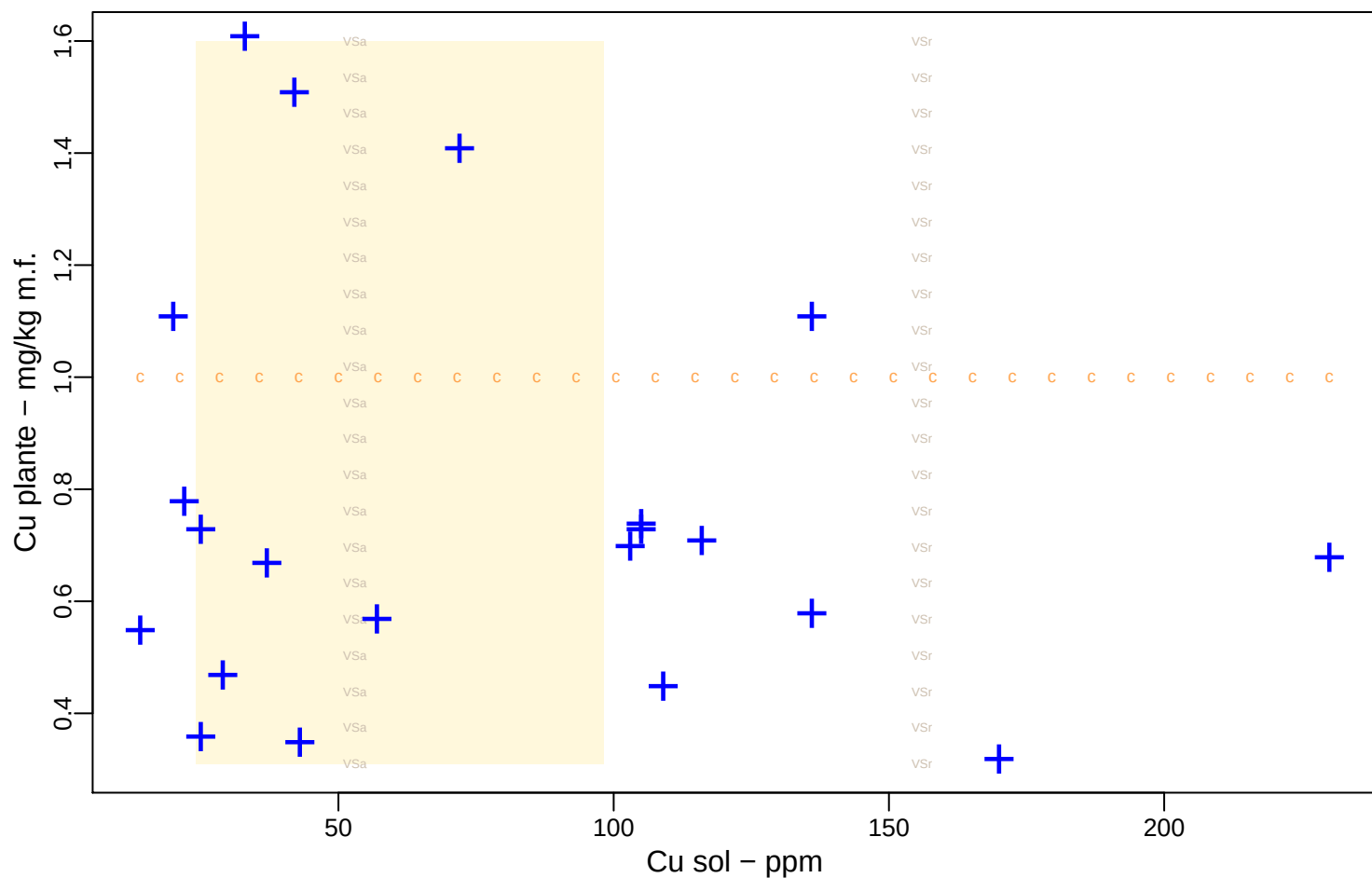
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=12

Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)

Poireau

Analyse du végétal

+ (n=21) ● <LQ (n=0)



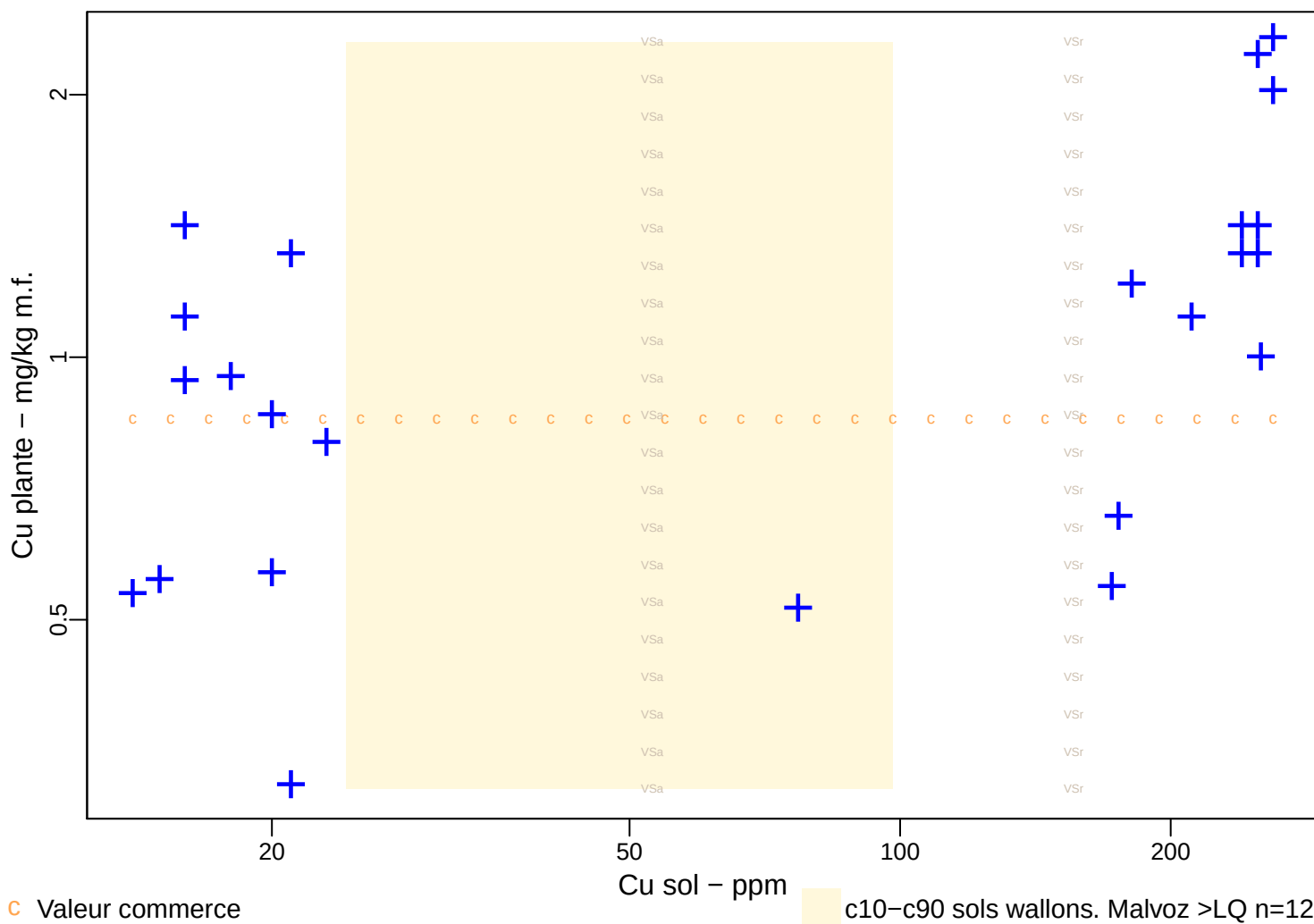
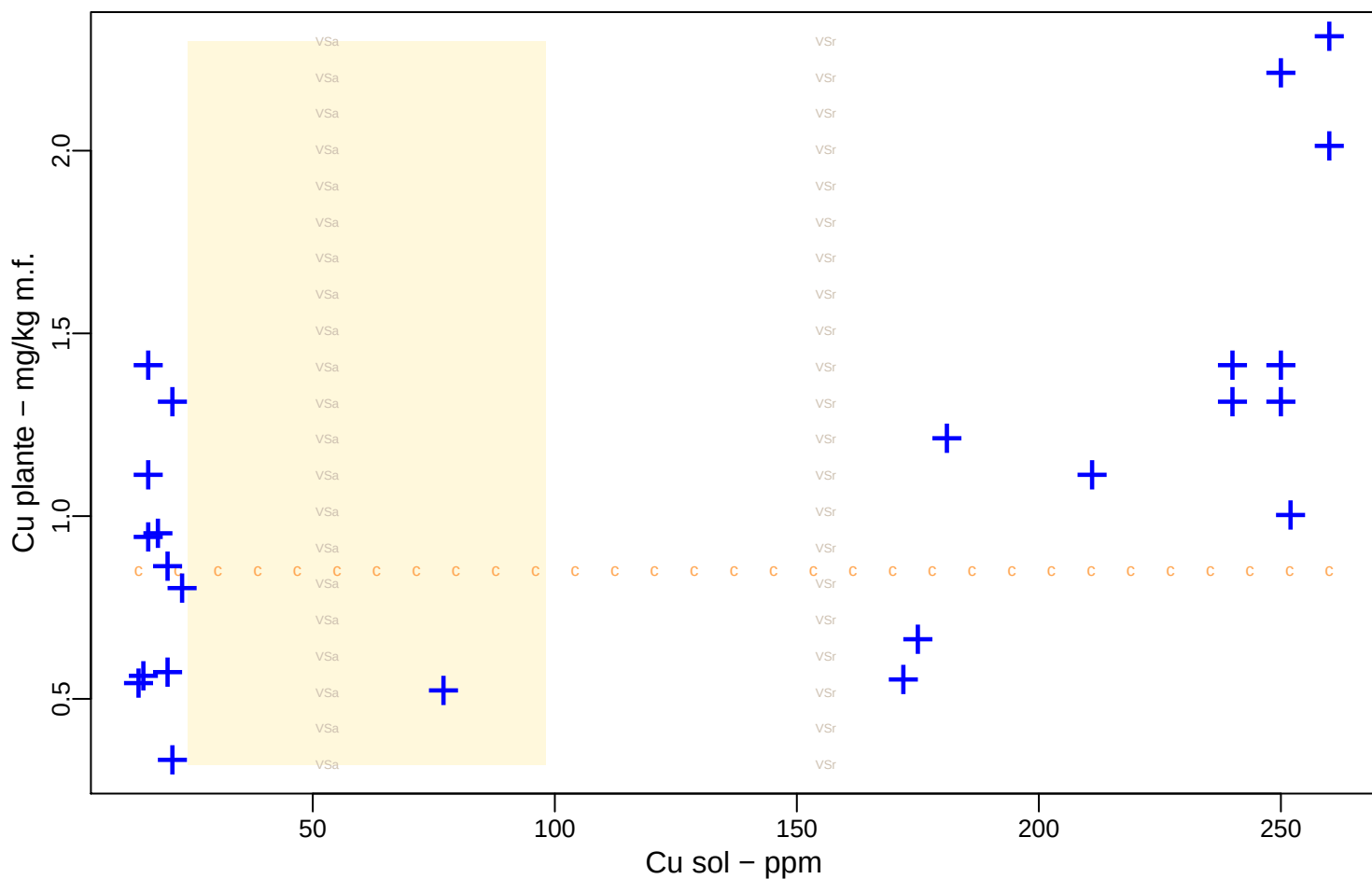
c Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=12

Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/24)

Poivron

Analyse du végétal
+ (n=24) ● <LQ (n=0)



● Valeur commerce

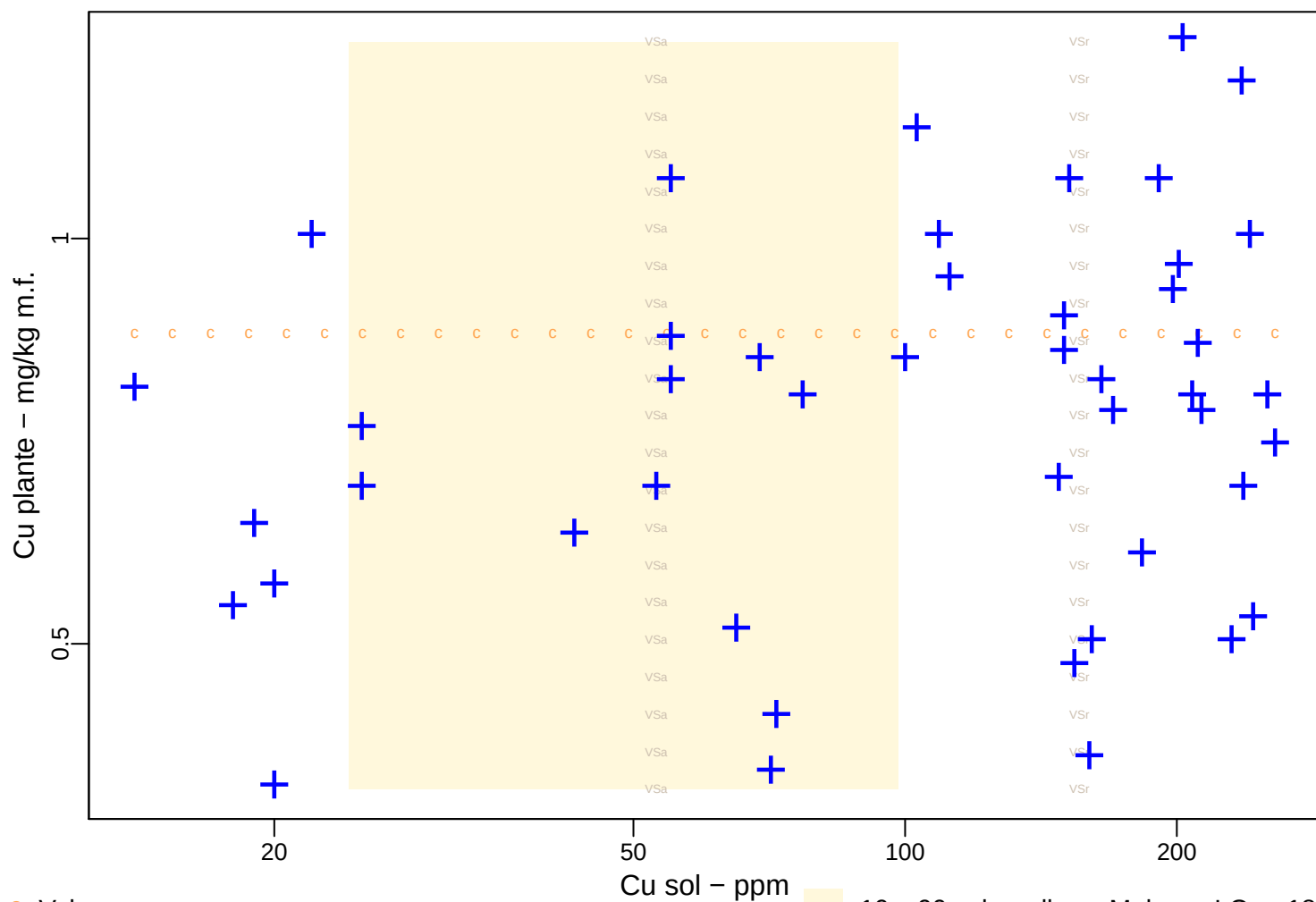
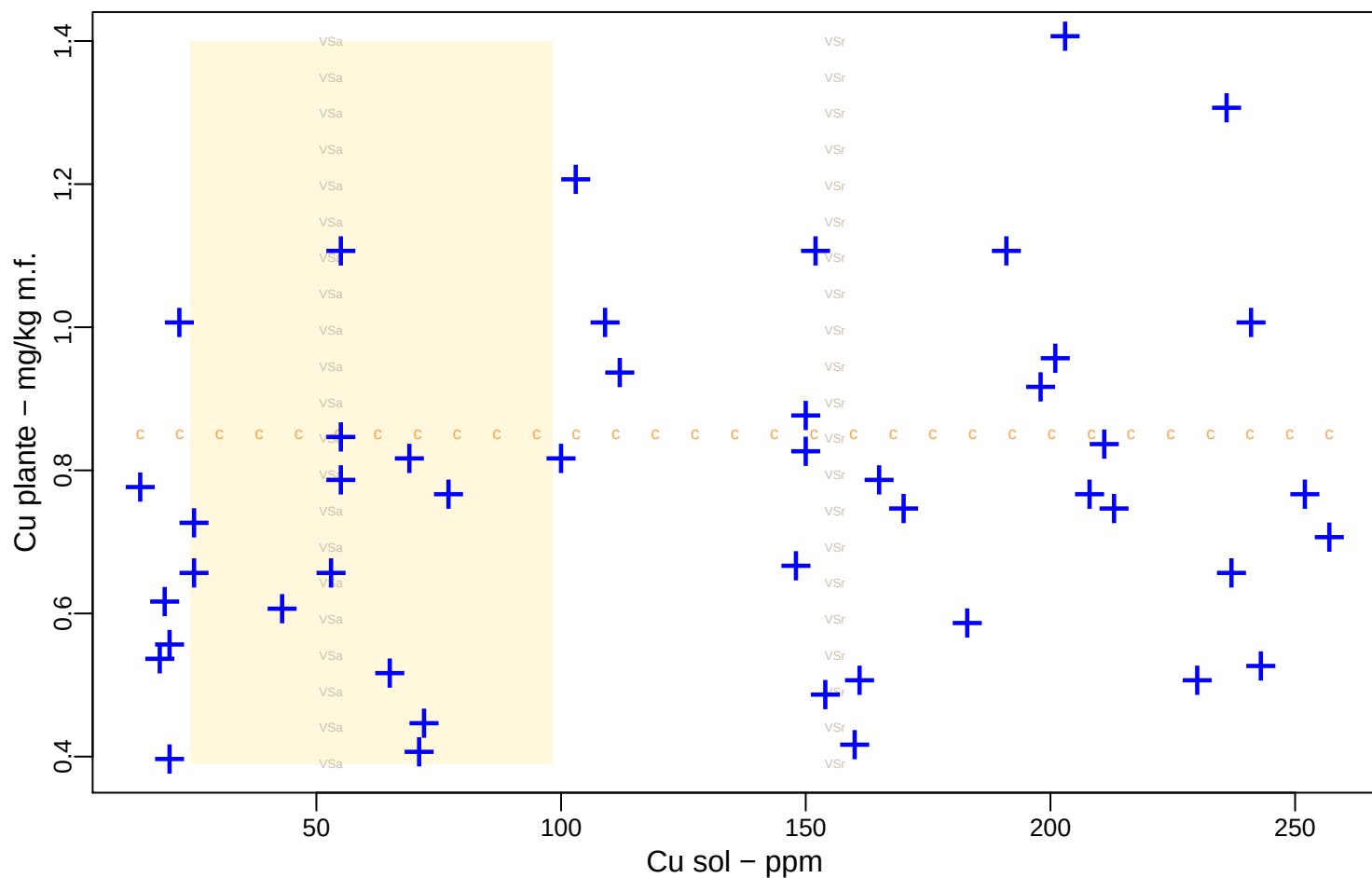
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=12

Bressoux : n=23 (/46)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/46)

Tomate

Analyse du végétal

+ (n=46) ● <LQ (n=0)



● Valeur commerce

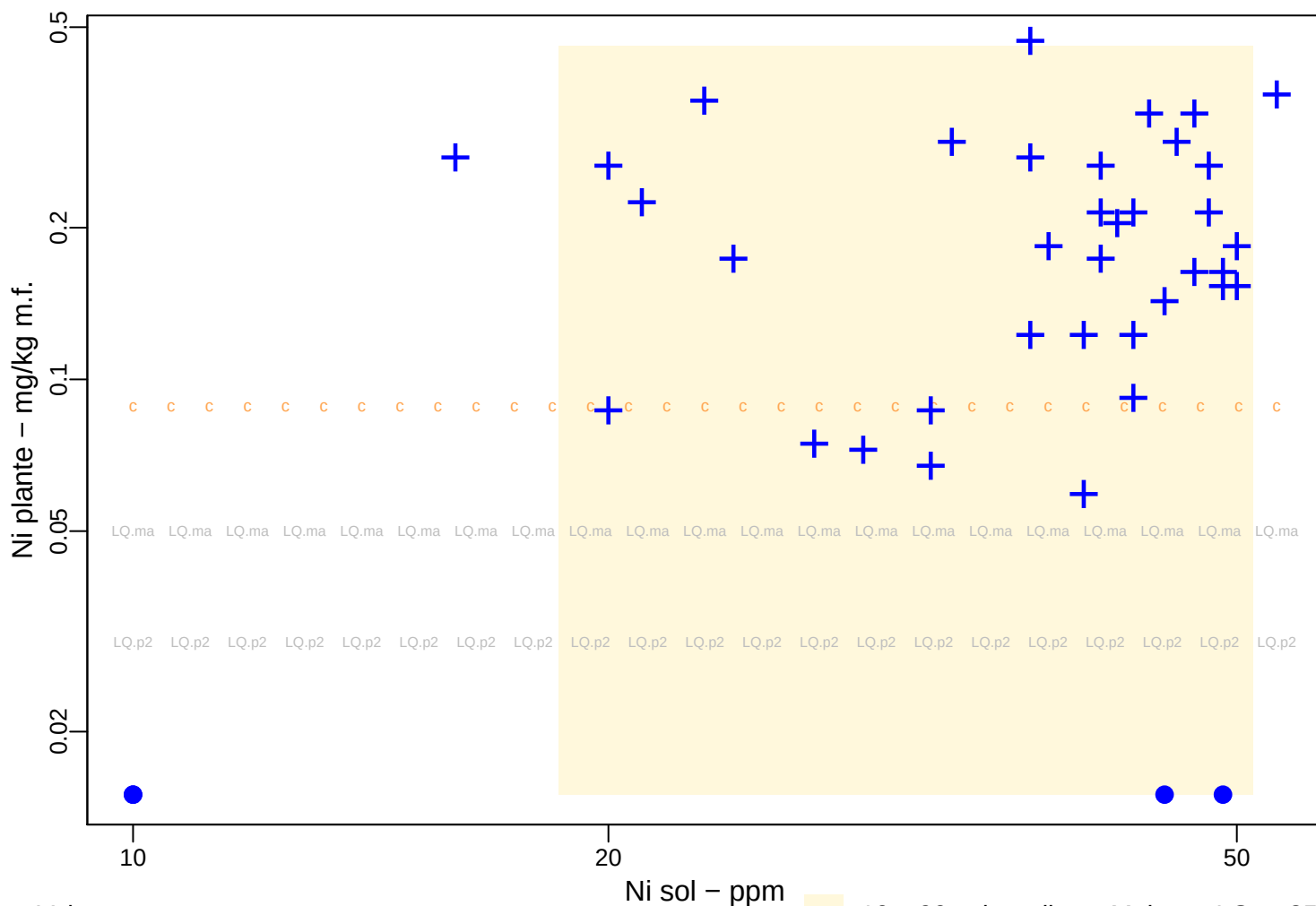
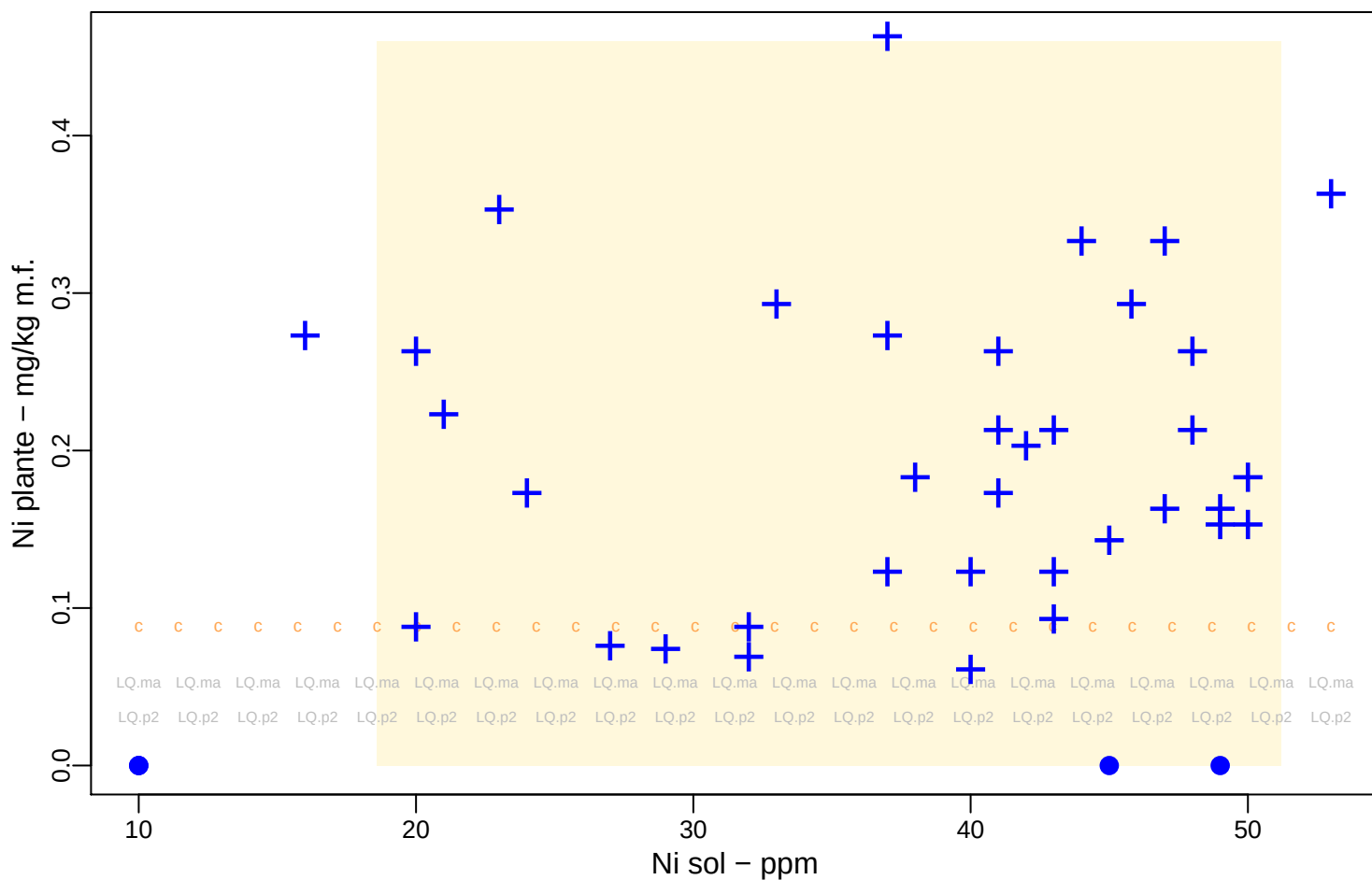
● c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=18

Bressoux : n=19 (/40)
 Analyse de sol <LQ : n=2 (/40)
 Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=36 (/40)

Bette

Analyse du végétal

+ (n=36) ● <LQ (n=4)

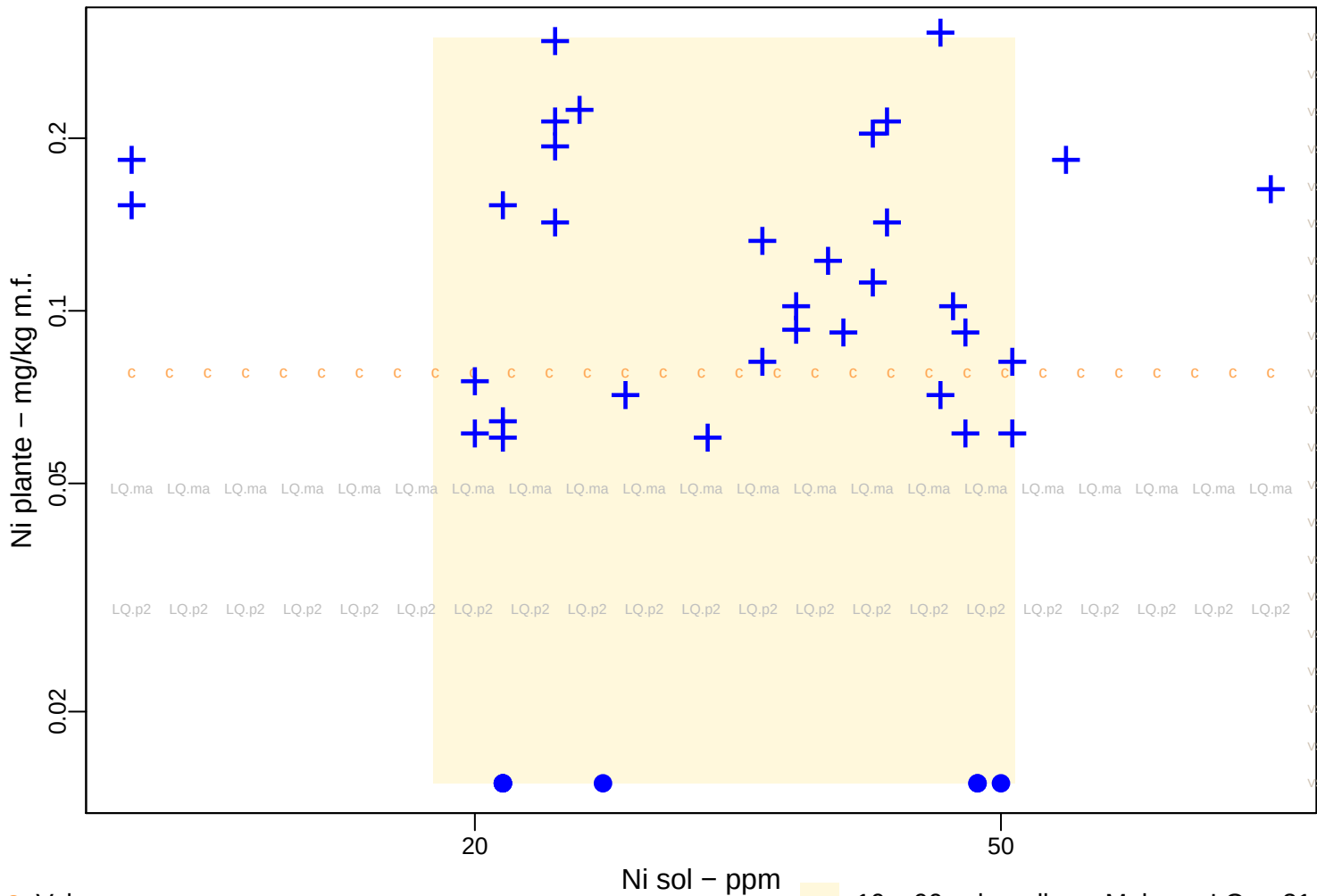
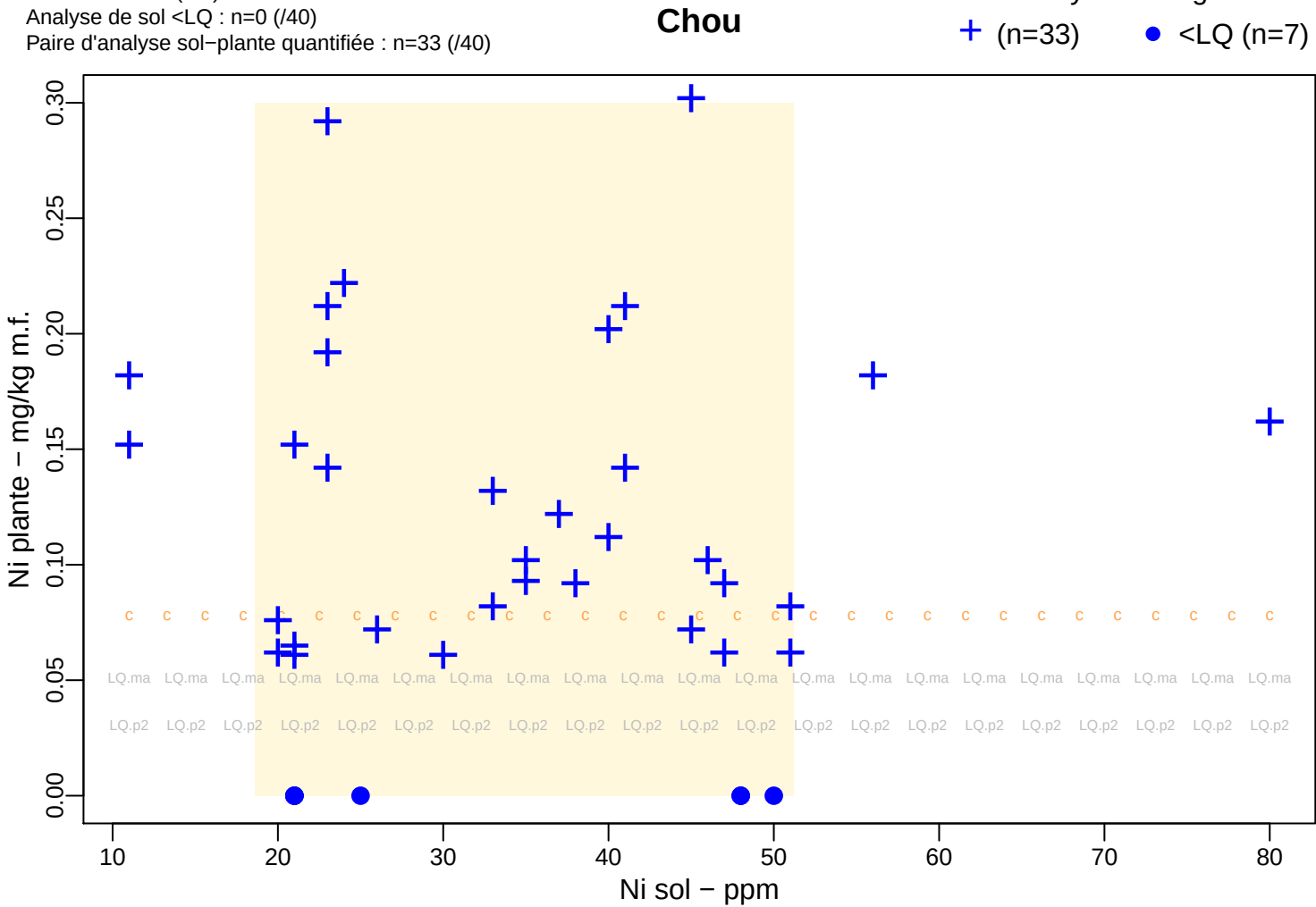


● Valeur commerce

c10–c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=35

Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=33 (/40)

Analyse du végétal
+ (n=33) • <LQ (n=7)



• Valeur commerce

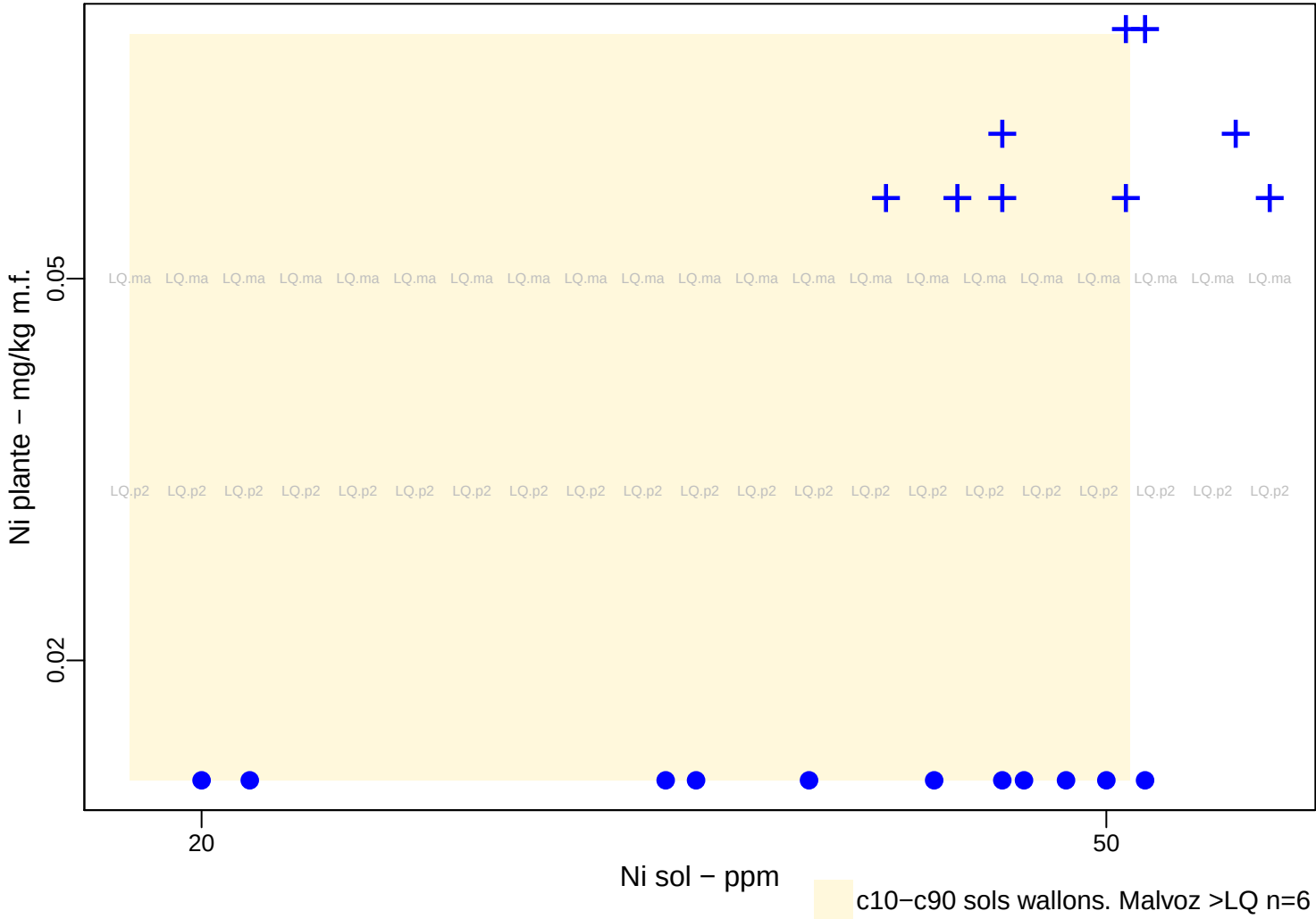
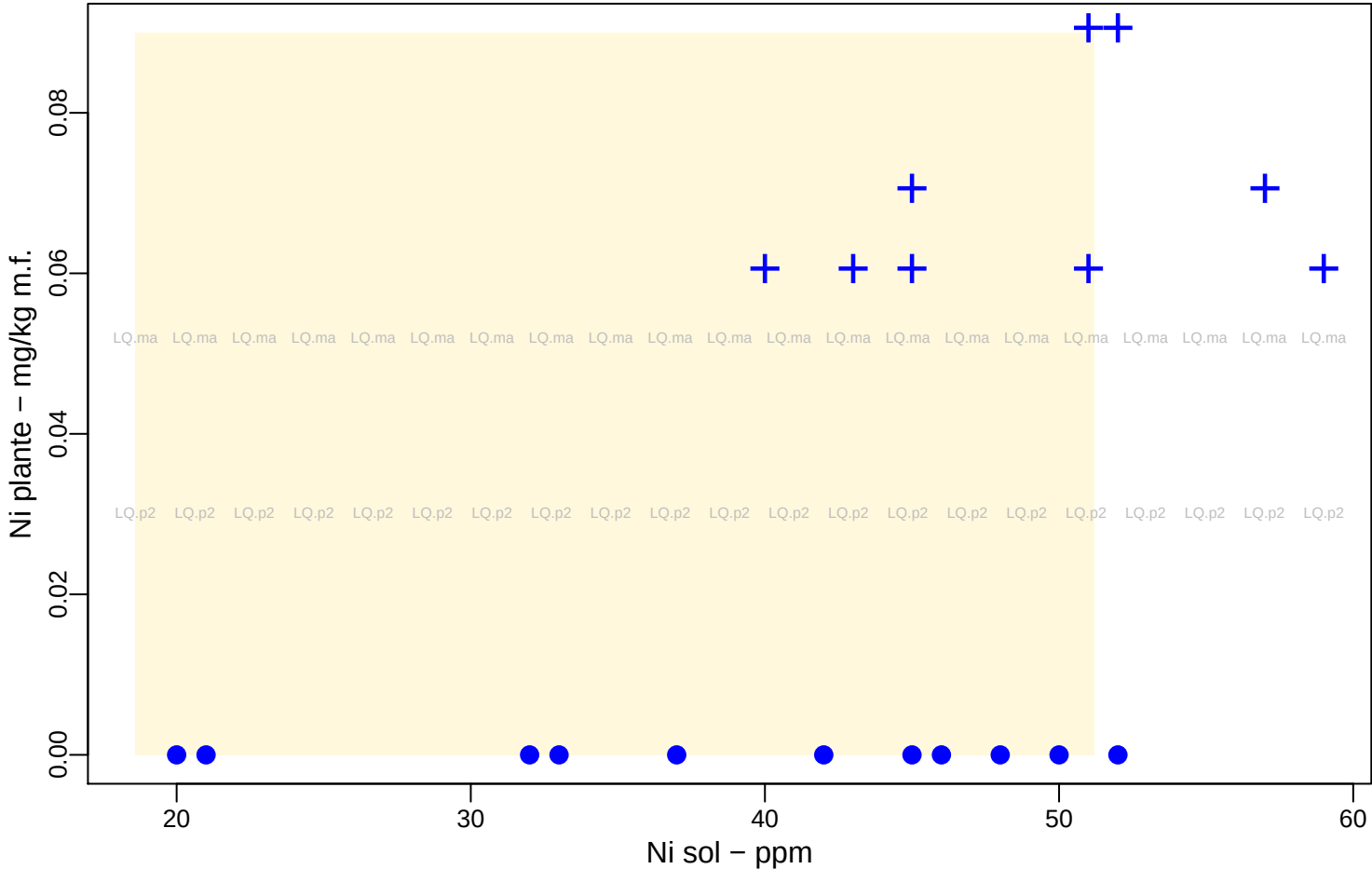
c10–c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=31

Bressoux : n=17 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=9 (/20)

Fraise

Analyse du végétal

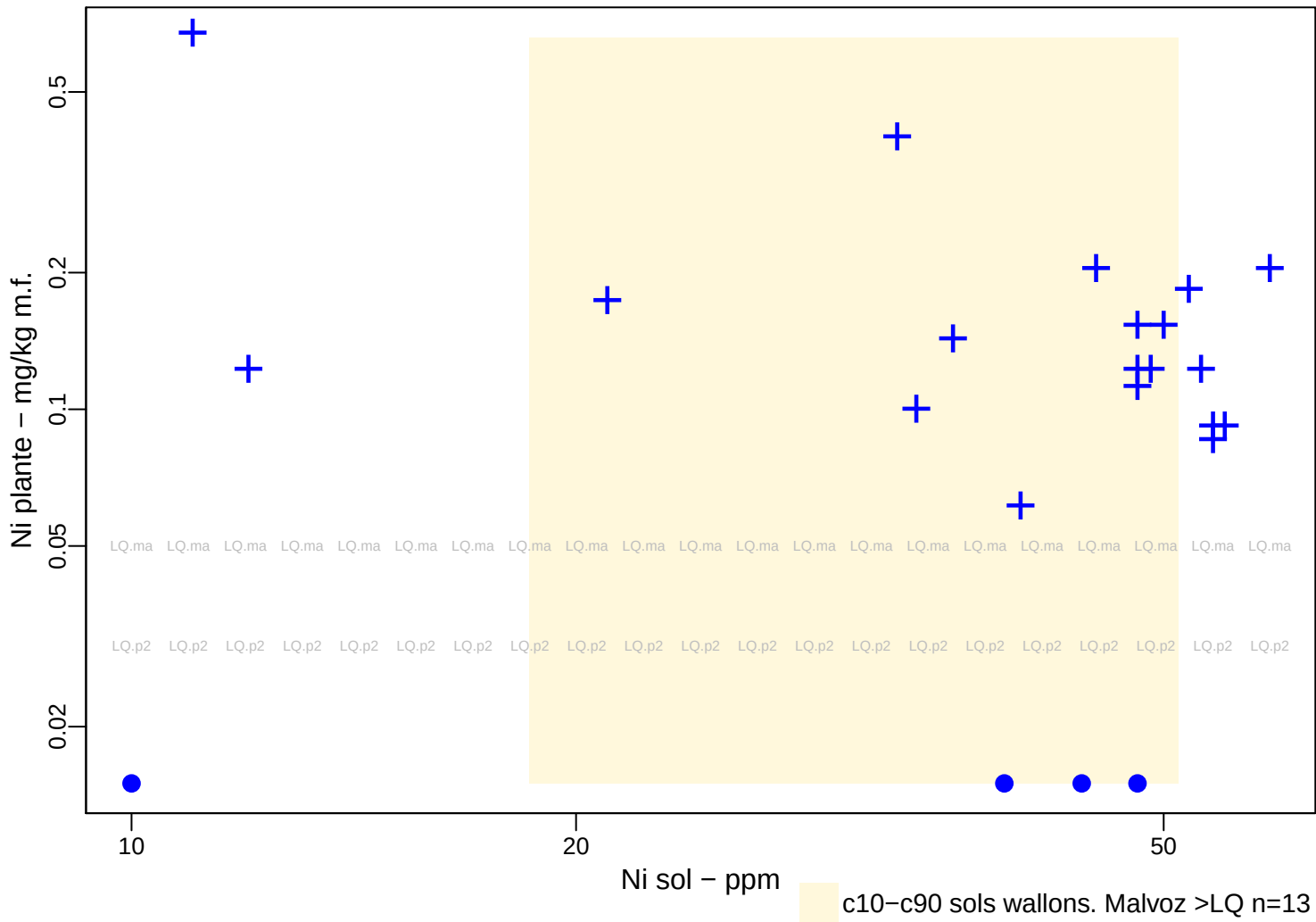
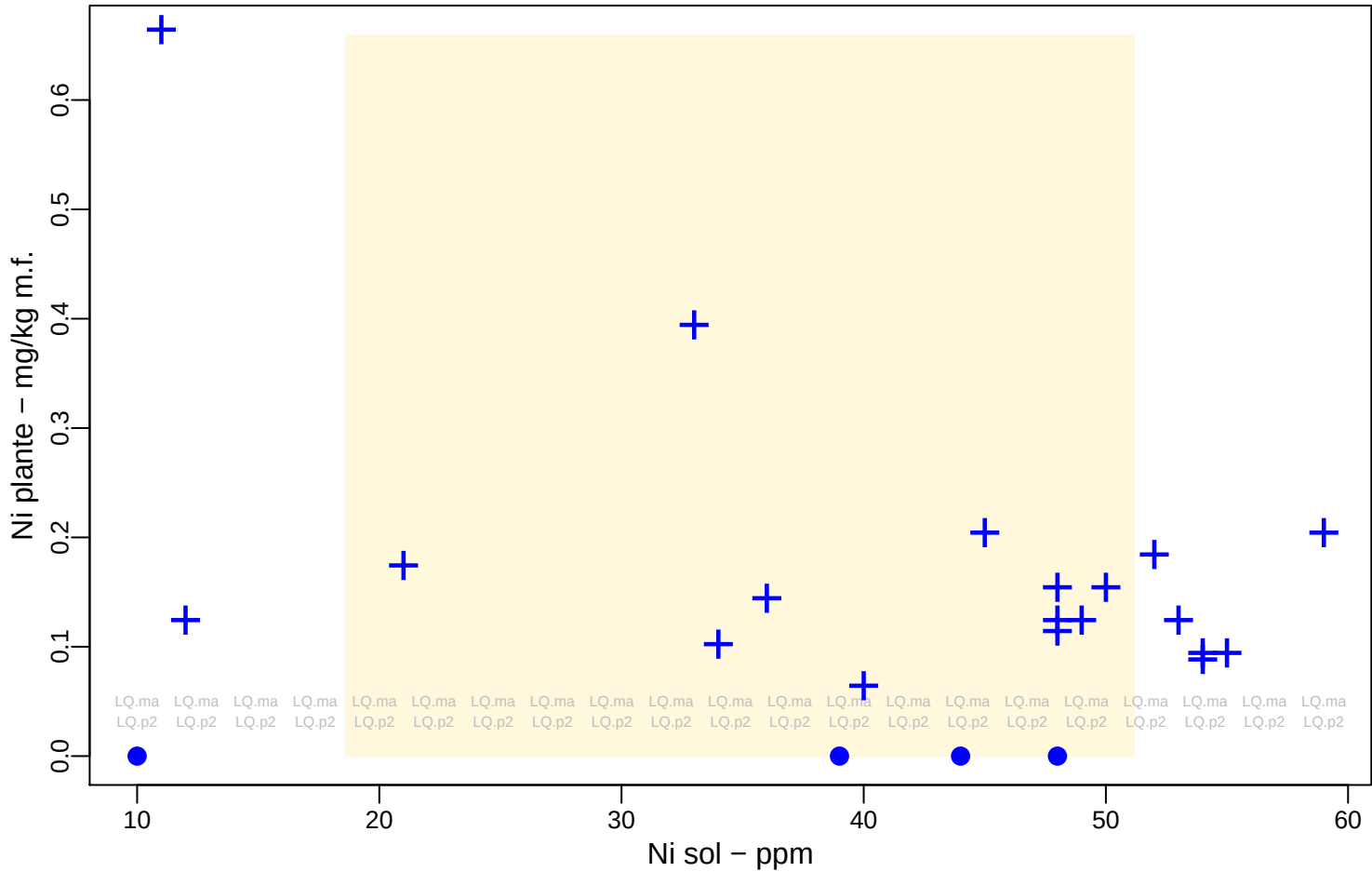
+ (n=9) • <LQ (n=11)



Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=1 (/23)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=19 (/23)

Framboise

Analyse du végétal
+ (n=19) • <LQ (n=4)

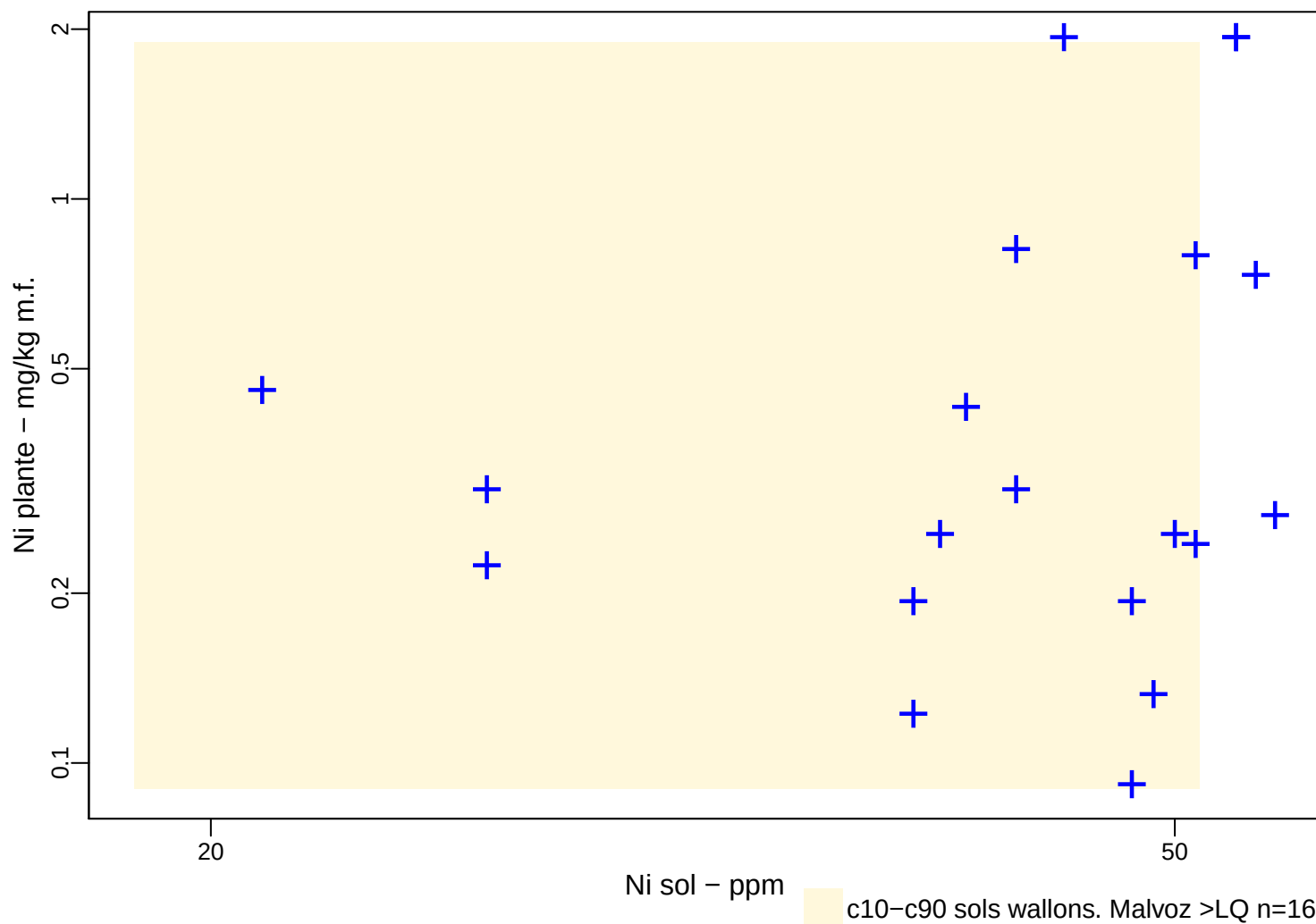
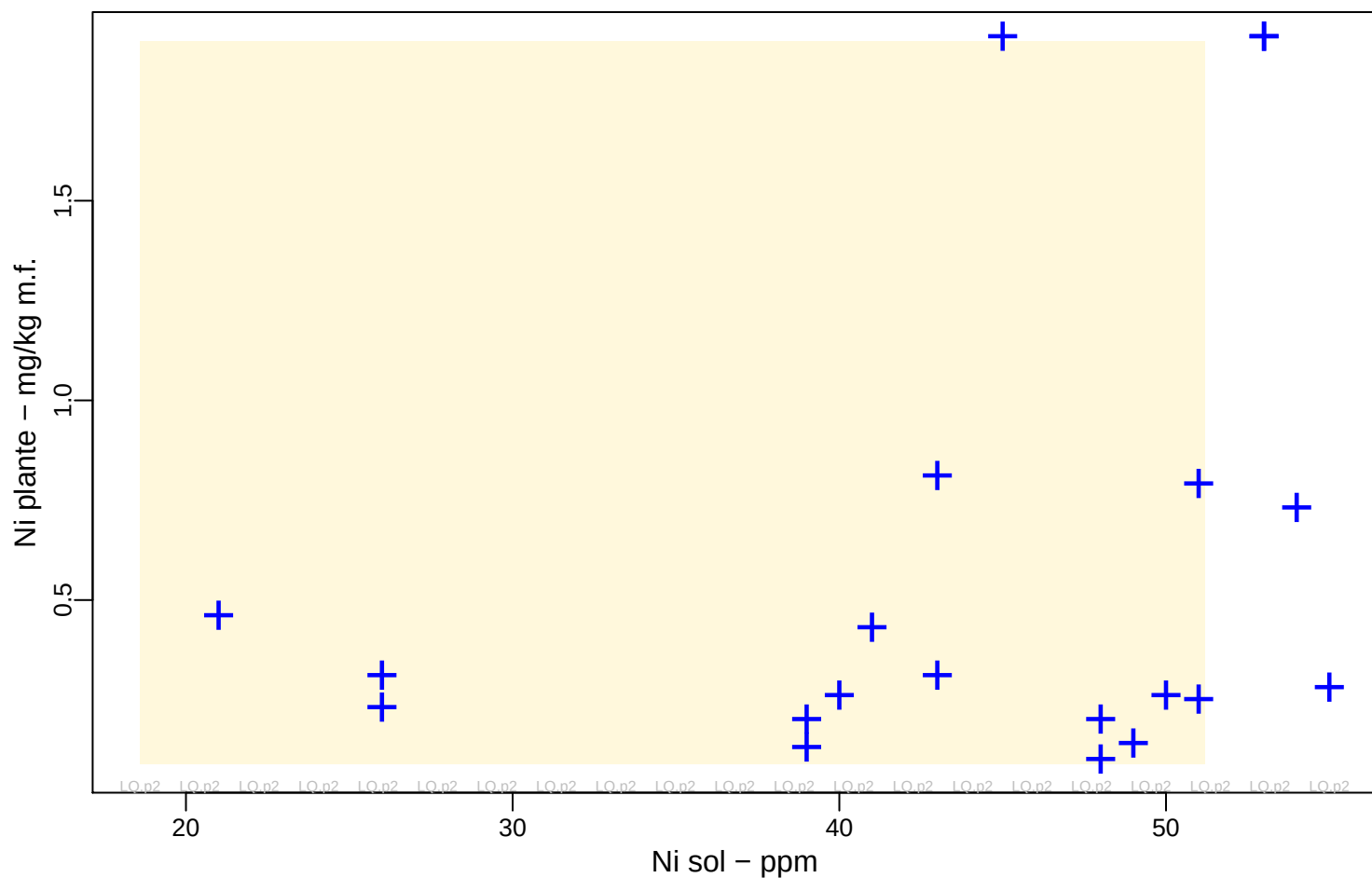


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=13

Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=20) • <LQ (n=0)

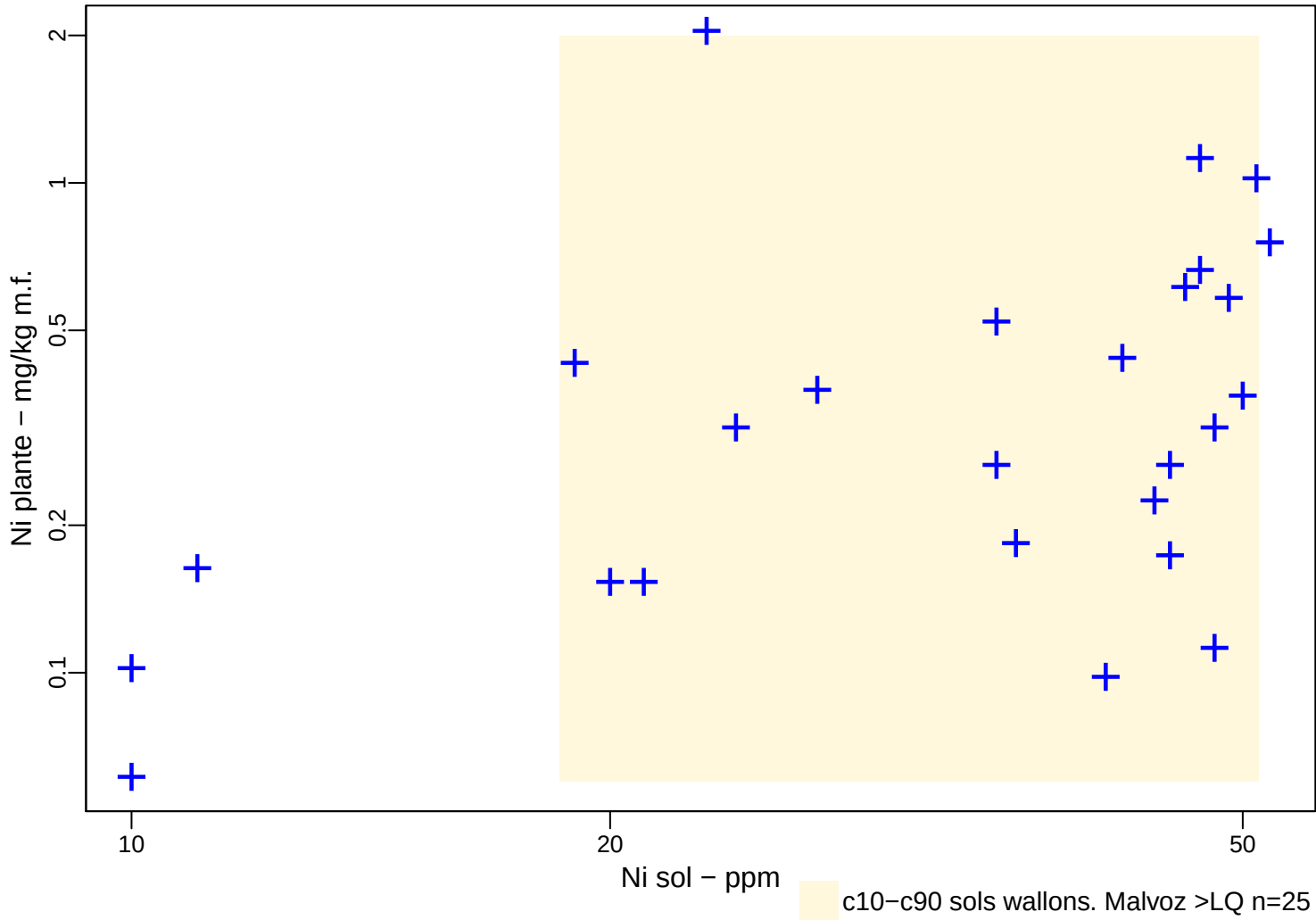
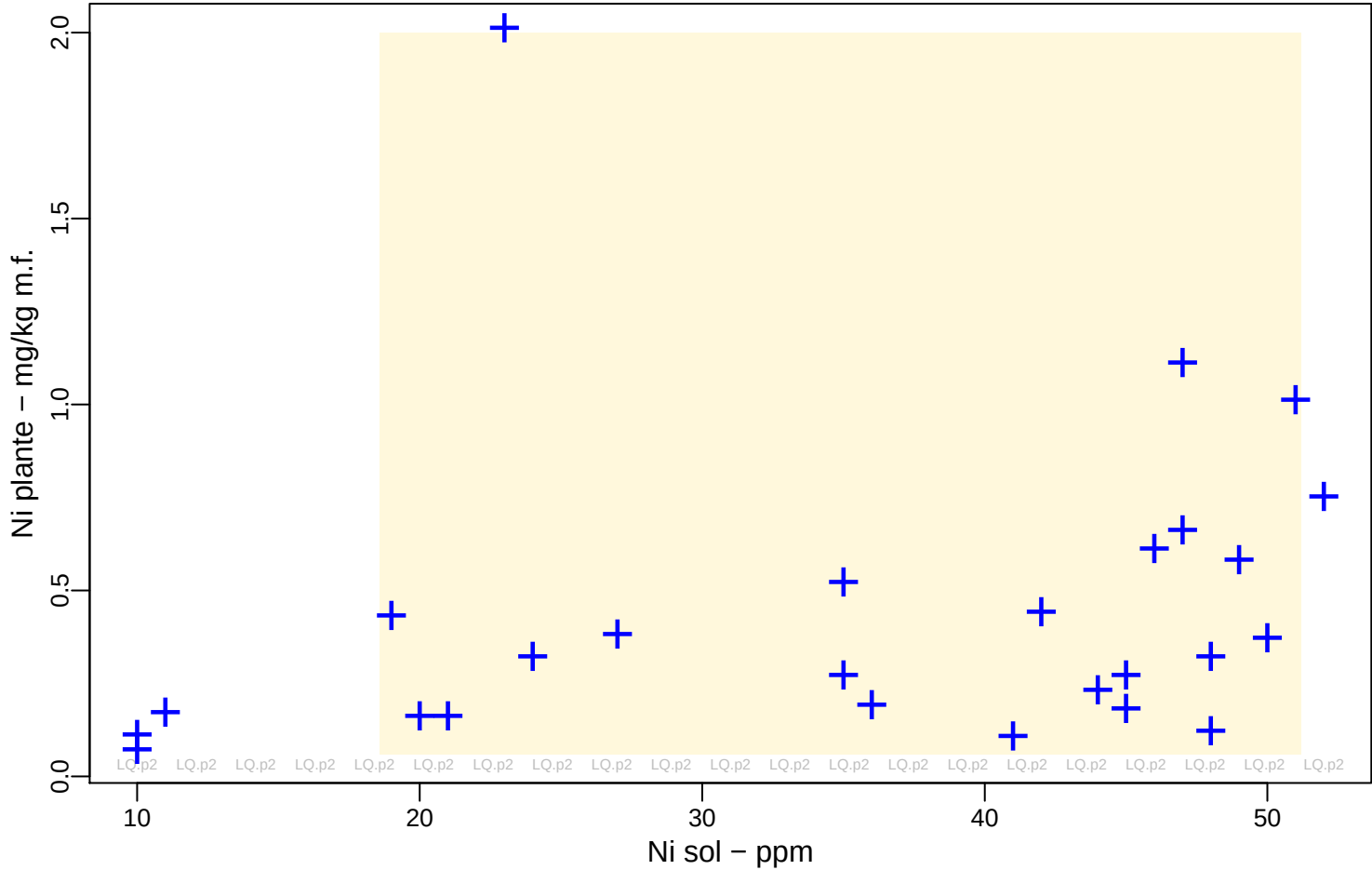


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=16

Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=2 (/26)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=24 (/26)

Persil

Analyse du végétal
+ (n=26) • <LQ (n=0)

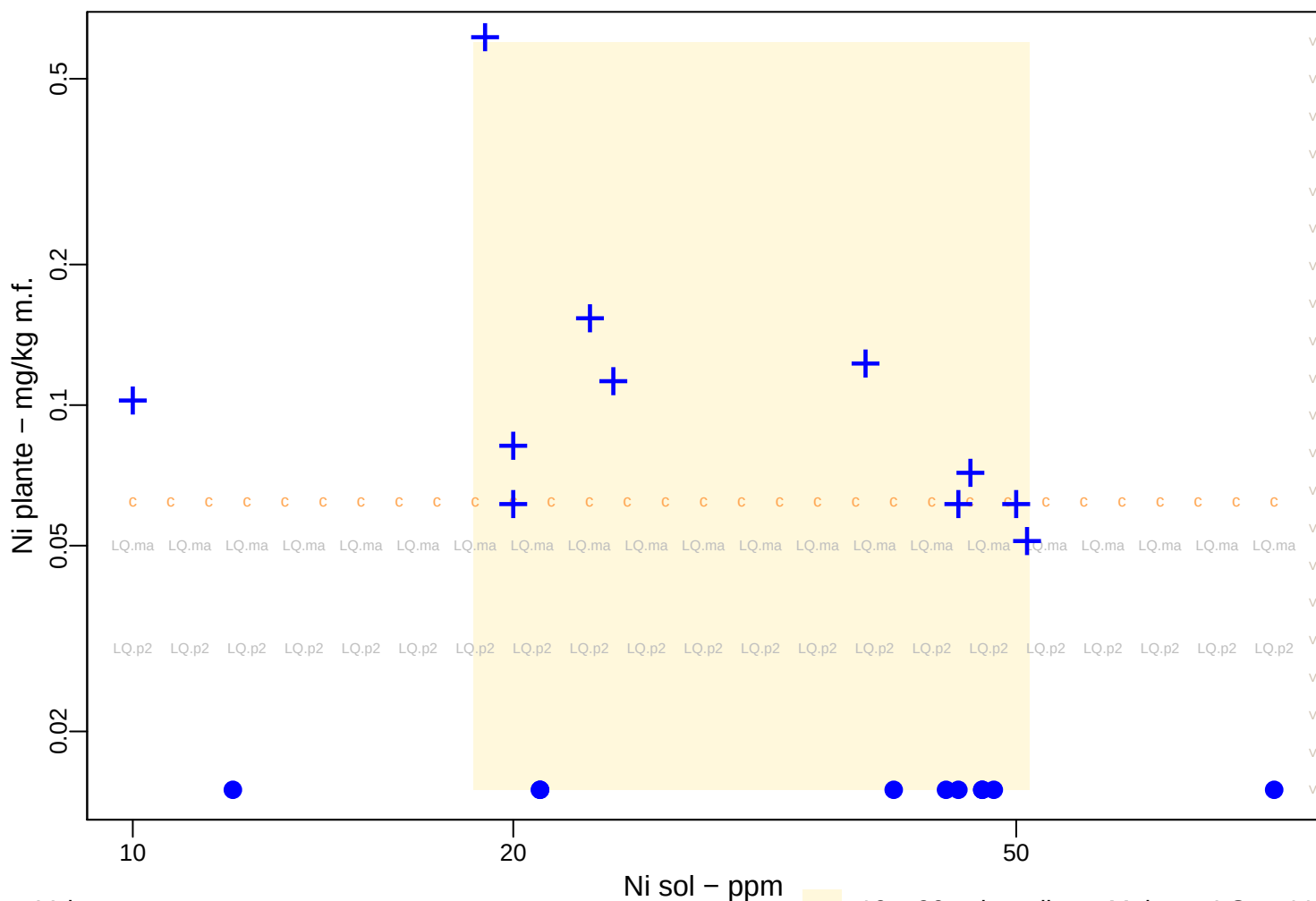
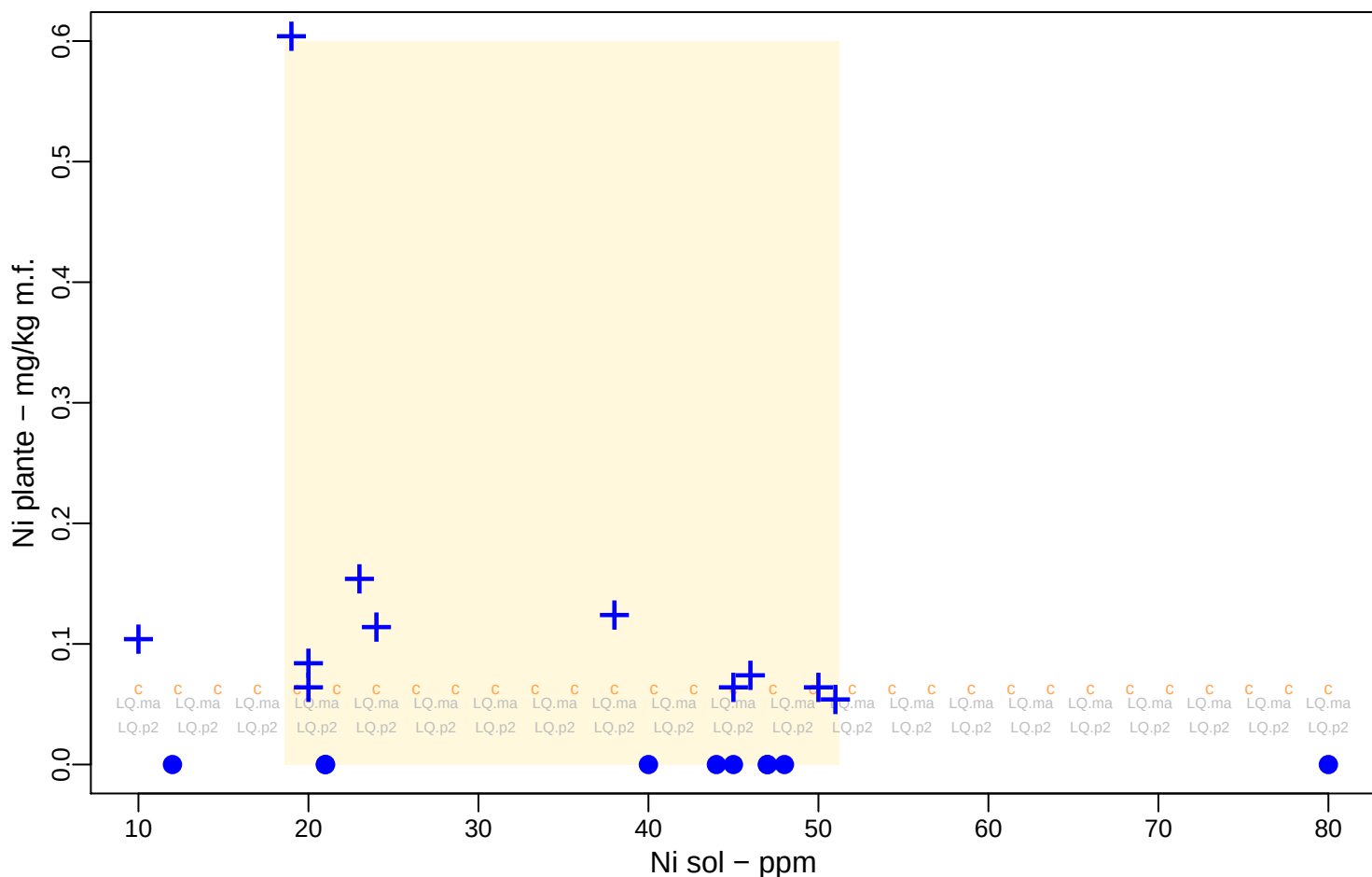


Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=1 (/21)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=10 (/21)

Poireau

Analyse du végétal

+ (n=11) • <LQ (n=10)



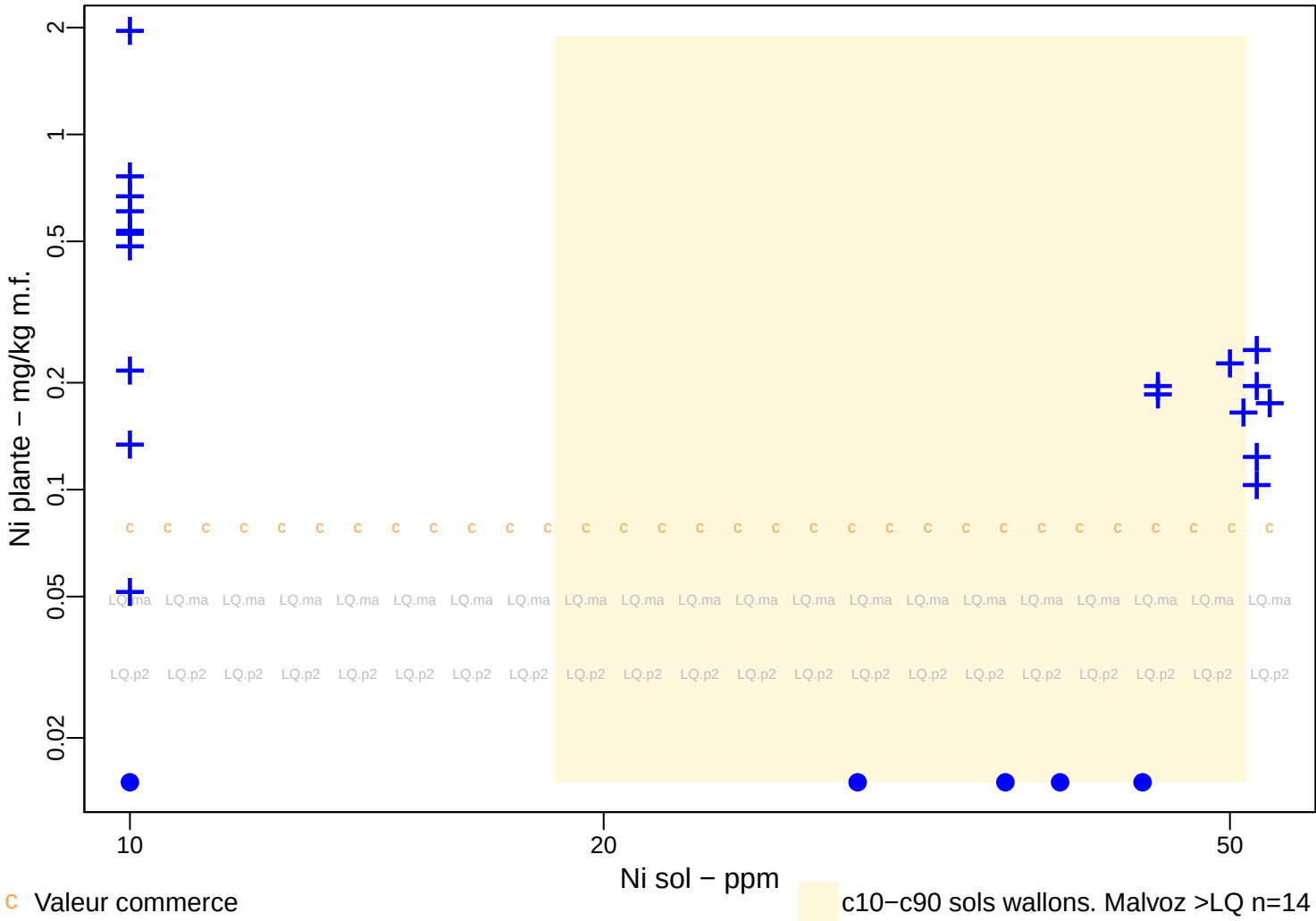
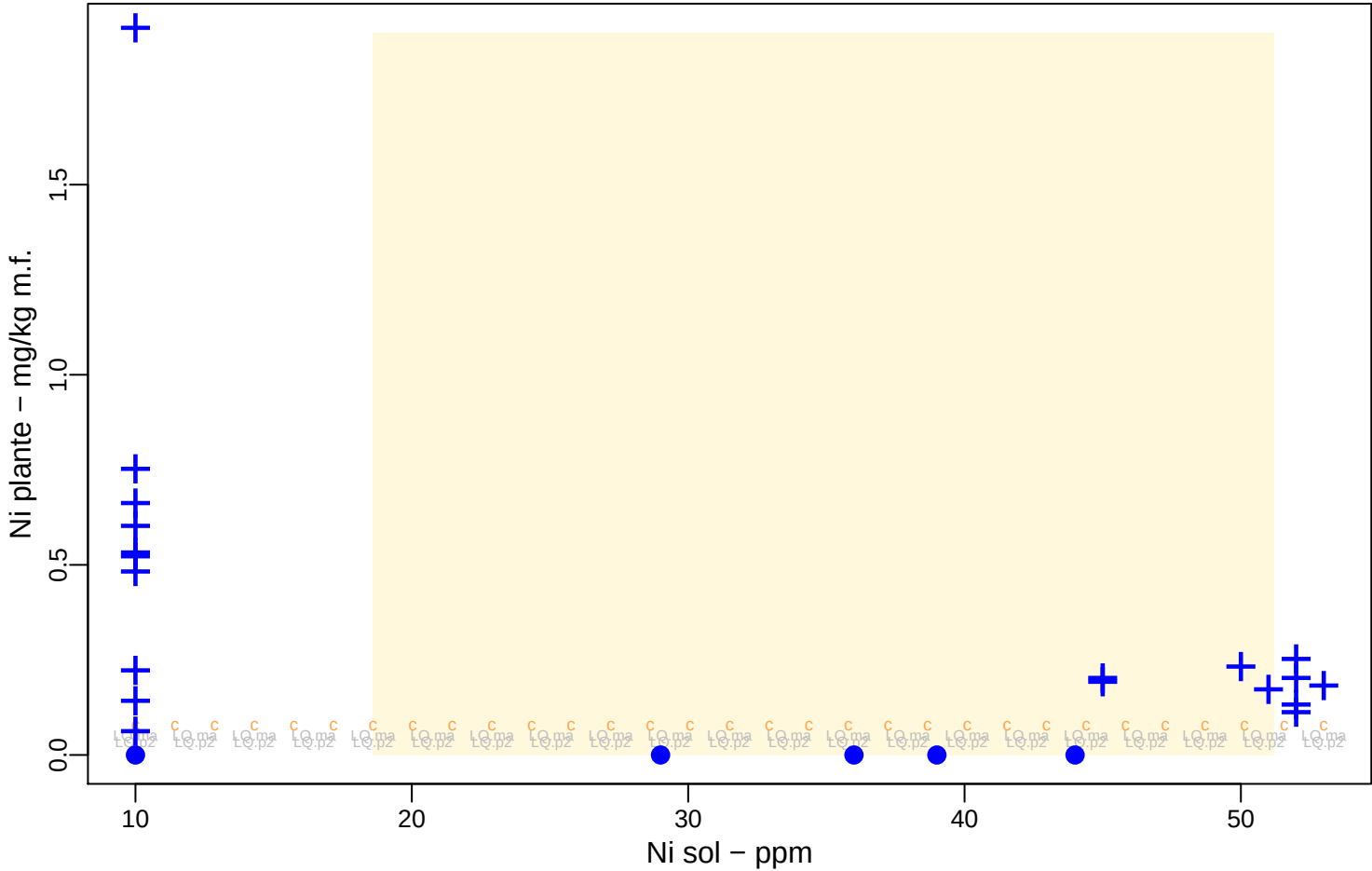
C Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=11

Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=11 (/24)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=9 (/24)

Poivron

Analyse du végétal
+ (n=19) • <LQ (n=5)

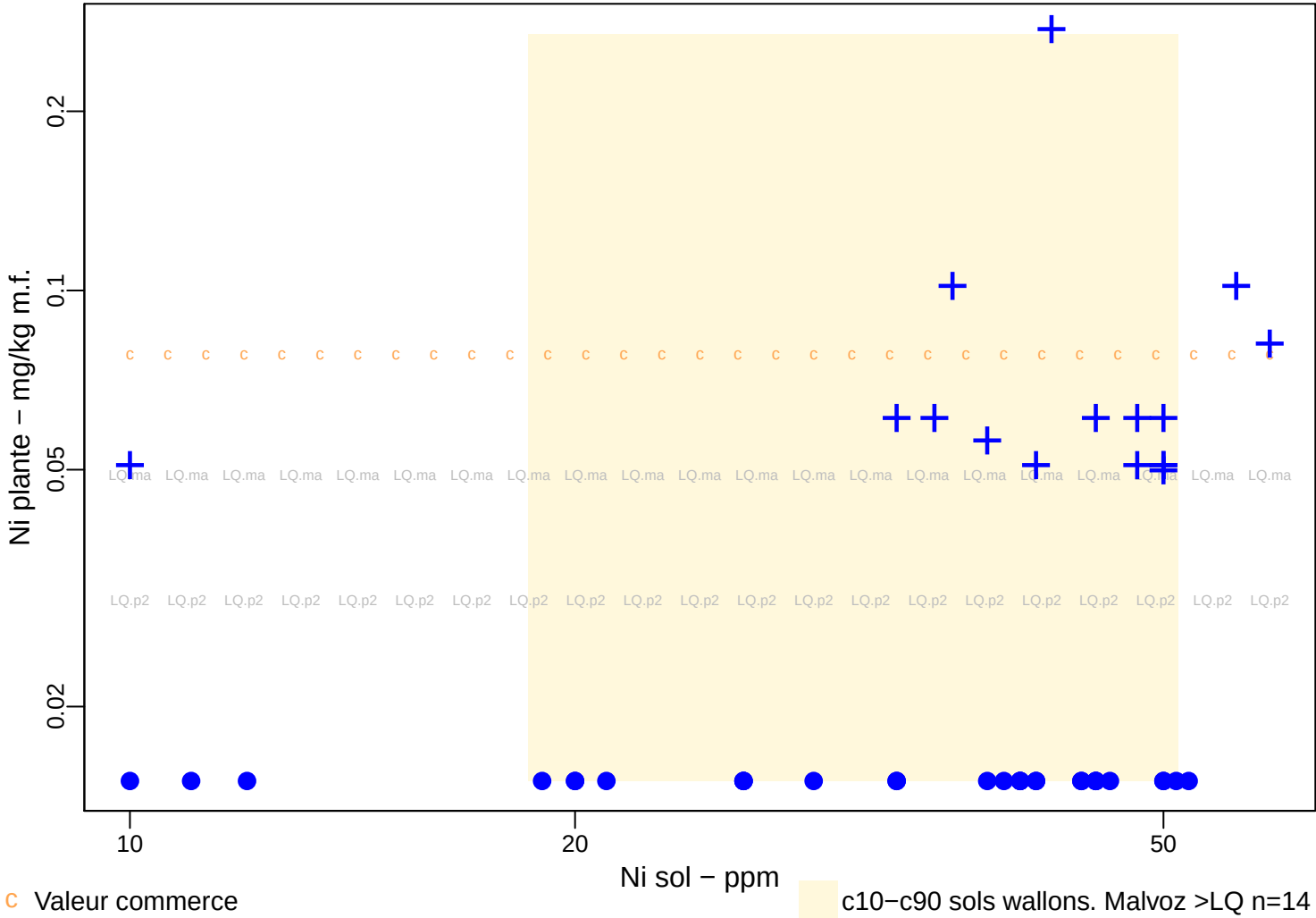
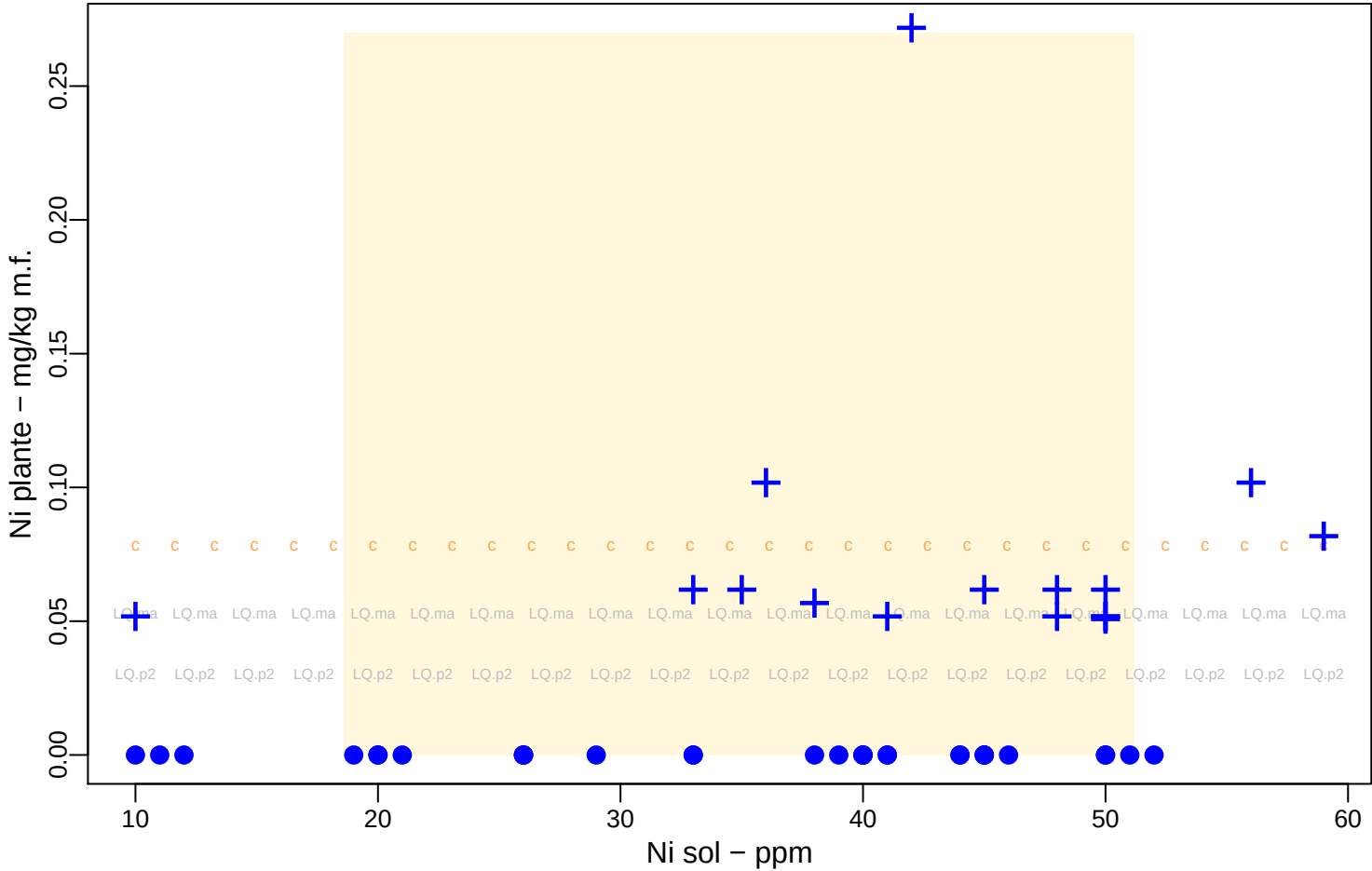


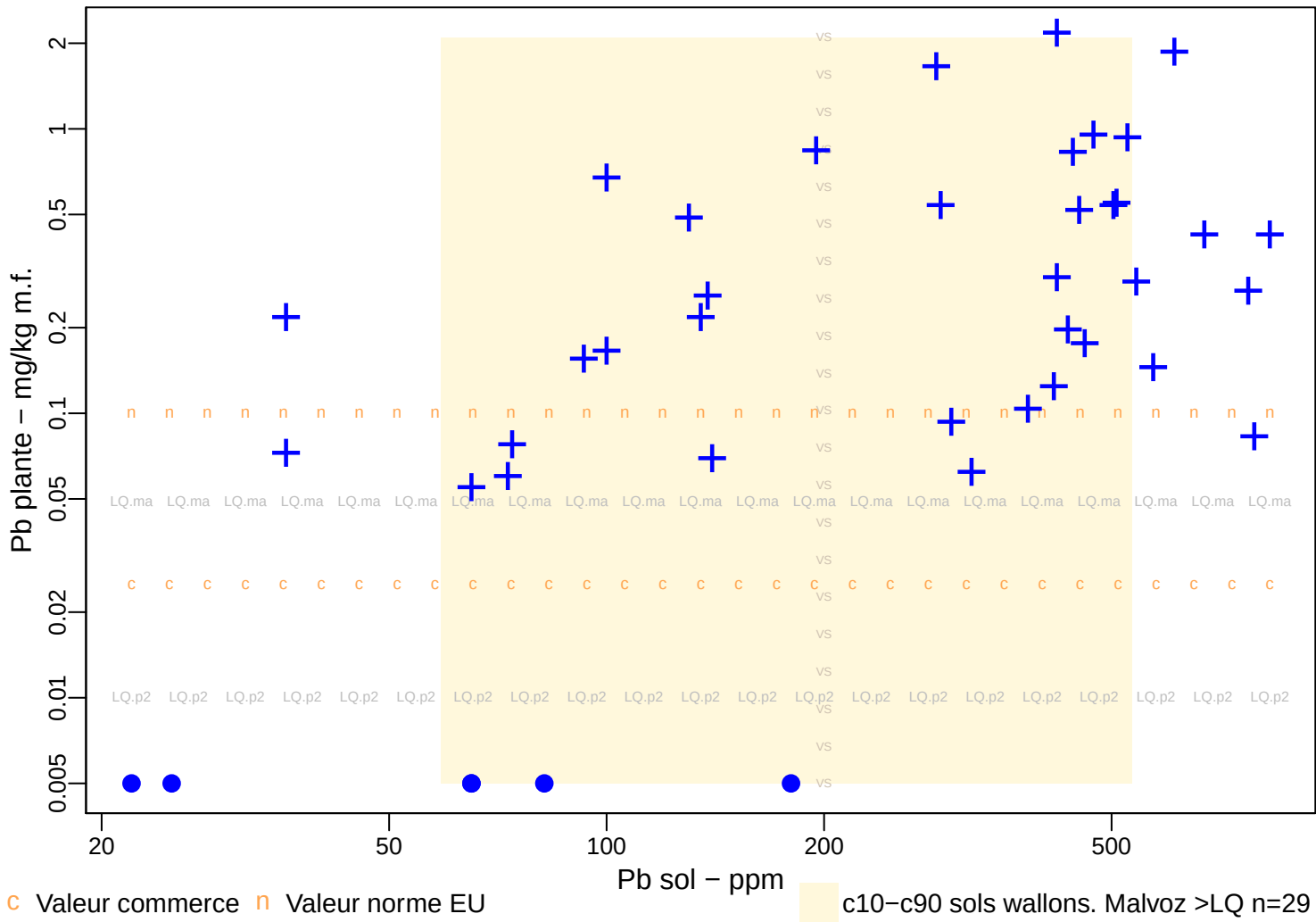
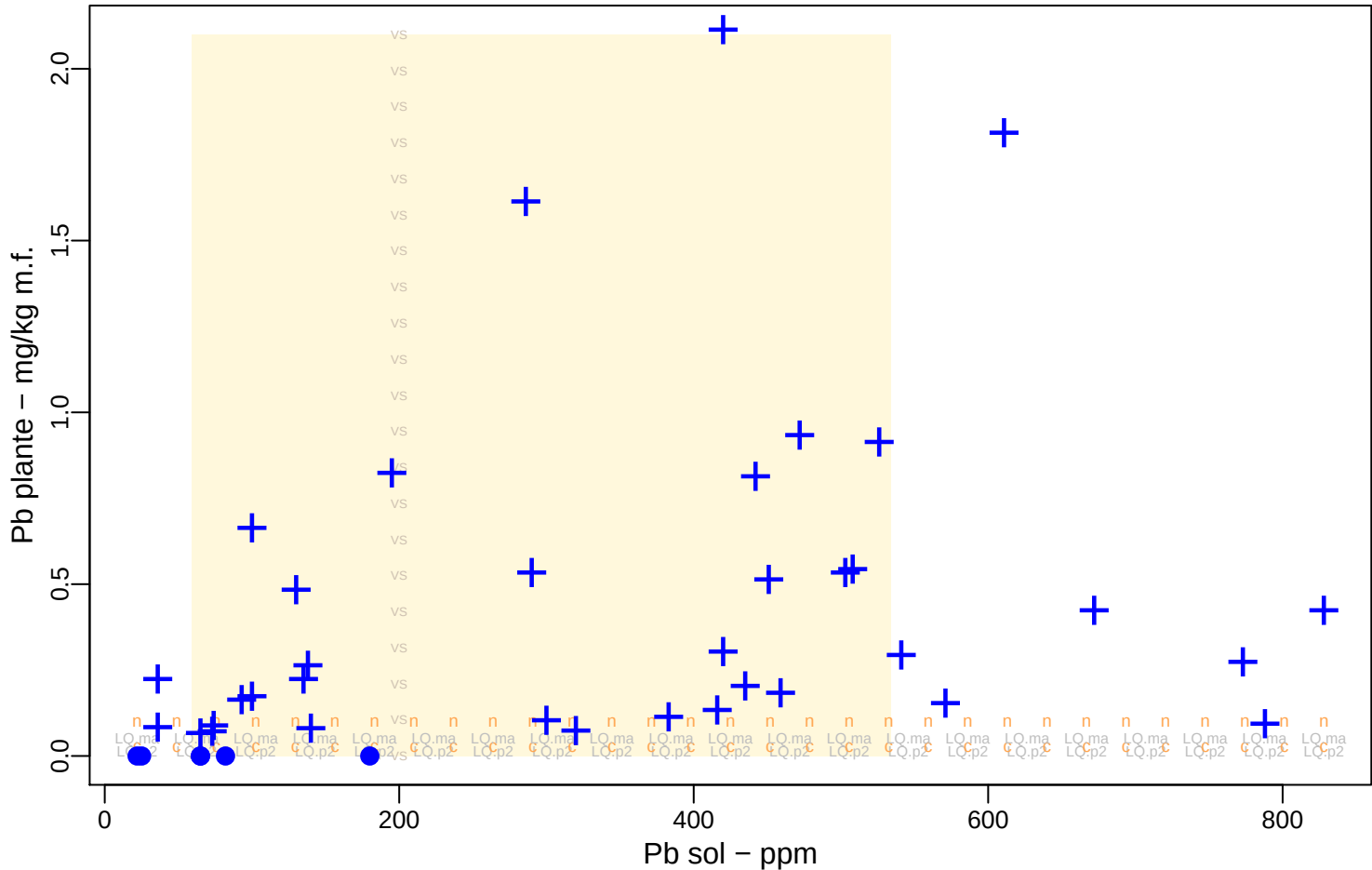
Bressoux : n=23 (/46)
Analyse de sol <LQ : n=2 (/46)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=15 (/46)

Tomate

Analyse du végétal

+ (n=16) • <LQ (n=30)



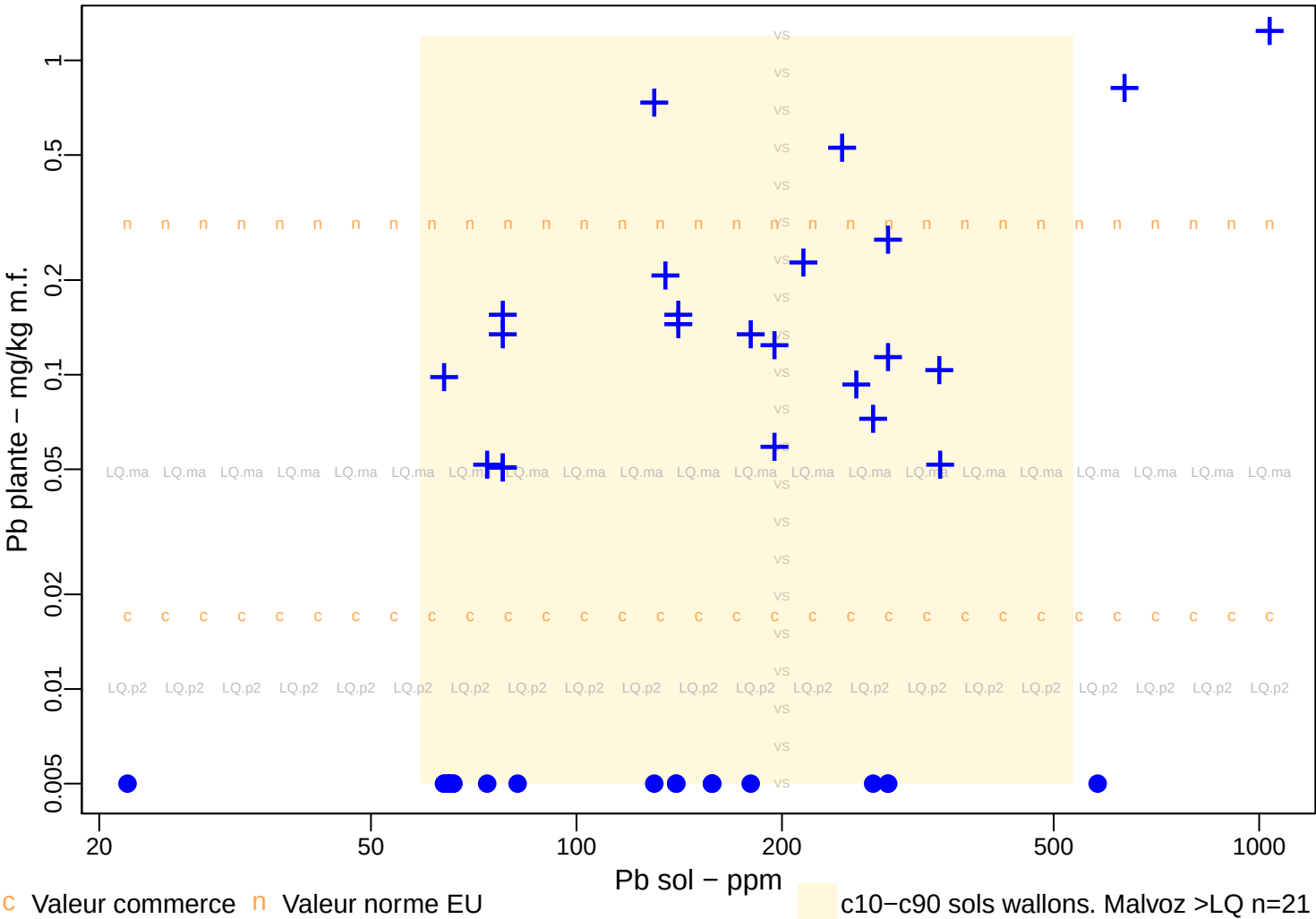
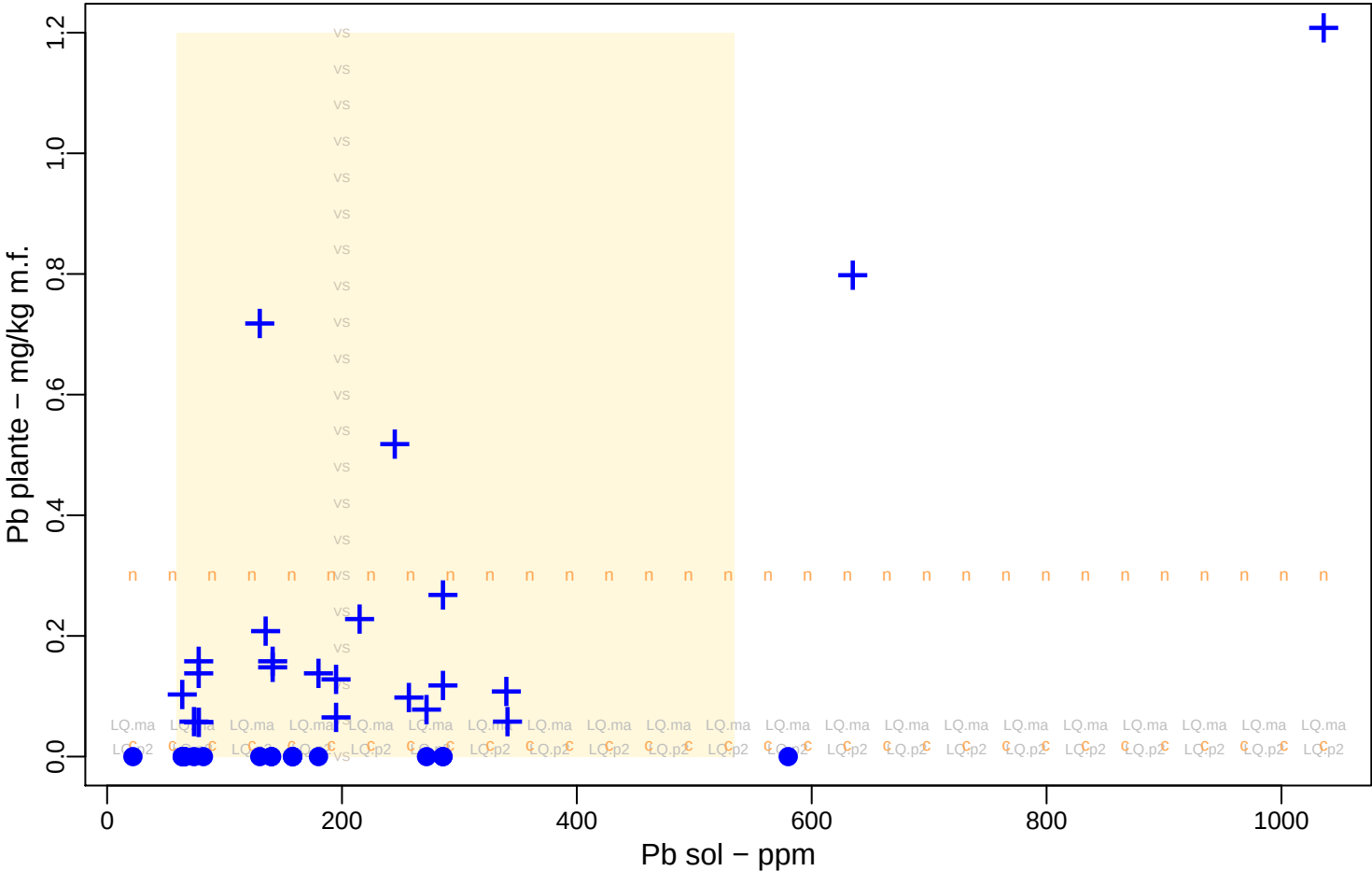


Bressoux : n=4 (/45)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/45)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=23 (/45)

Chou

Analyse du végétal

+ (n=23) • <LQ (n=22)



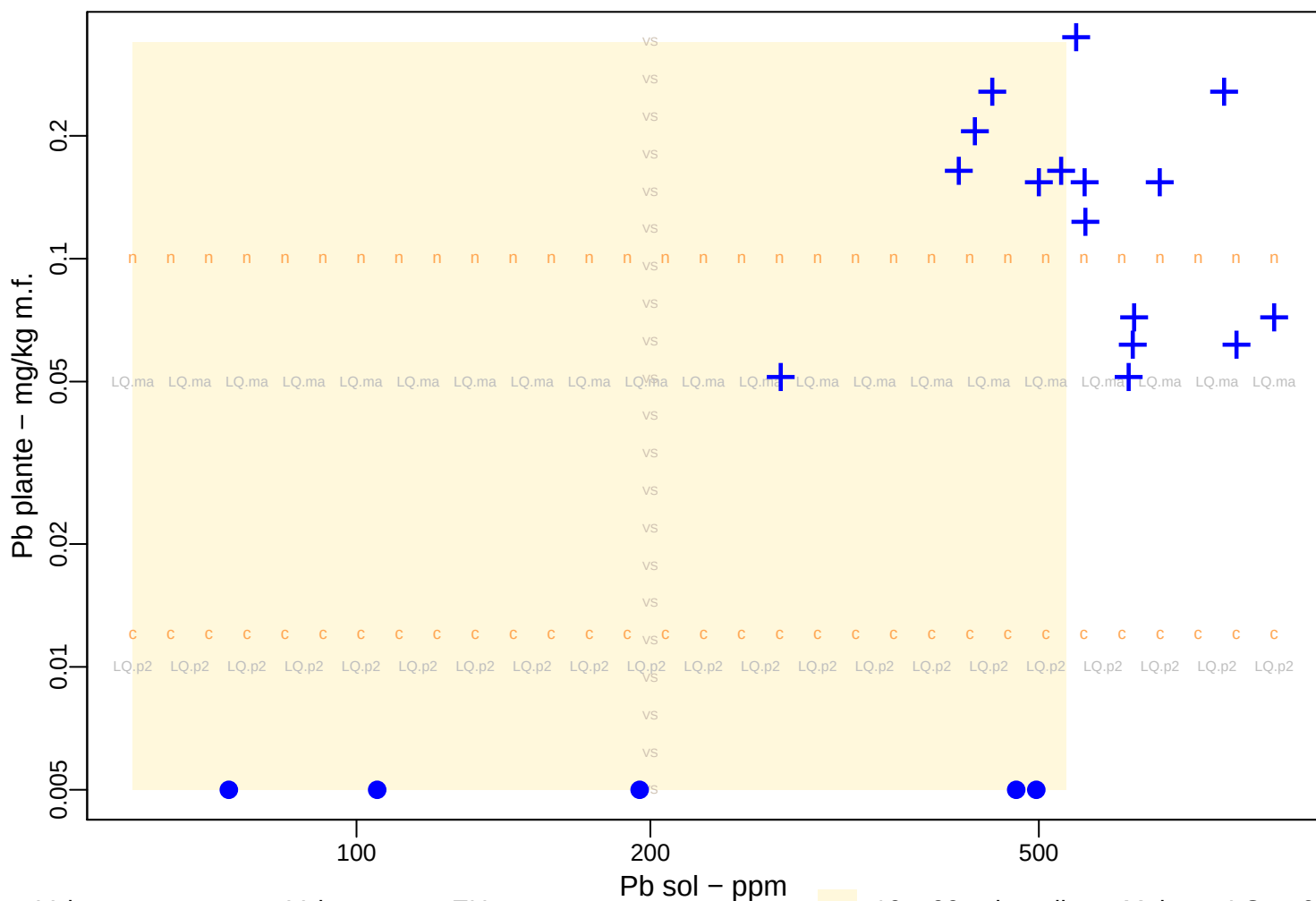
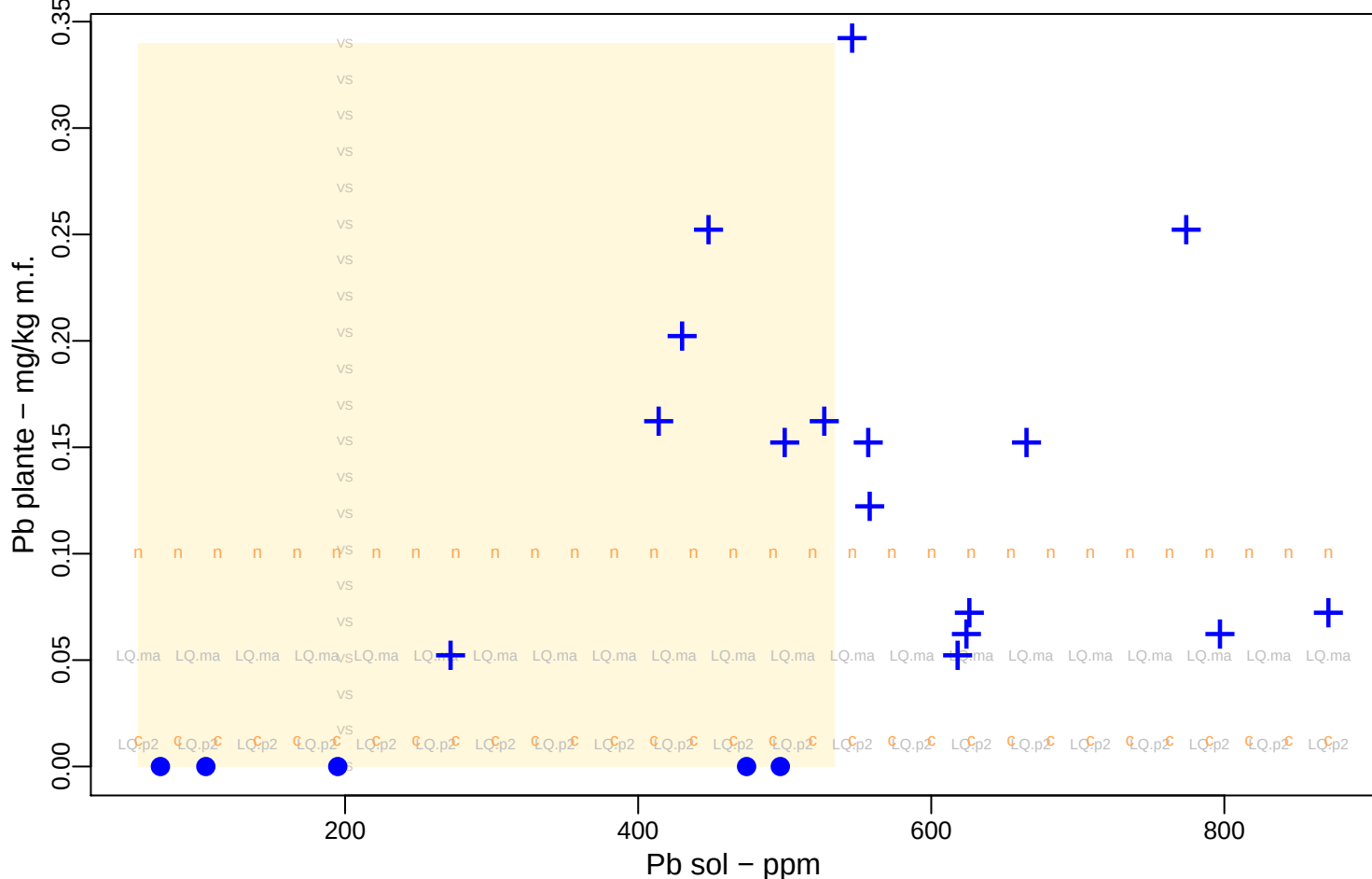
C Valeur commerce n Valeur norme EU c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=21

Bressoux : n=17 (/21)
 Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)
 Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=16 (/21)

Fraise

Analyse du végétal

+ (n=16) ● <LQ (n=5)



c Valeur commerce n Valeur norme EU

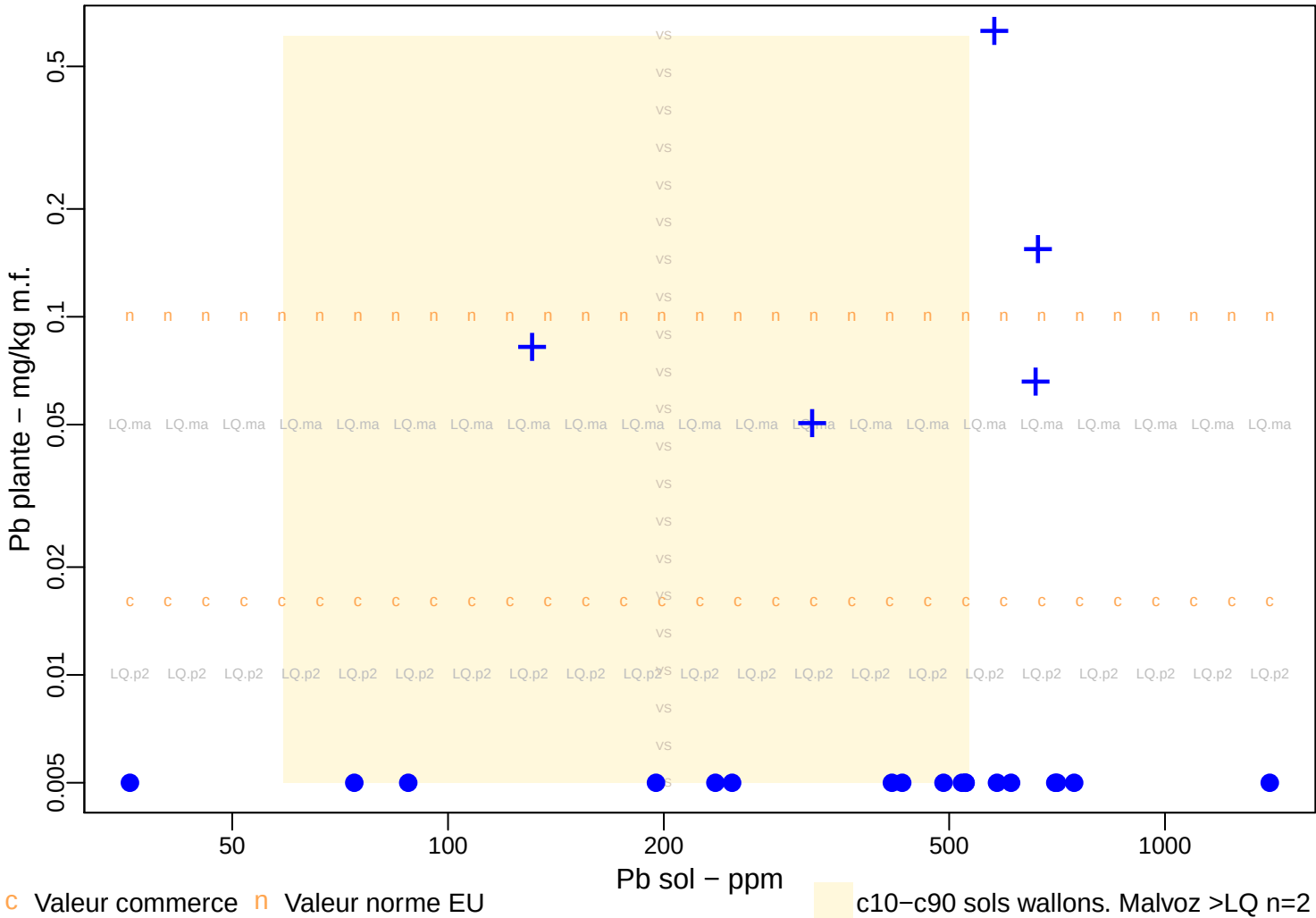
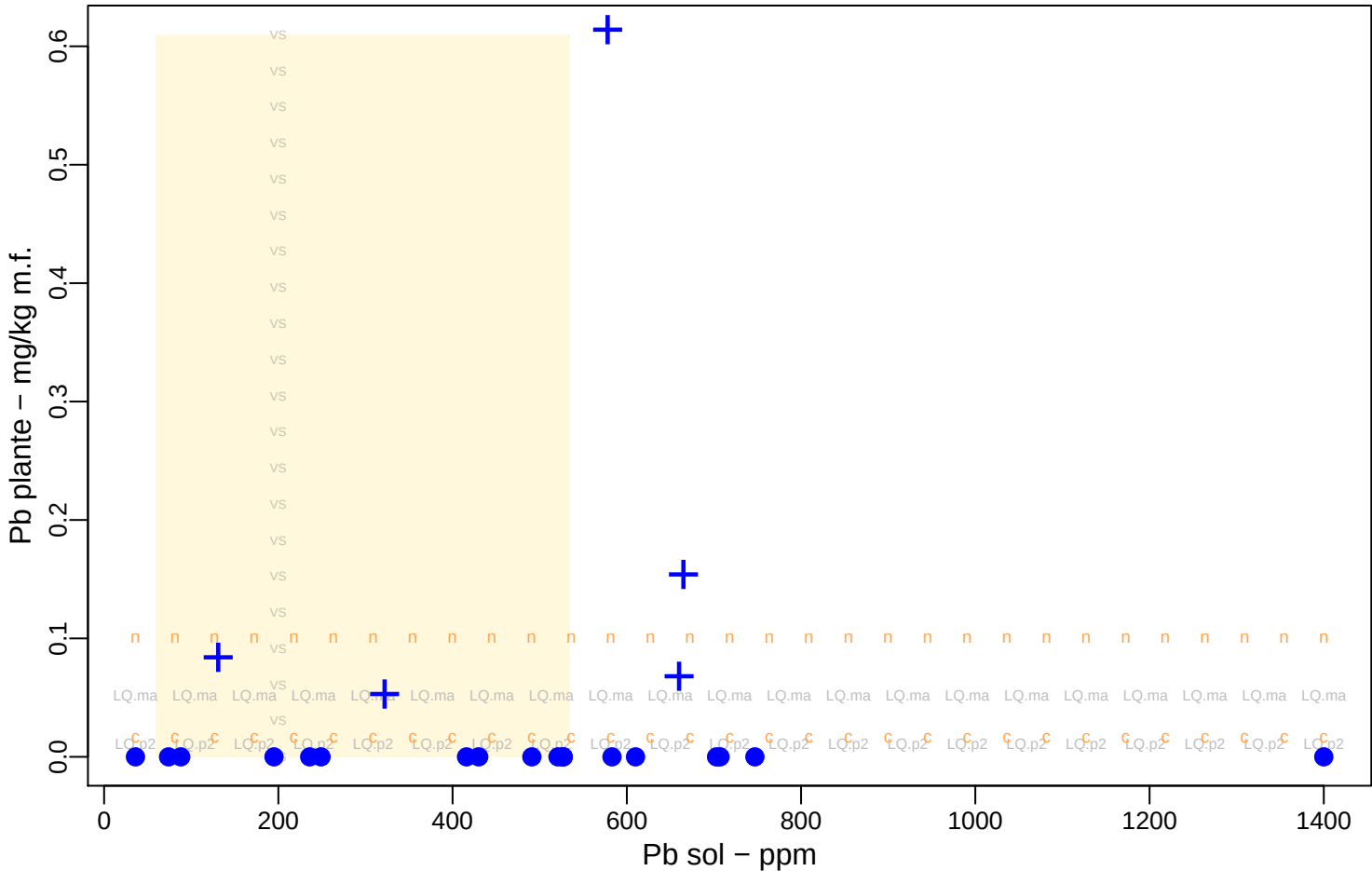
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=6

Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/23)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=5 (/23)

Framboise

Analyse du végétal

+ (n=5) • <LQ (n=18)

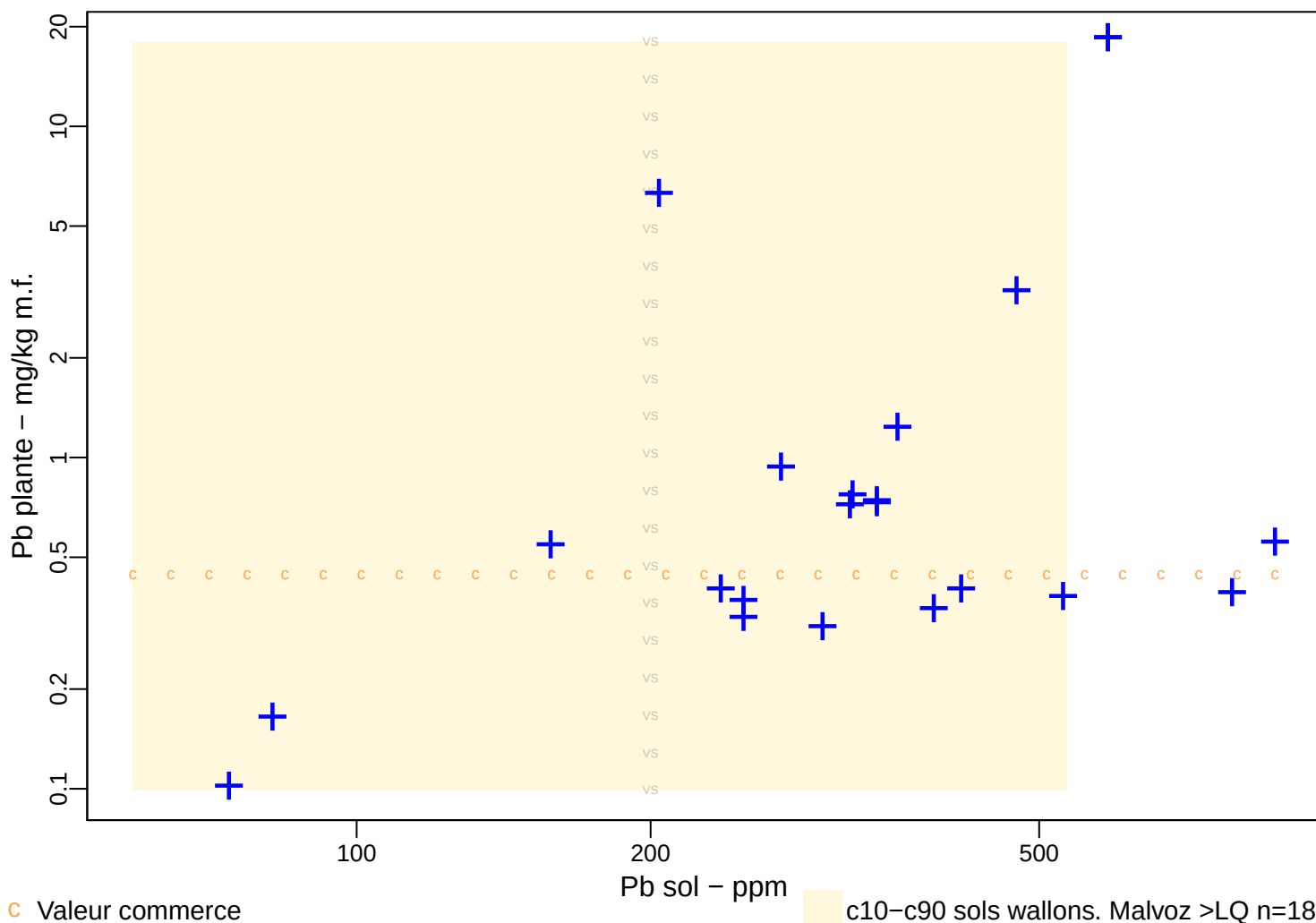
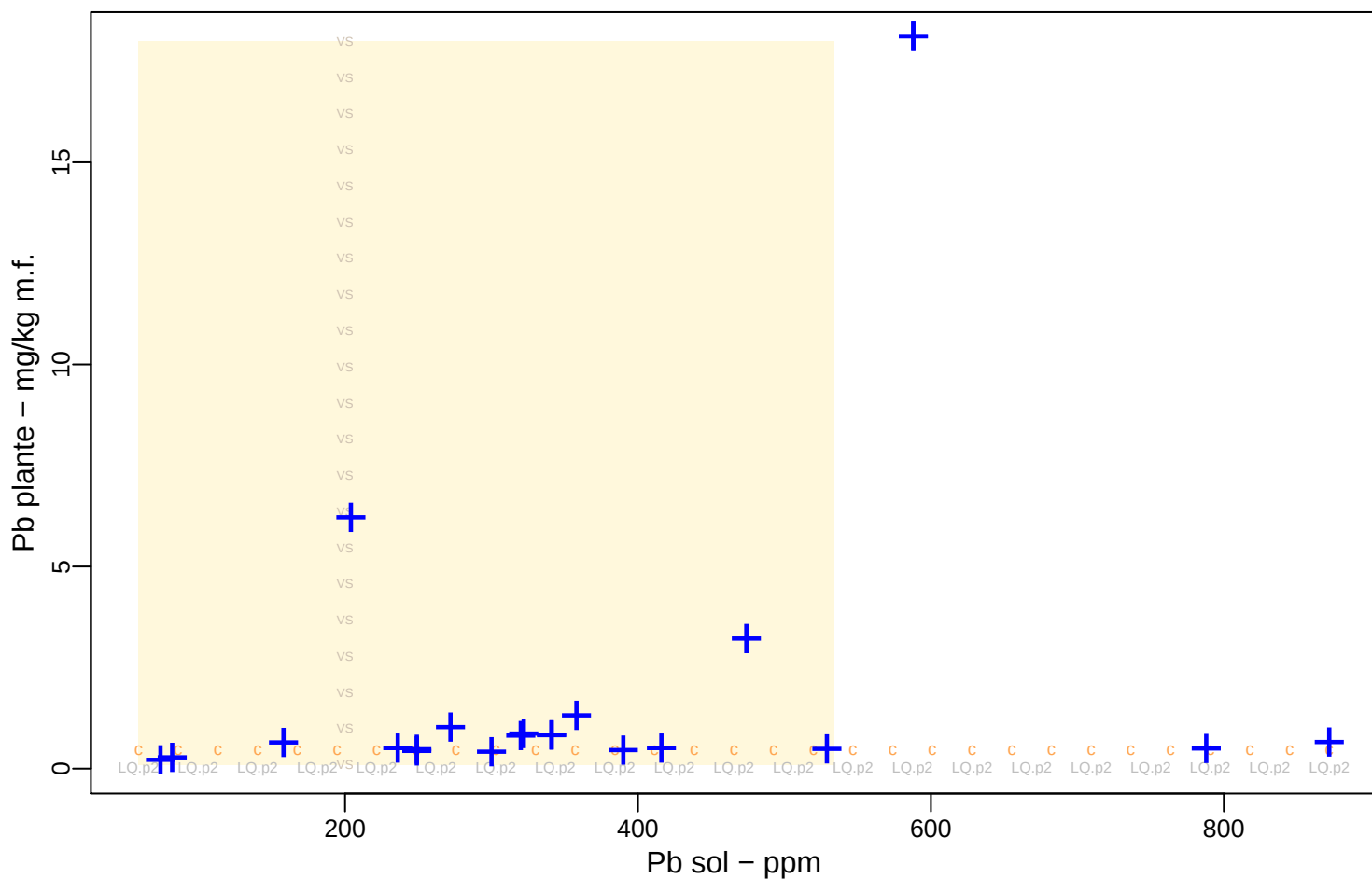


C Valeur commerce n Valeur norme EU c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=2

Bressoux : n=10 (/22)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/22)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=22) ● <LQ (n=0)

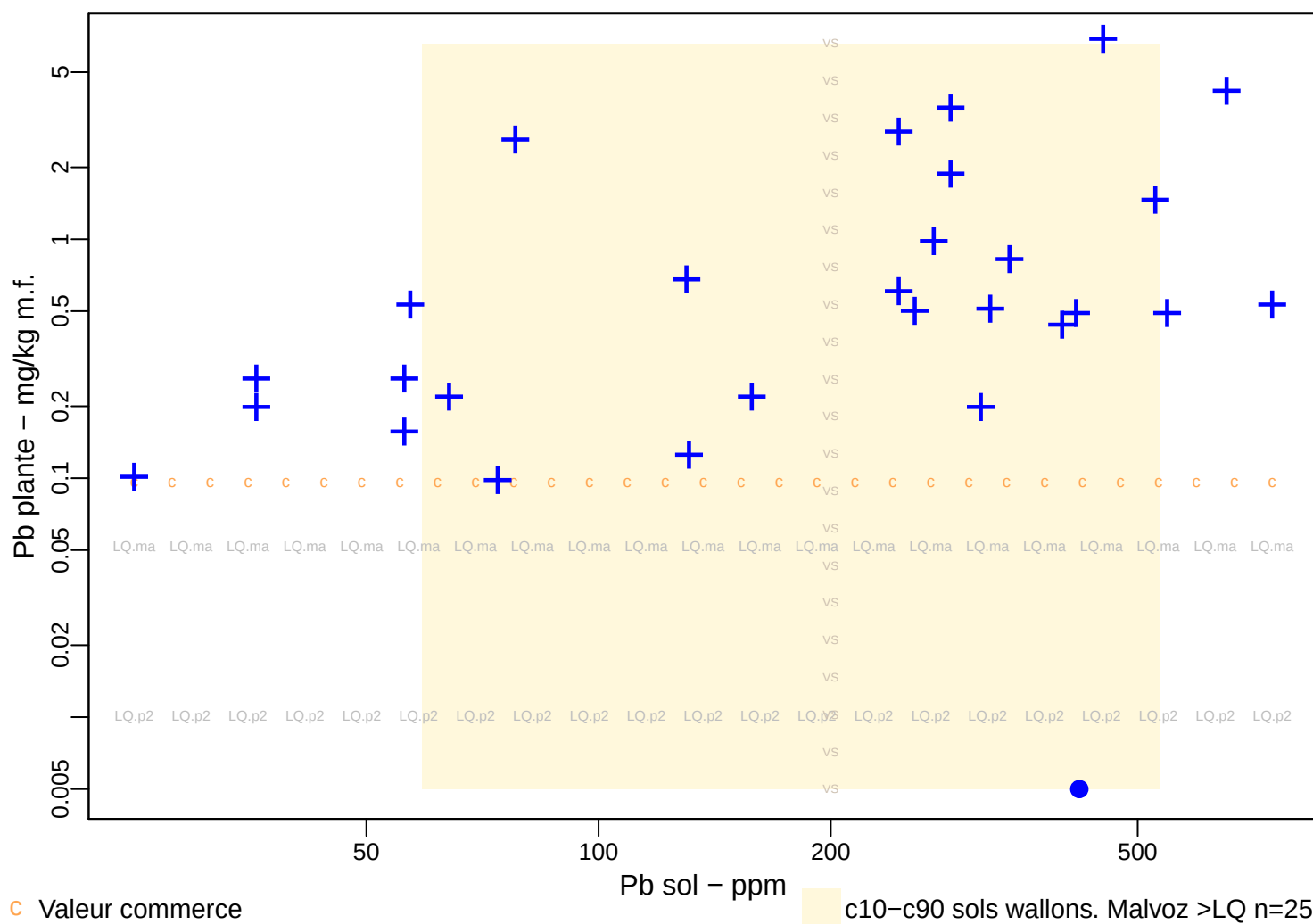


C Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=18

Analyse du végétal

+ (n=28) ● <LQ (n=1)

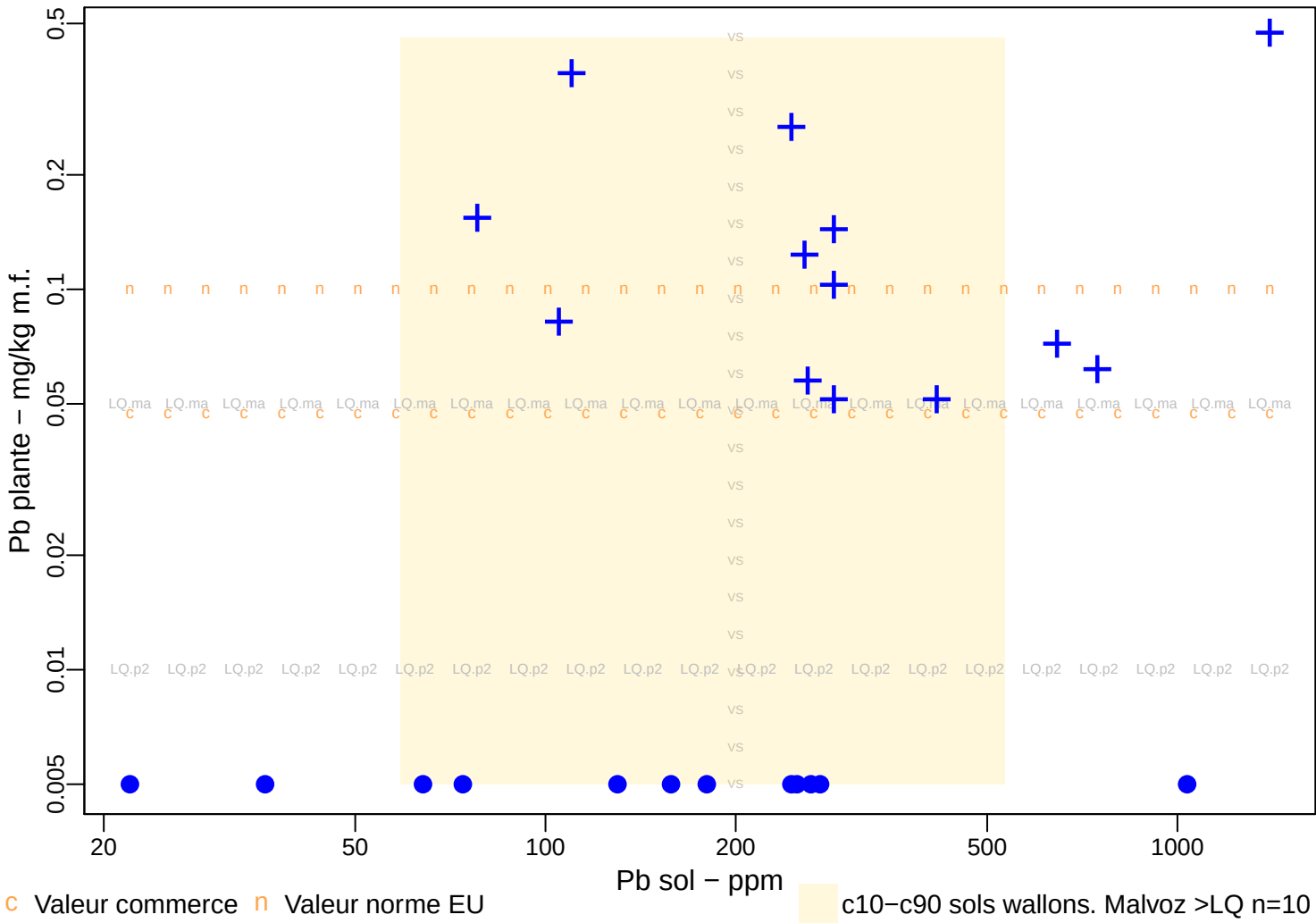
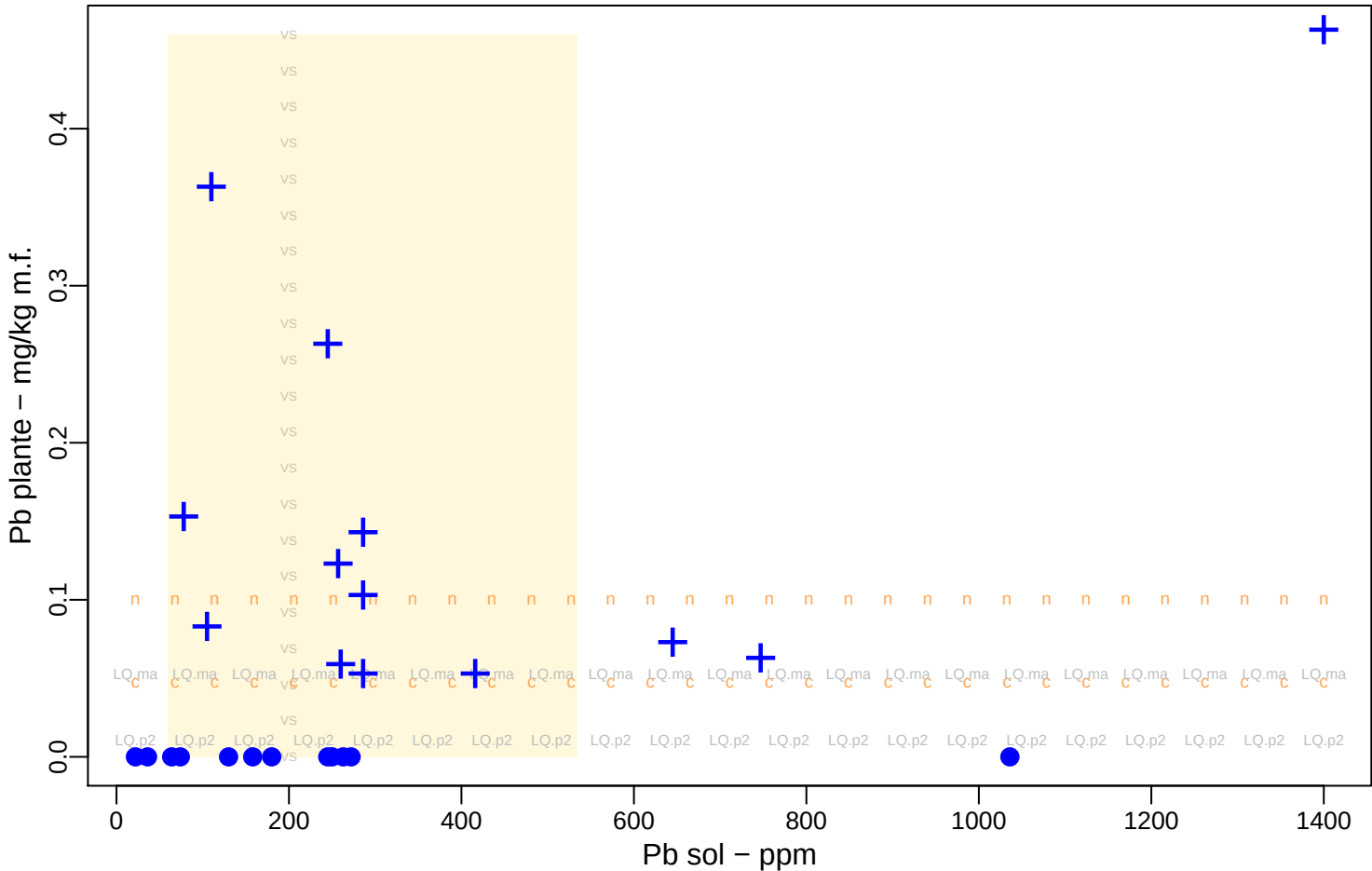


Bressoux : n=2 (/25)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/25)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=13 (/25)

Poireau

Analyse du végétal

+ (n=13) • <LQ (n=12)



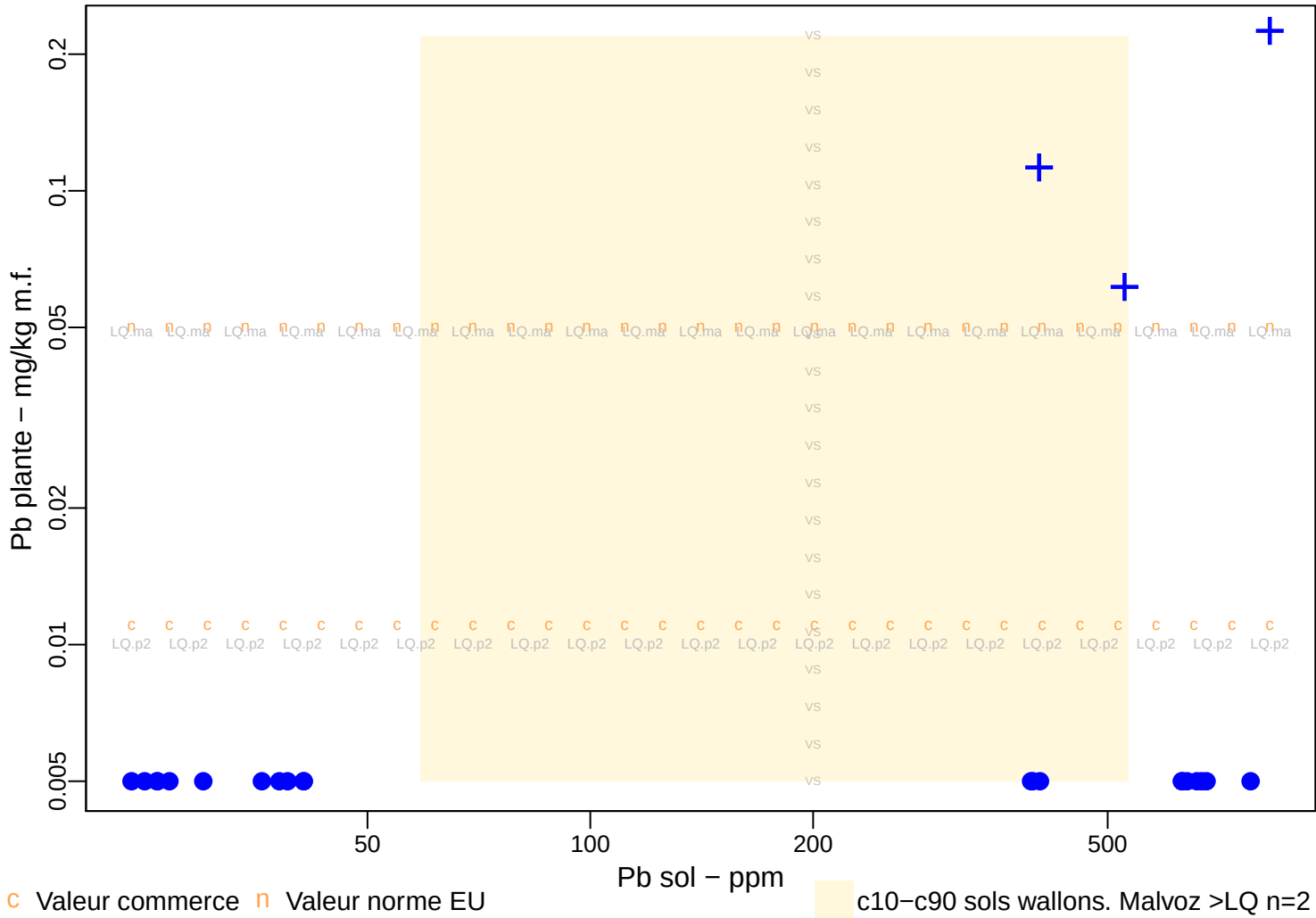
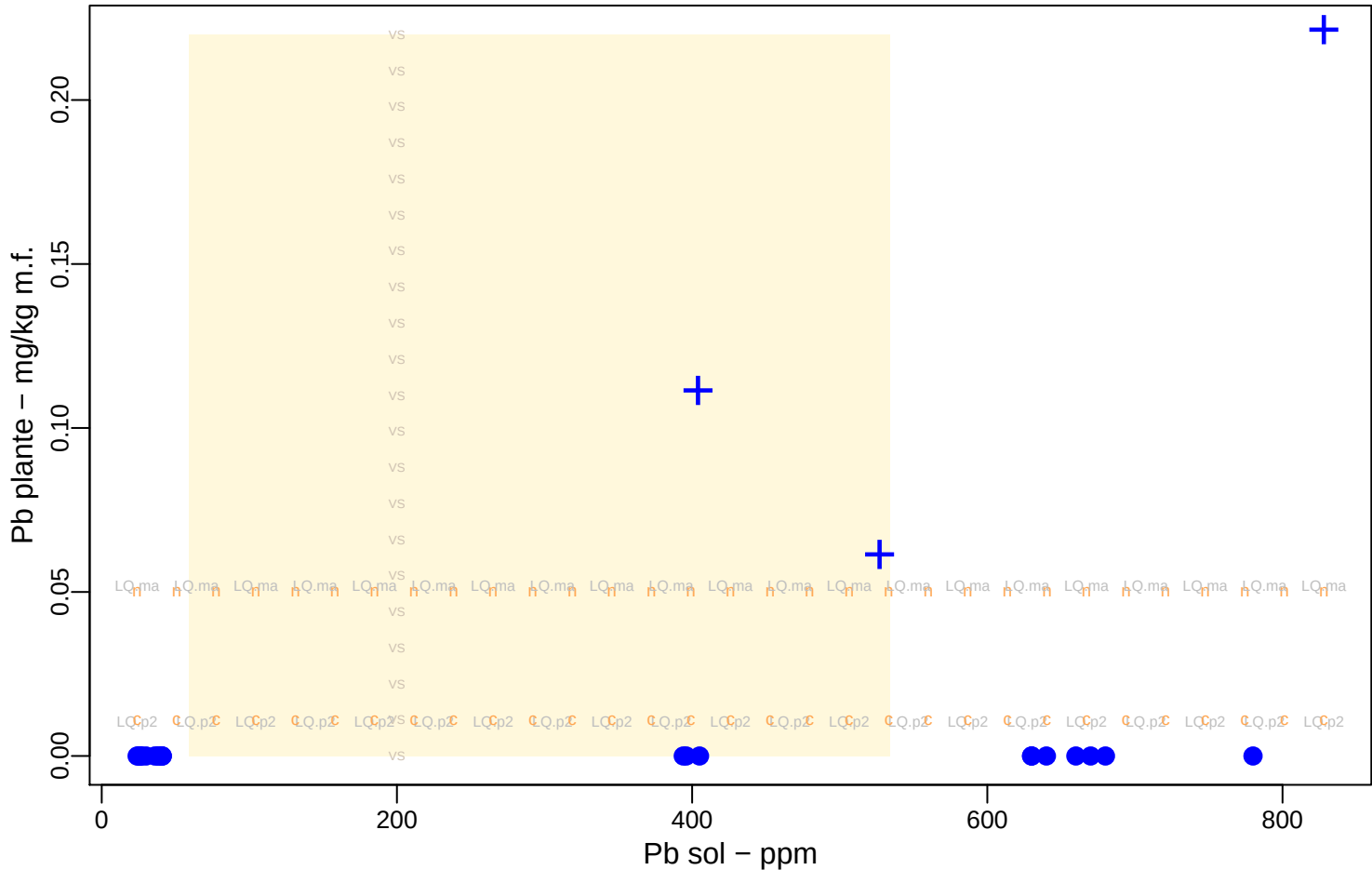
Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/24)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=3 (/24)

Poivron

Analyse du végétal

+ (n=3)

• <LQ (n=21)

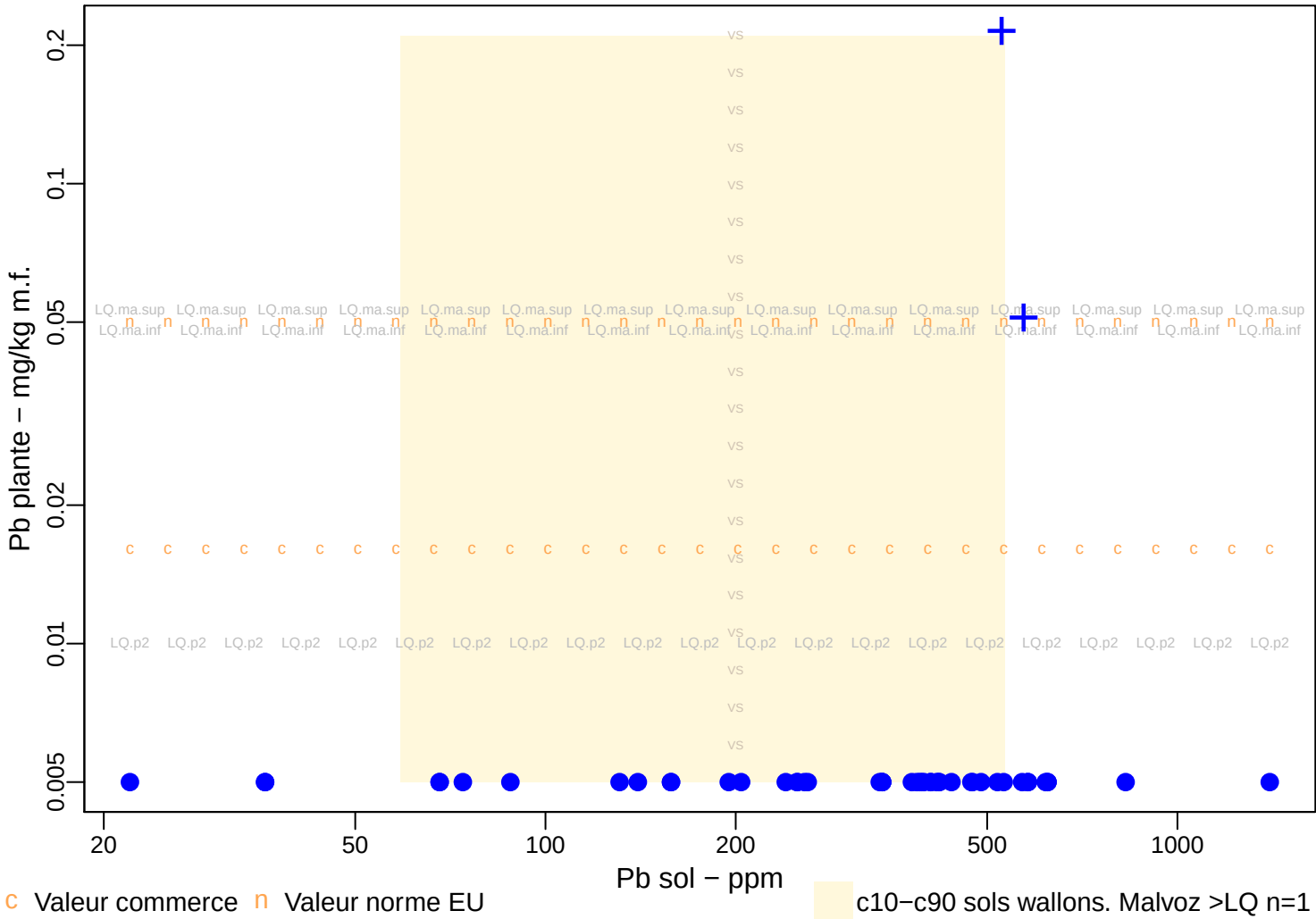
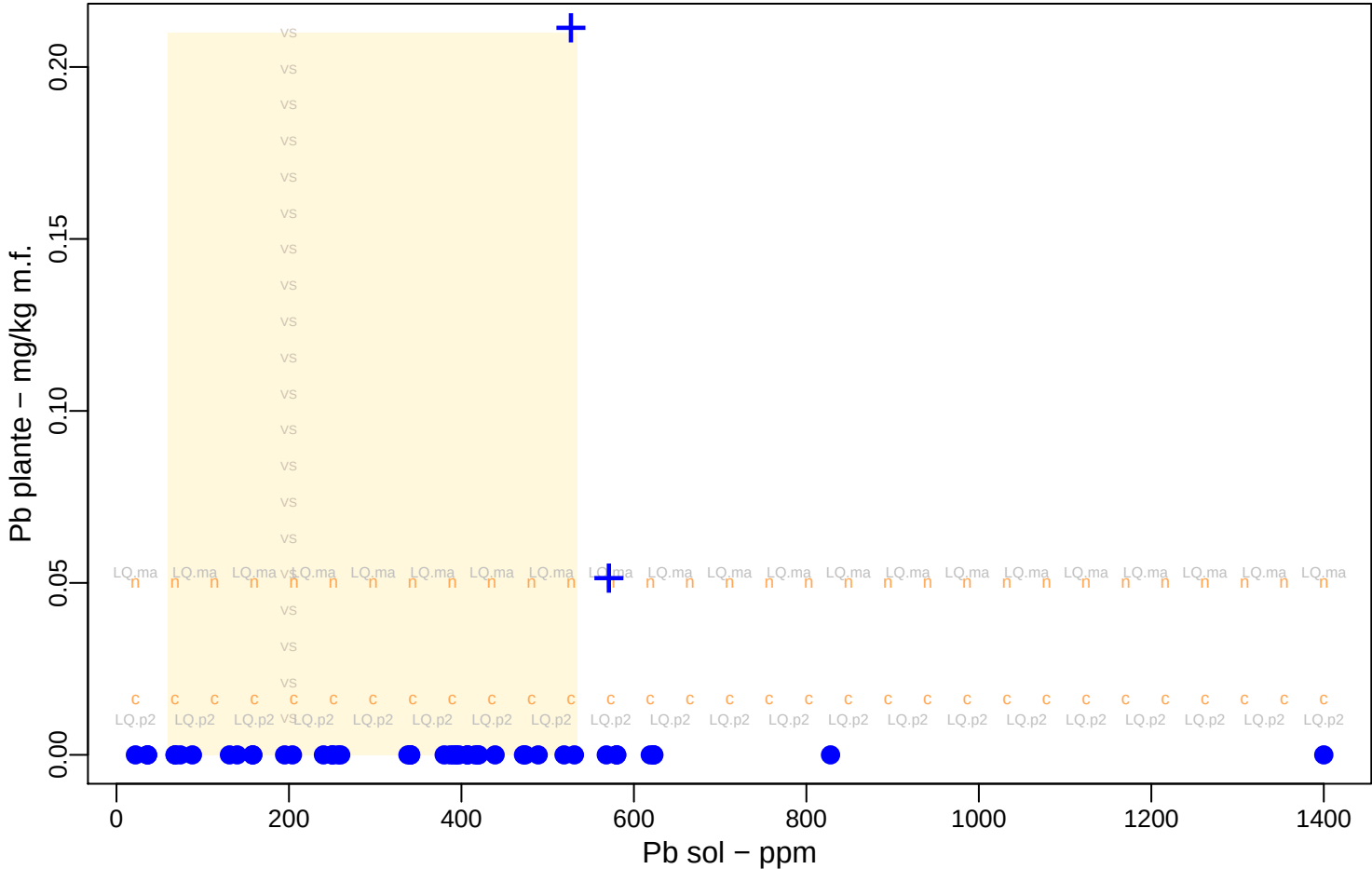


Bressoux : n=23 (/48)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/48)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=2 (/48)

Tomate

Analyse du végétal

+ (n=2) • <LQ (n=46)



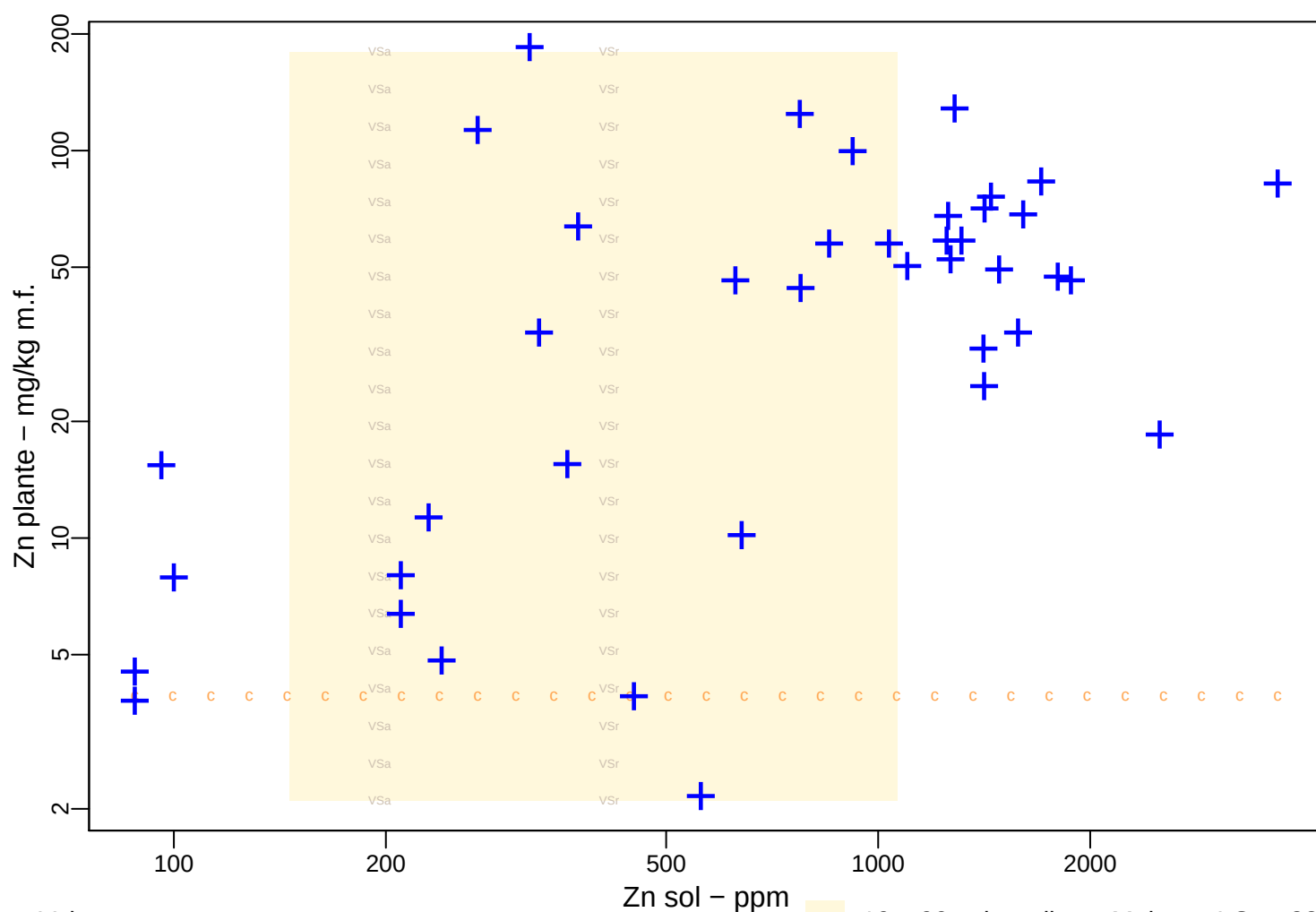
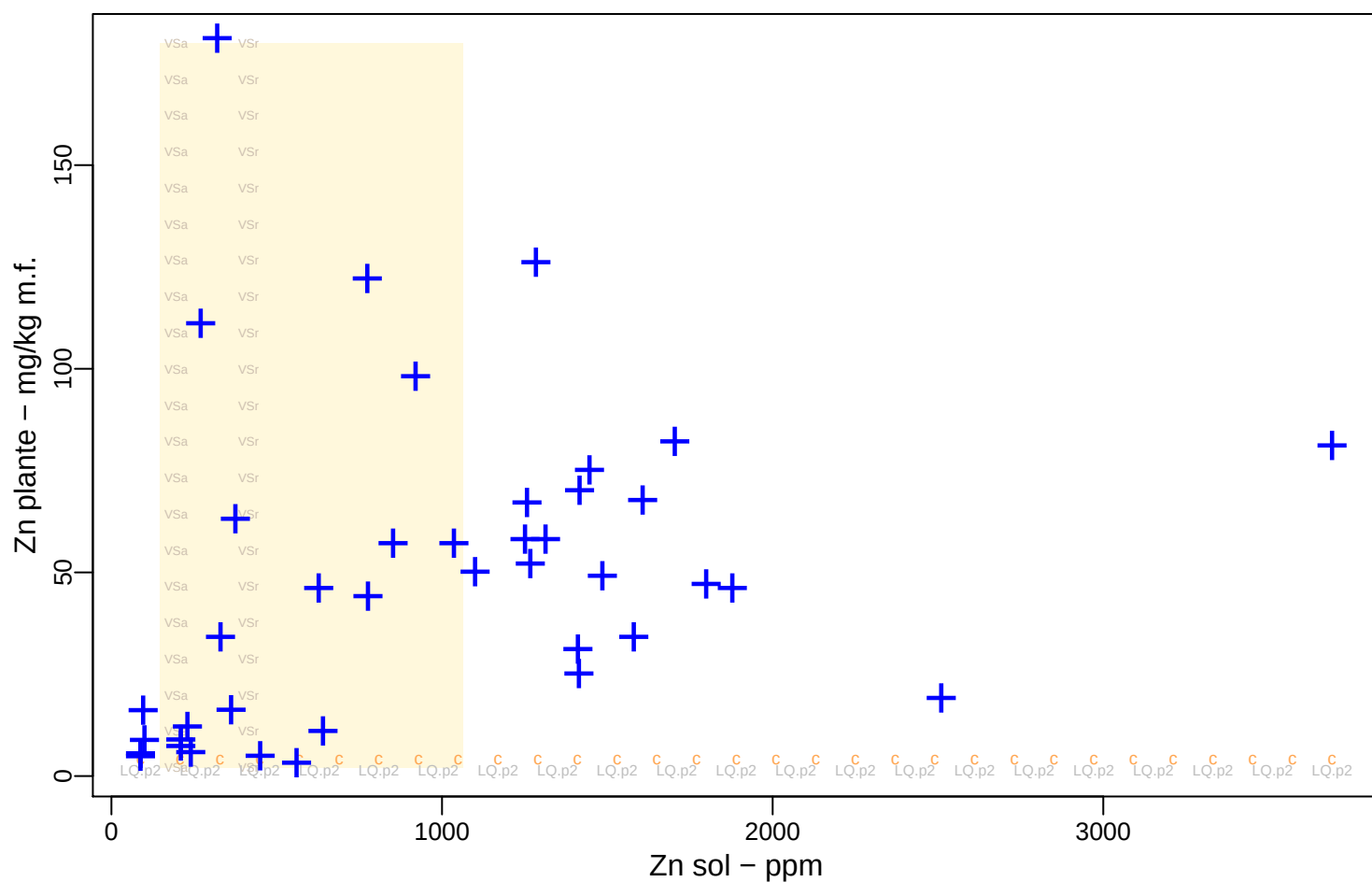
Bressoux : n=19 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Bette

Analyse du végétal

+ (n=40)

- $<LQ$ ($n=0$)



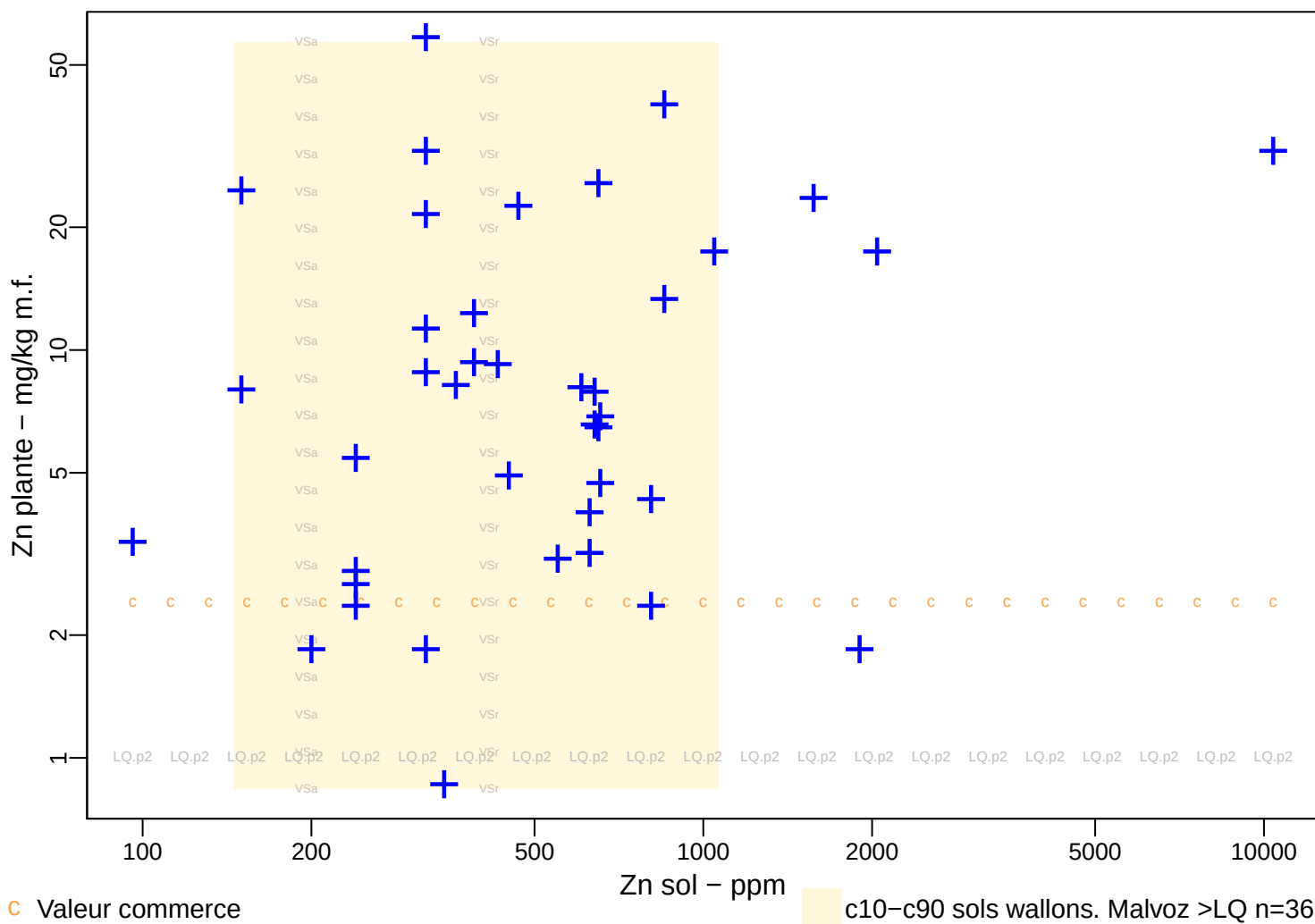
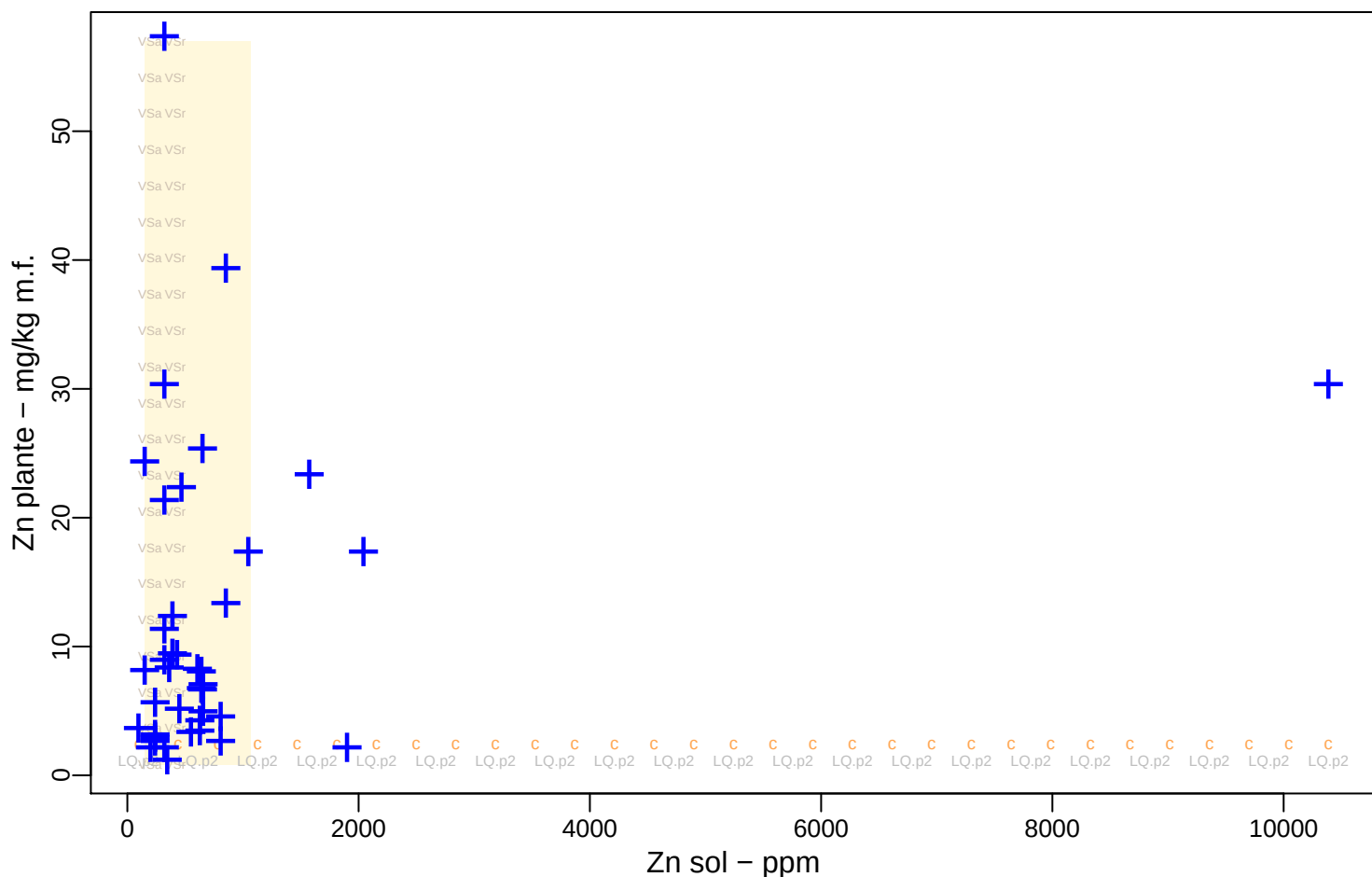
c Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=22

Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Chou

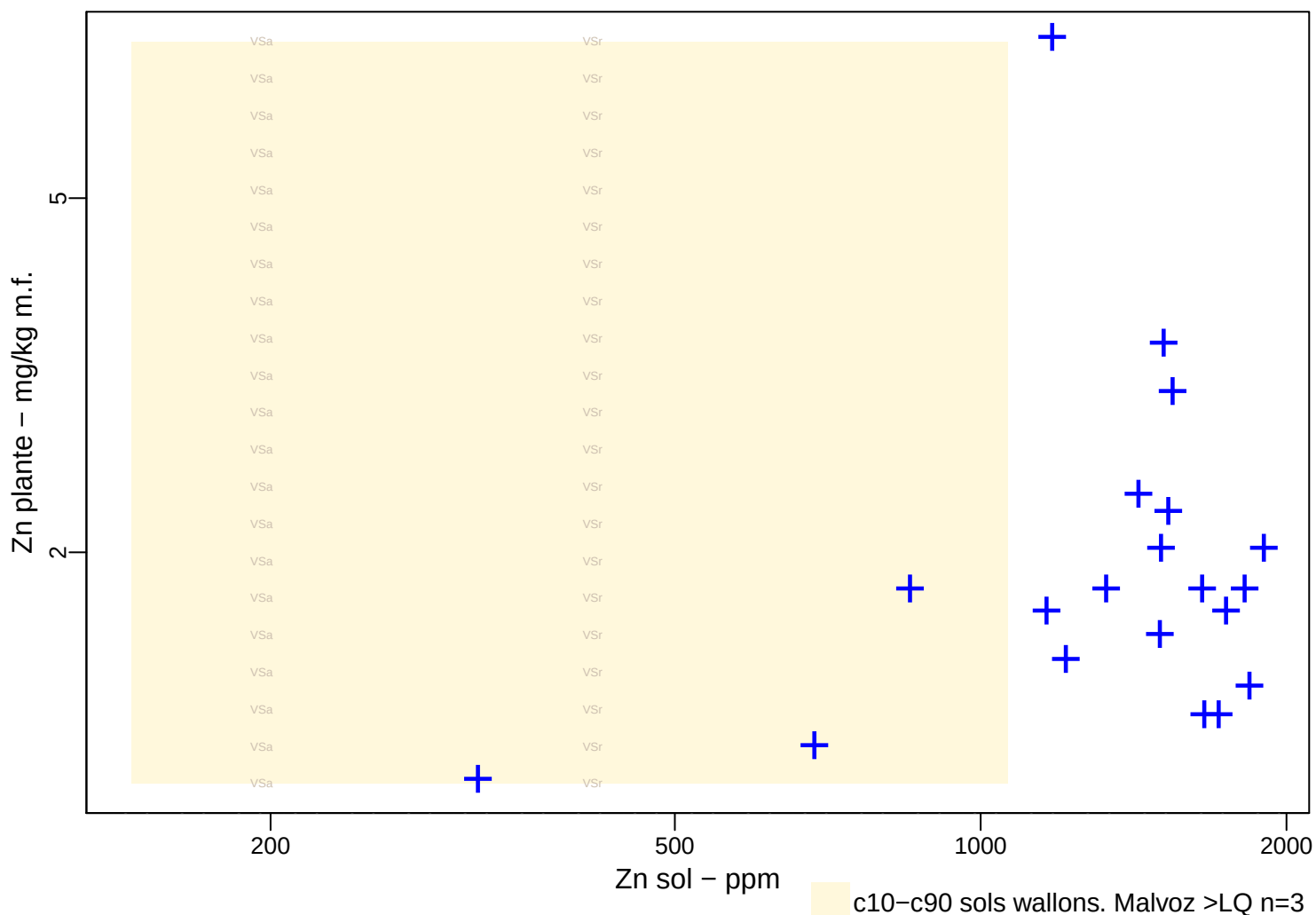
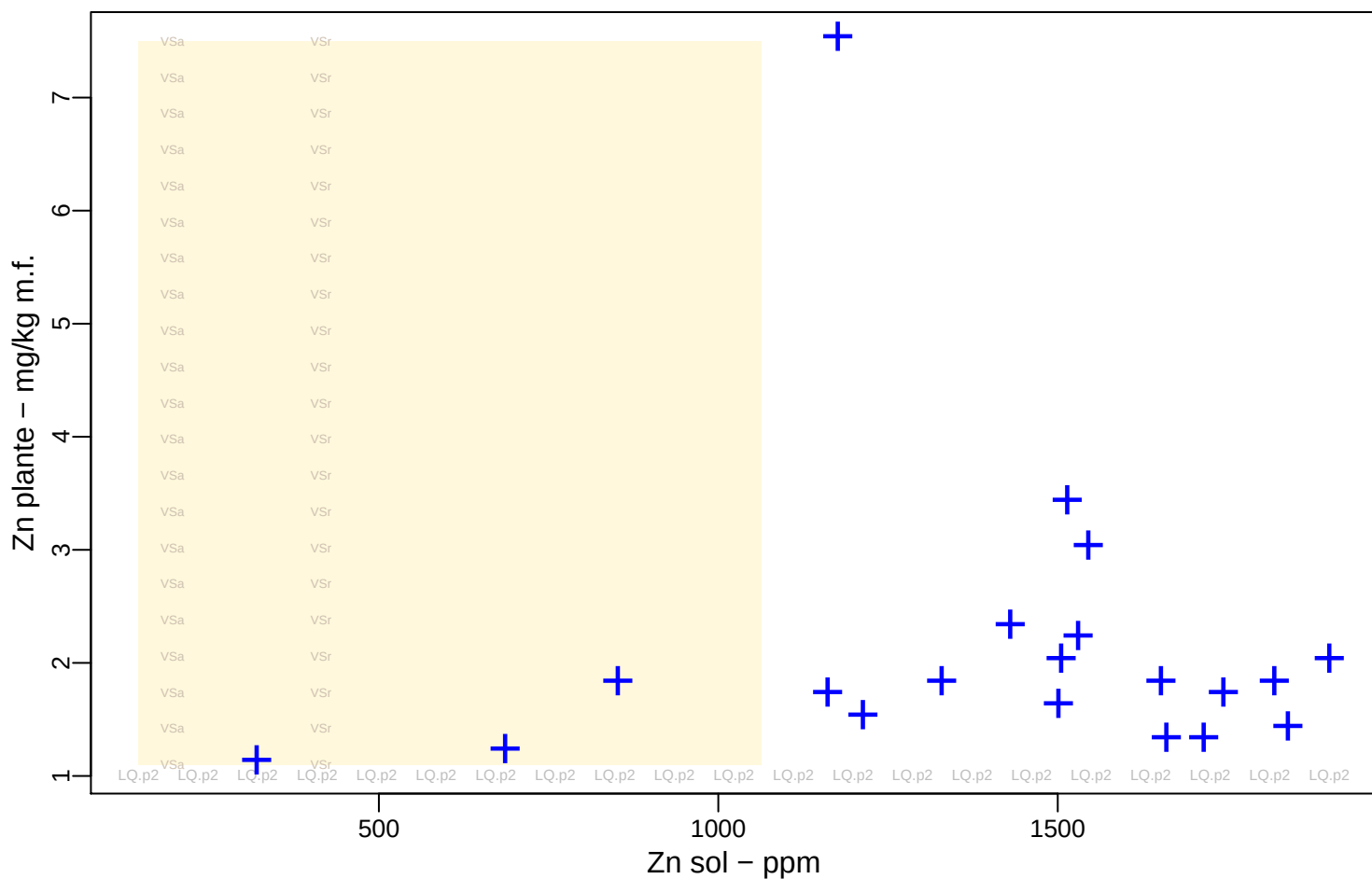
Analyse du végétal
+ (n=40) ● <LQ (n=0)



Bressoux : n=17 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Fraise

Analyse du végétal
+ (n=20) ● <LQ (n=0)

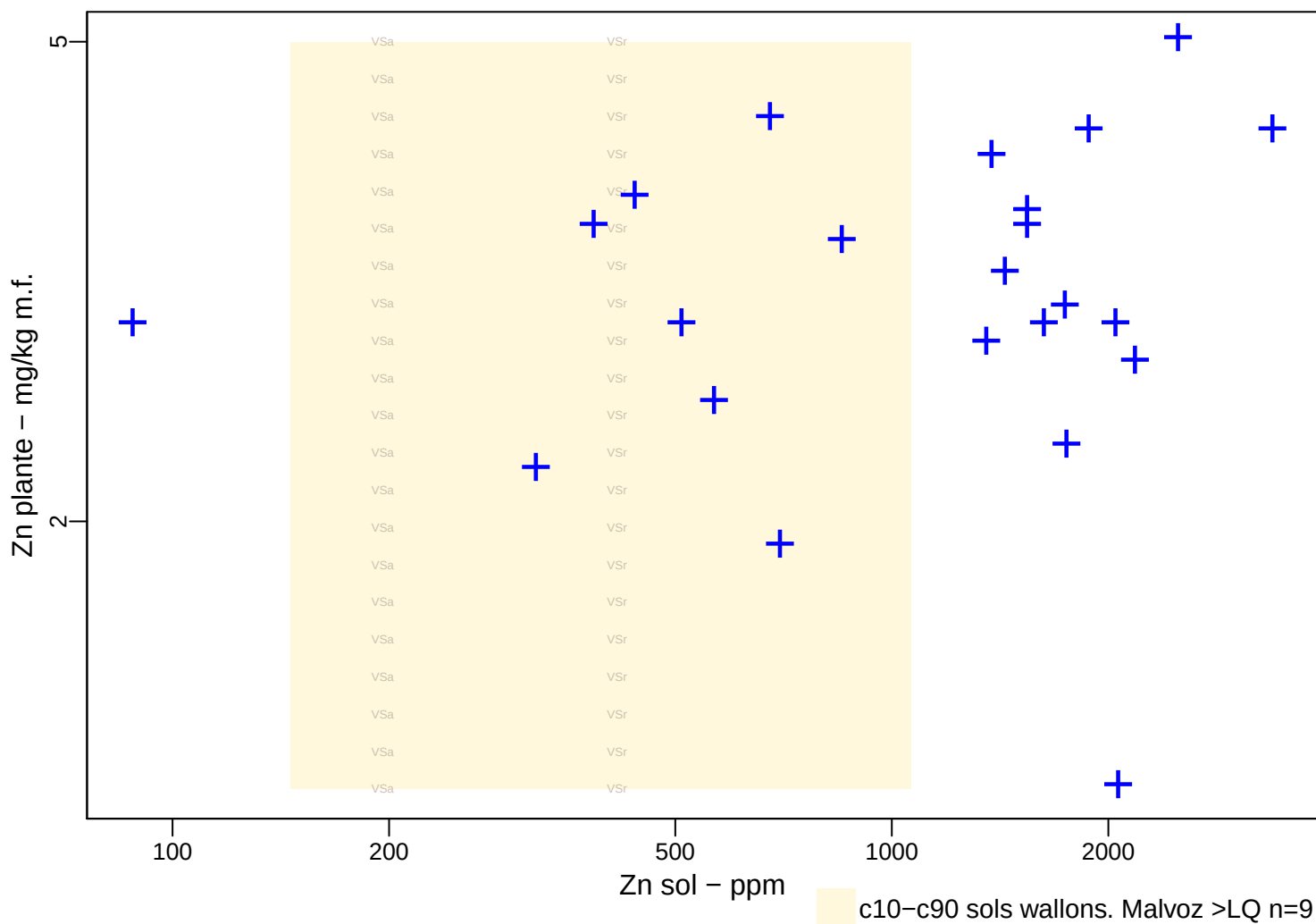
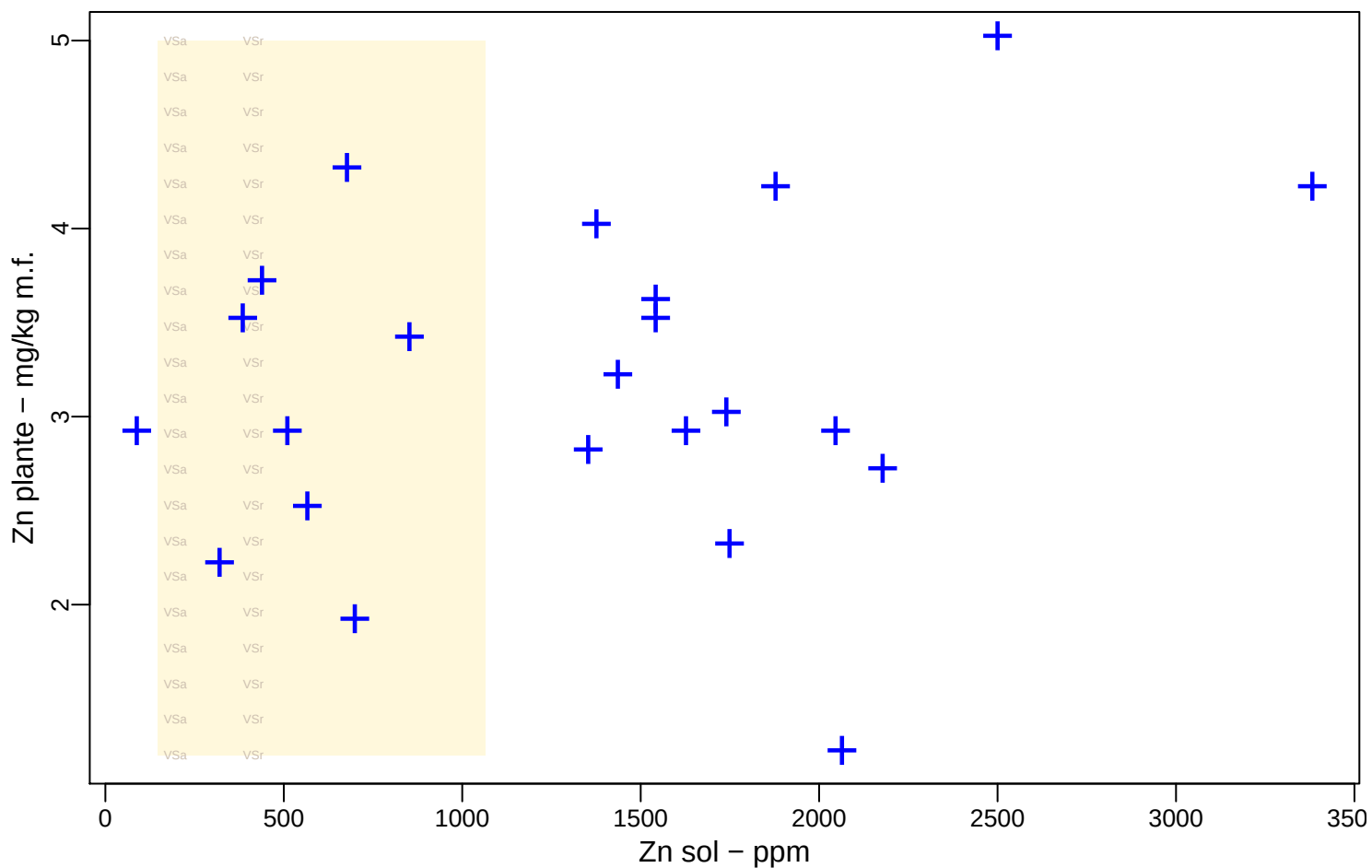


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=3

Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/23)

Framboise

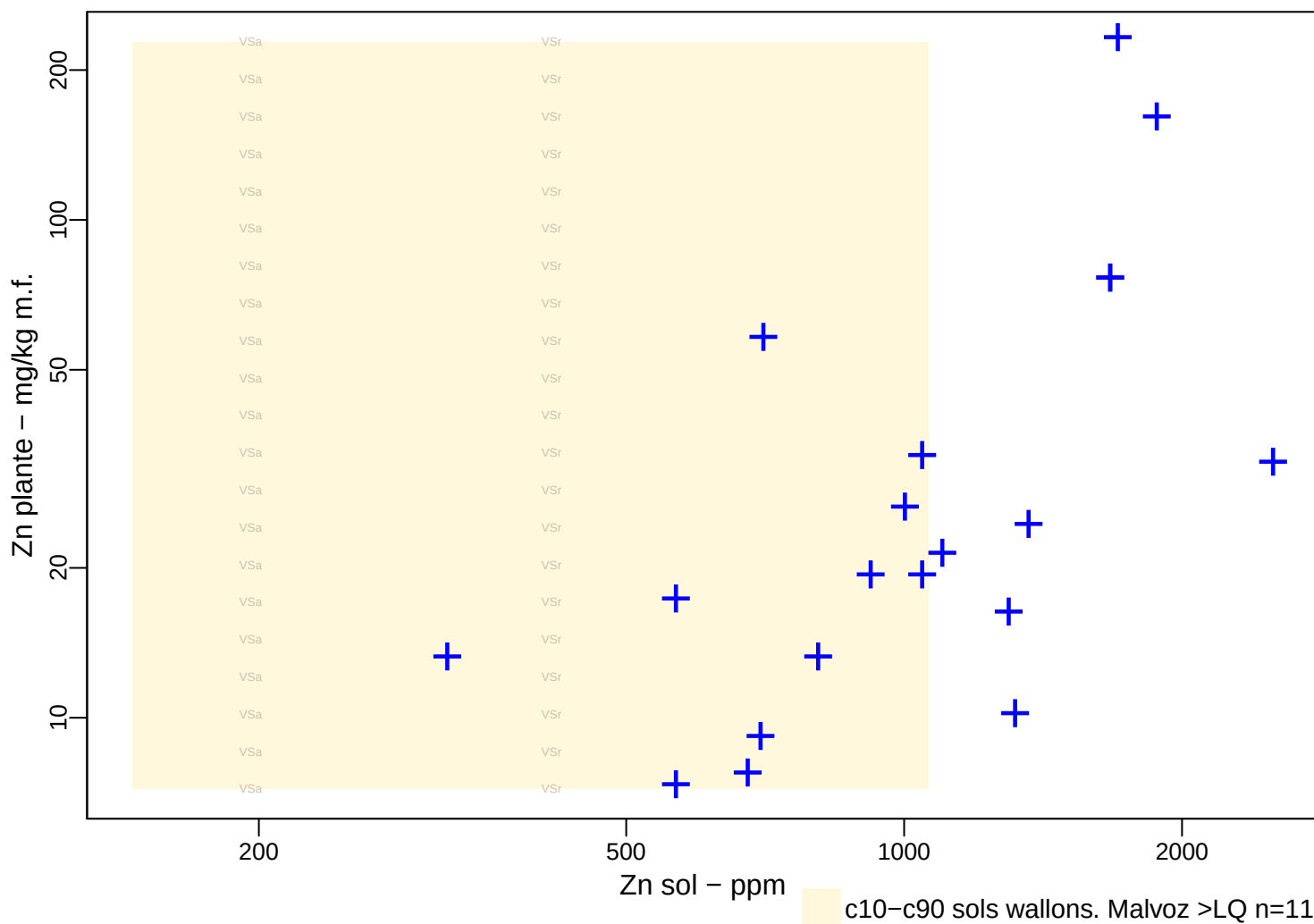
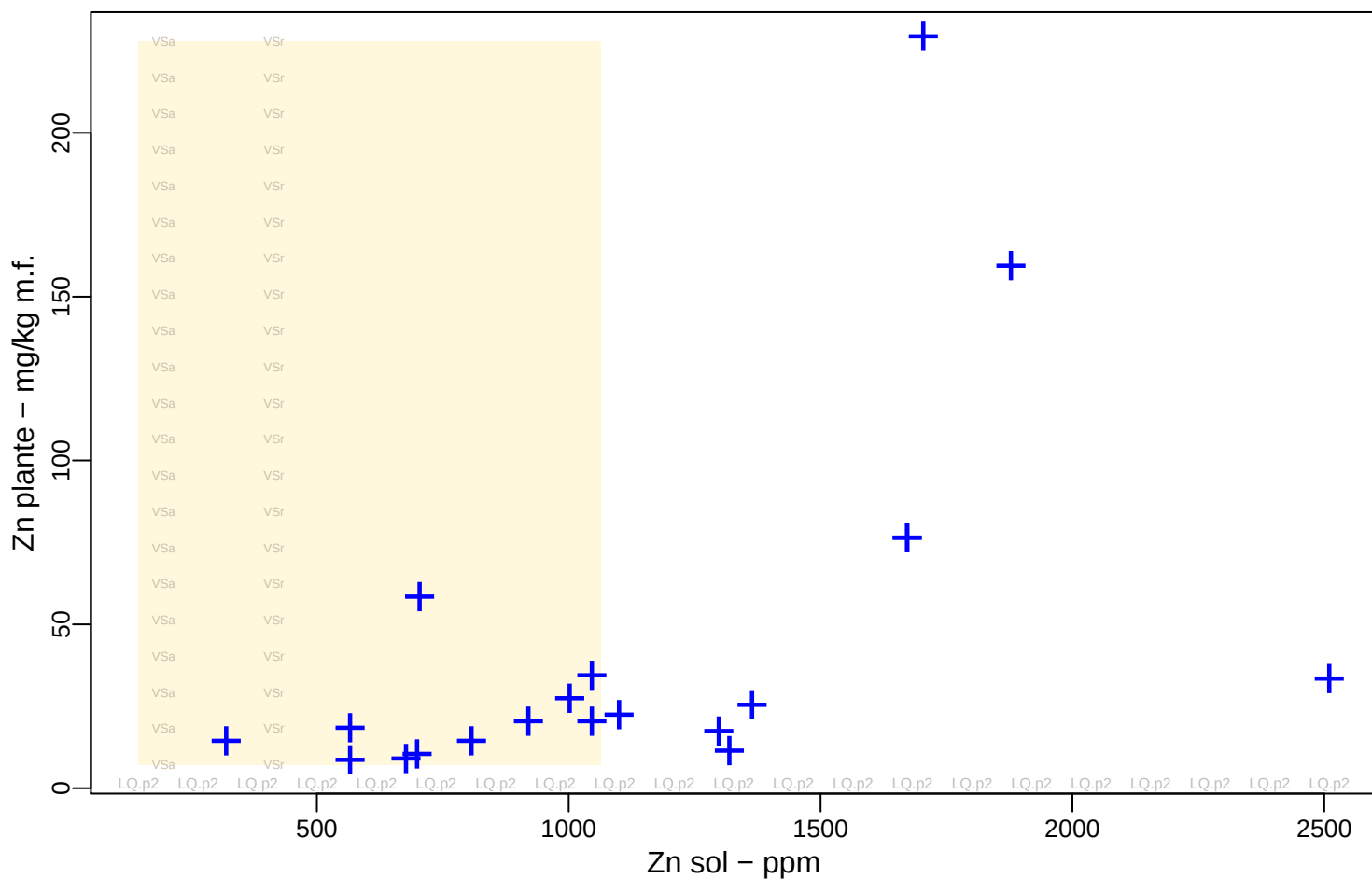
Analyse du végétal
+ (n=23) ● <LQ (n=0)



Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=20) ● <LQ (n=0)

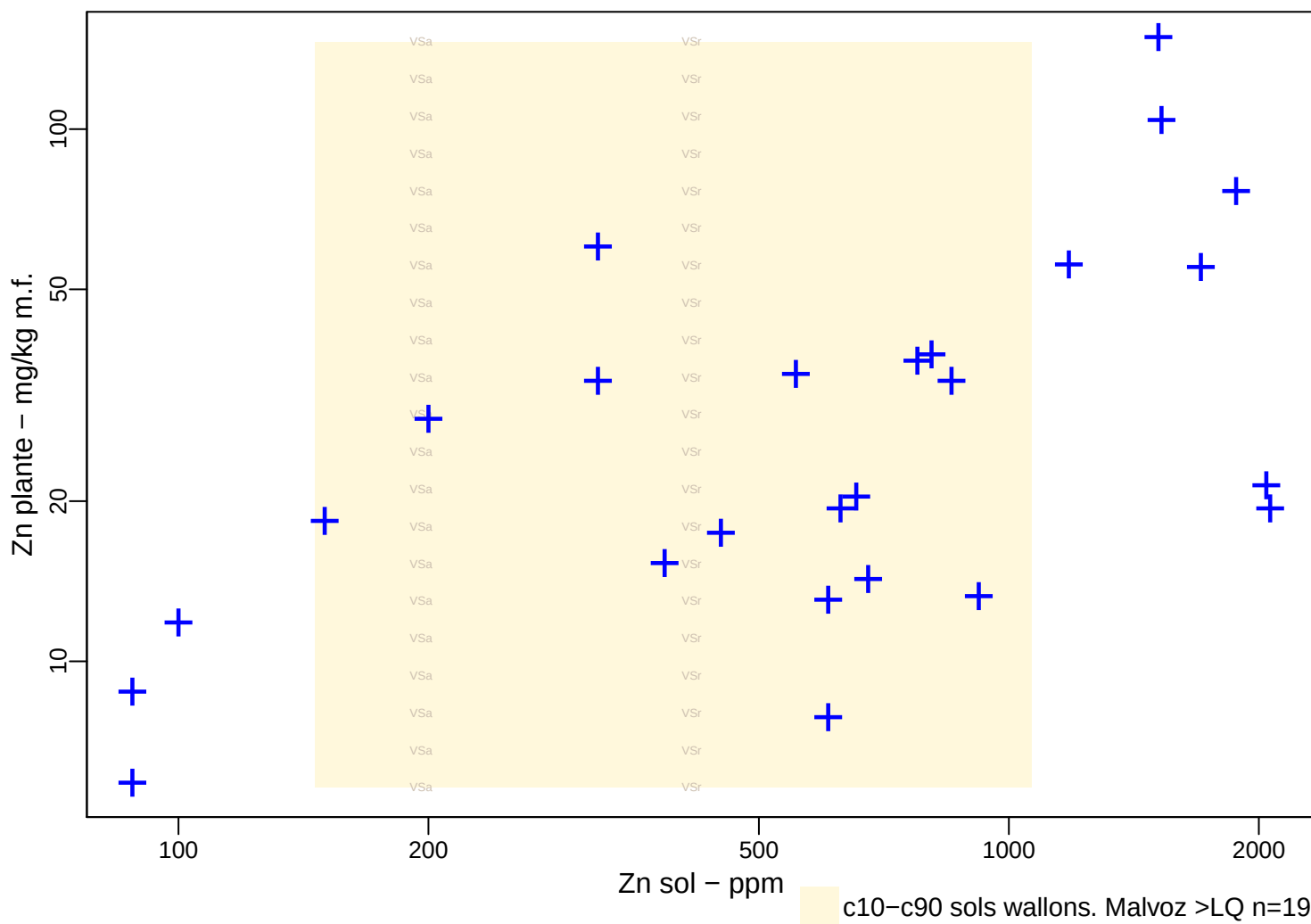
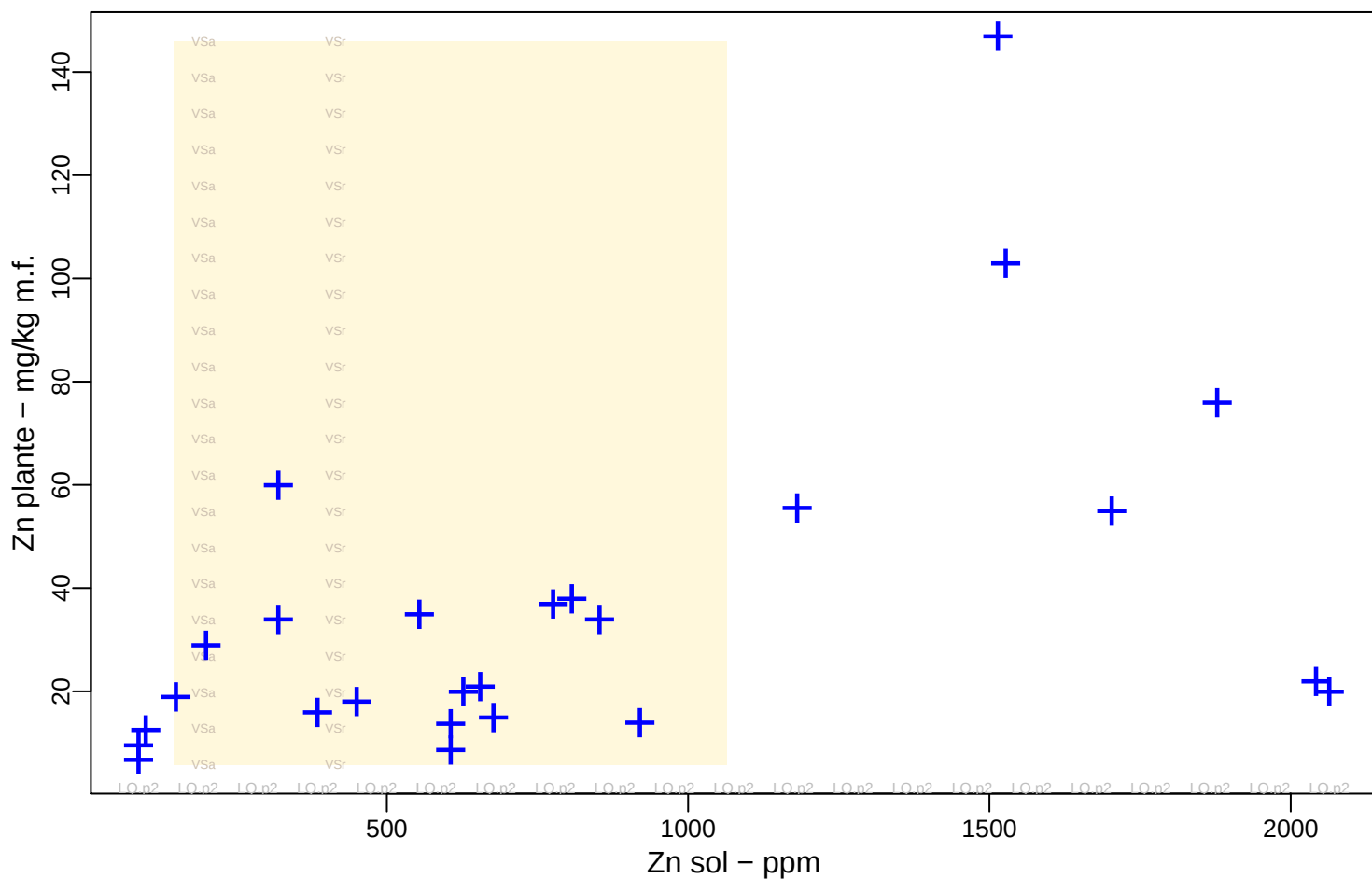


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=11

Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/26)

Persil

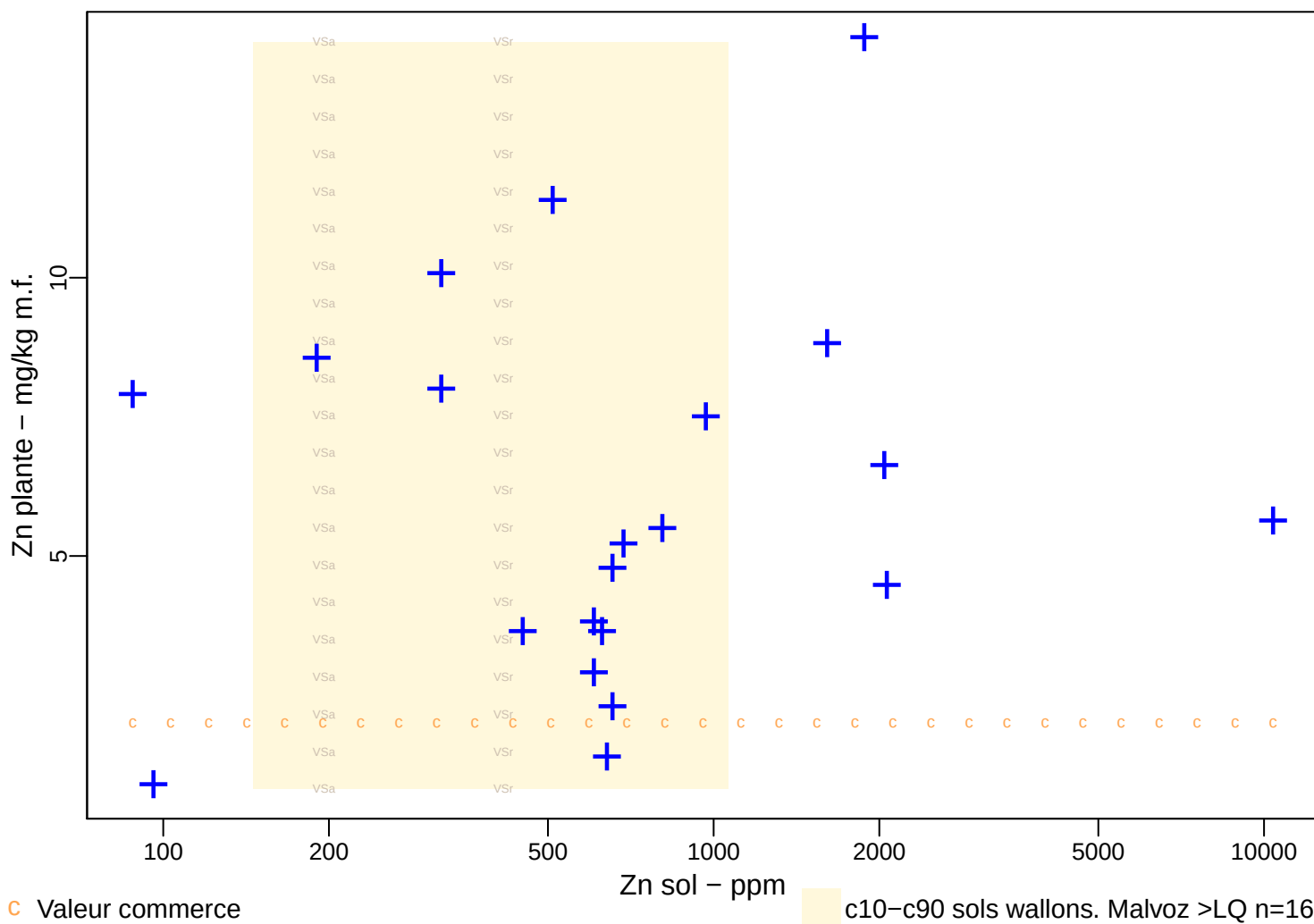
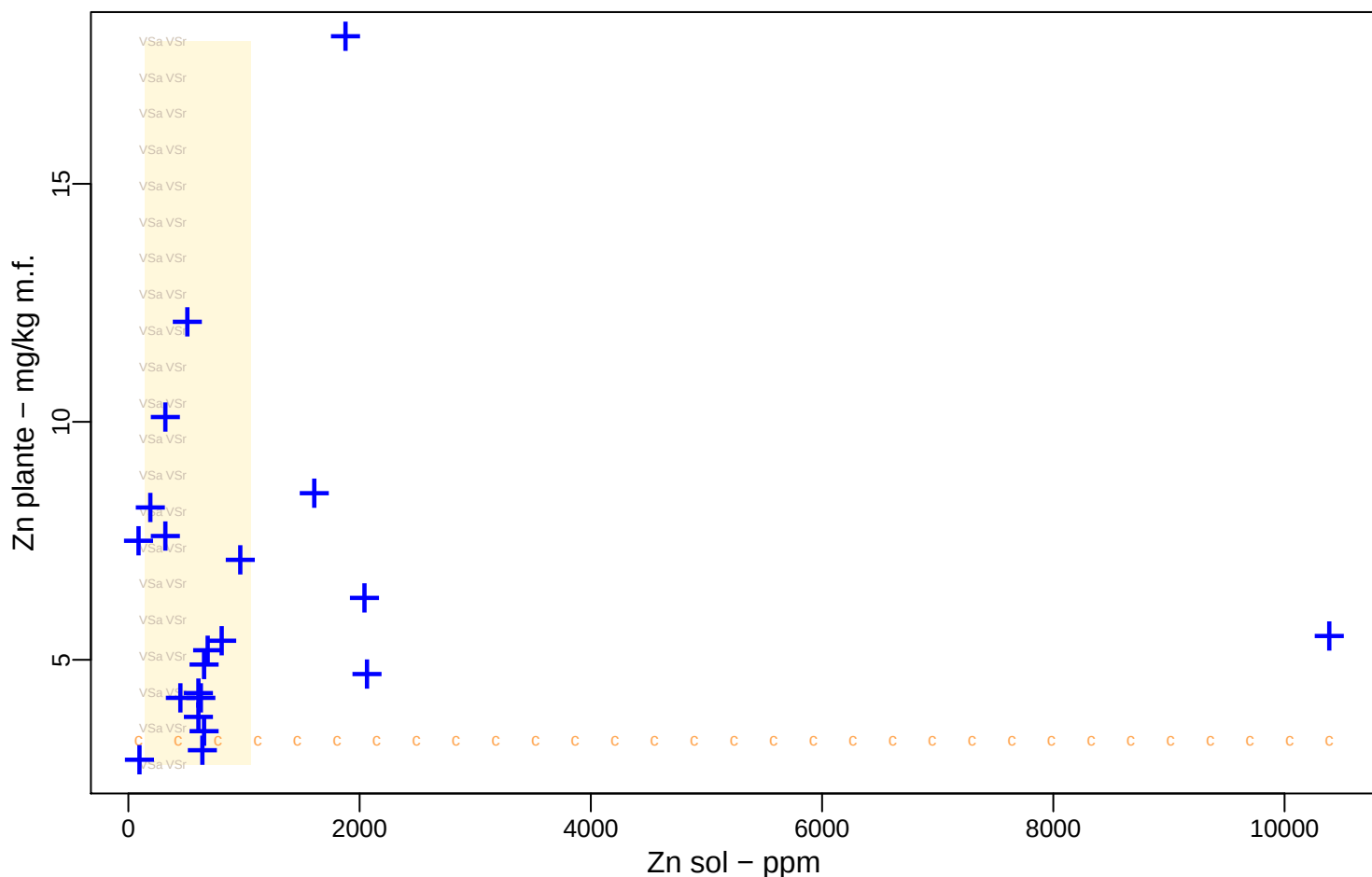
Analyse du végétal
+ (n=26) ● <LQ (n=0)



Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)

Poireau

Analyse du végétal
+ (n=21) ● <LQ (n=0)



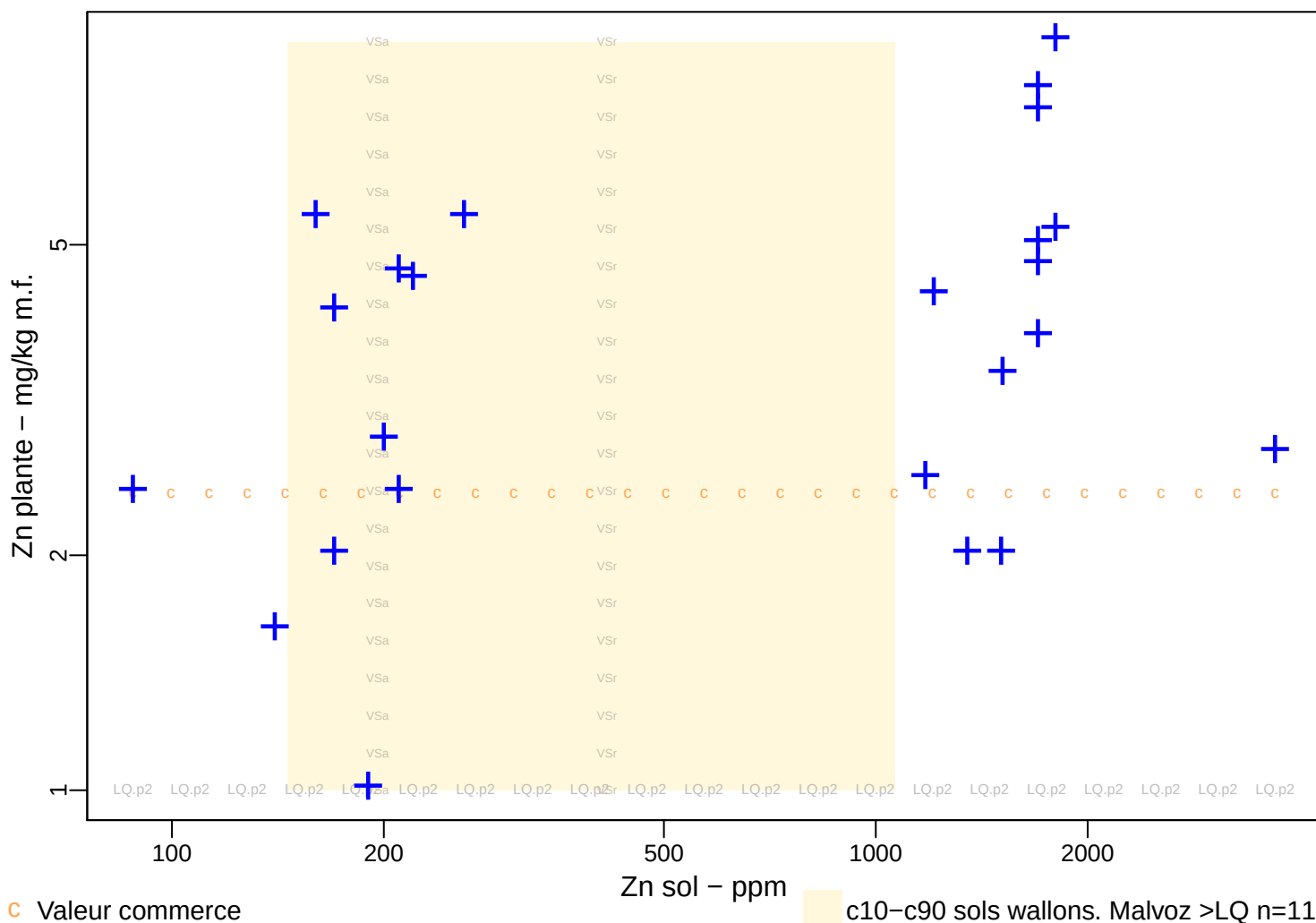
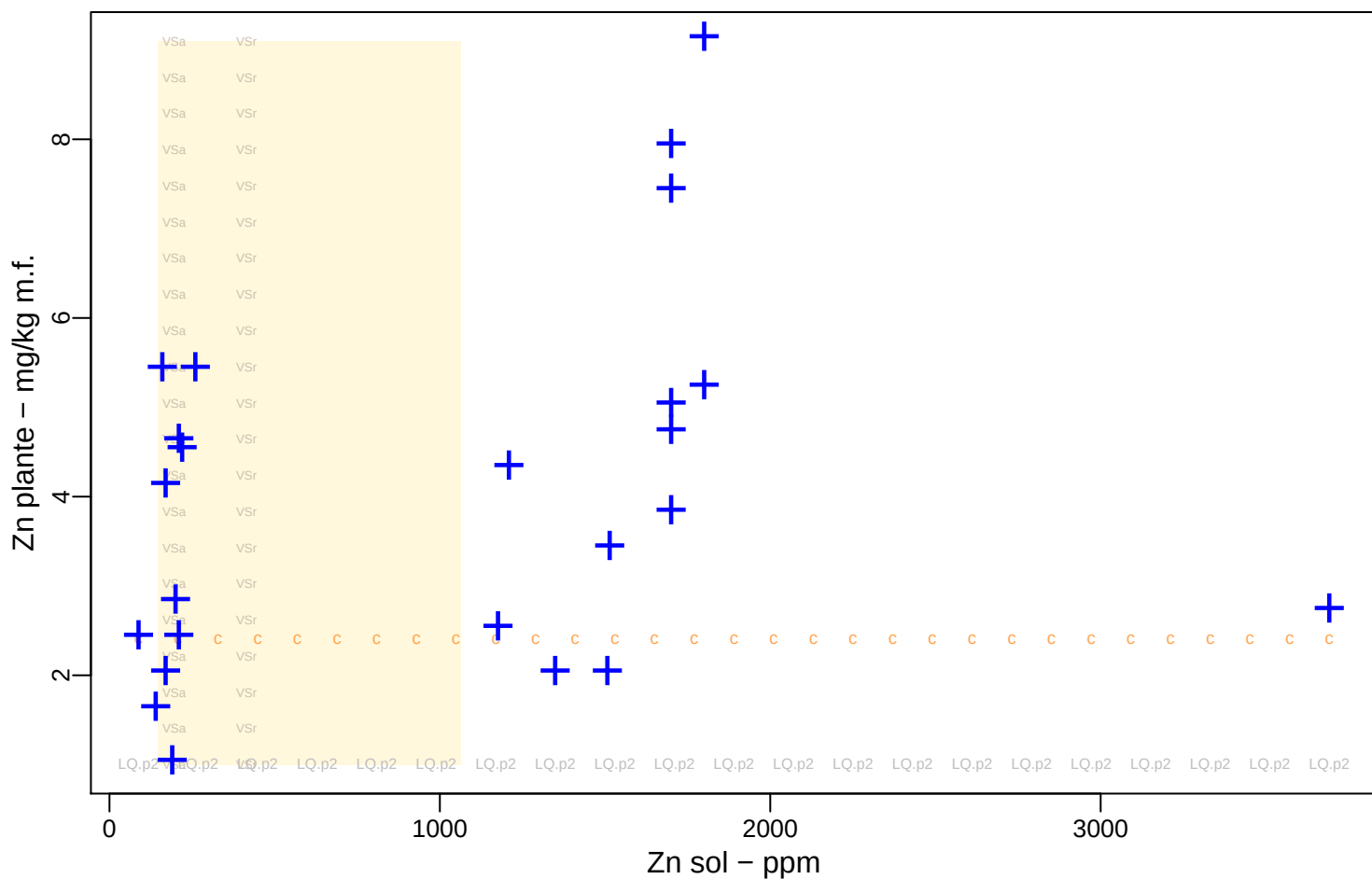
c Valeur commerce

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=16

Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/24)

Poivron

Analyse du végétal
+ (n=24) ● <LQ (n=0)

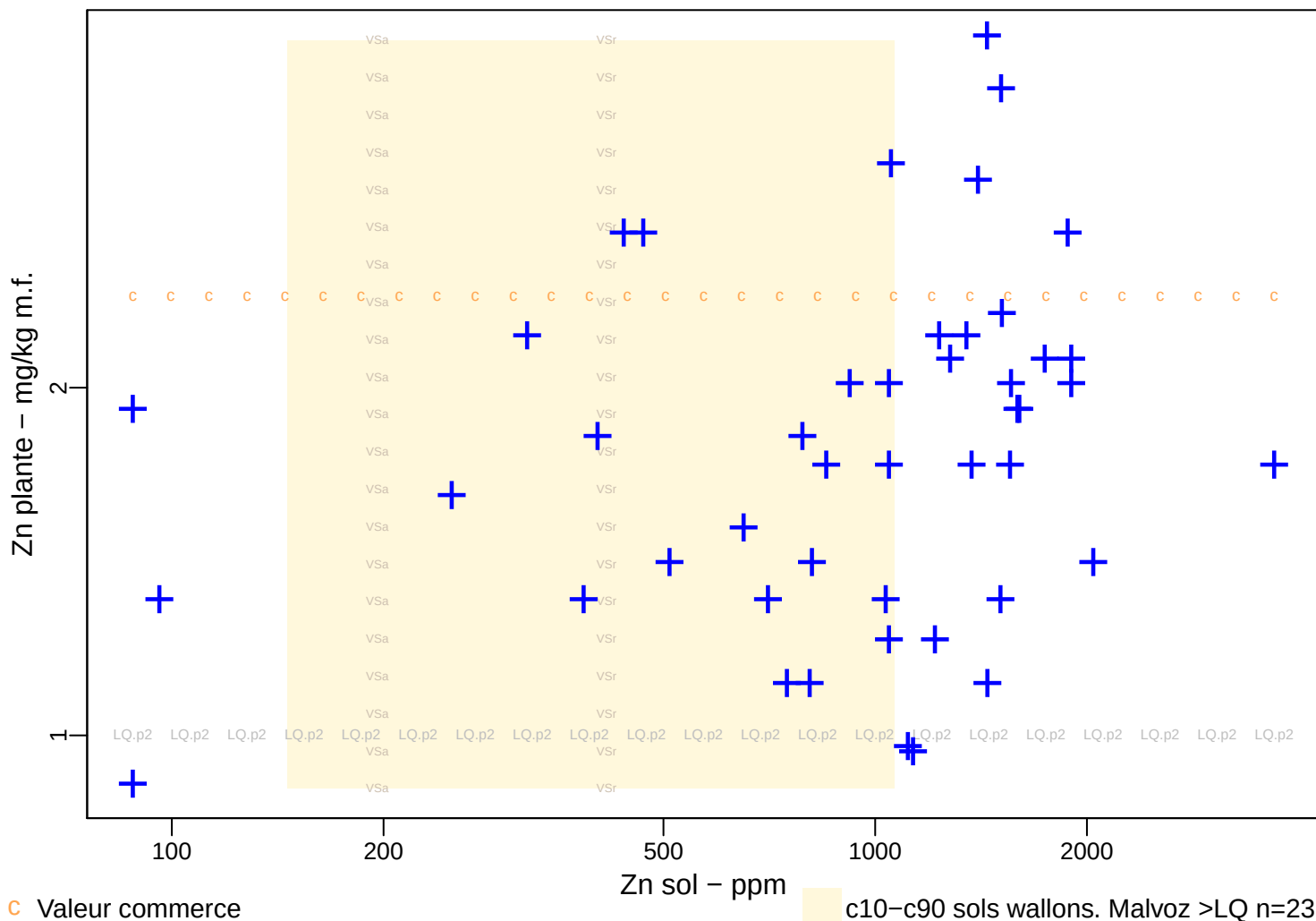
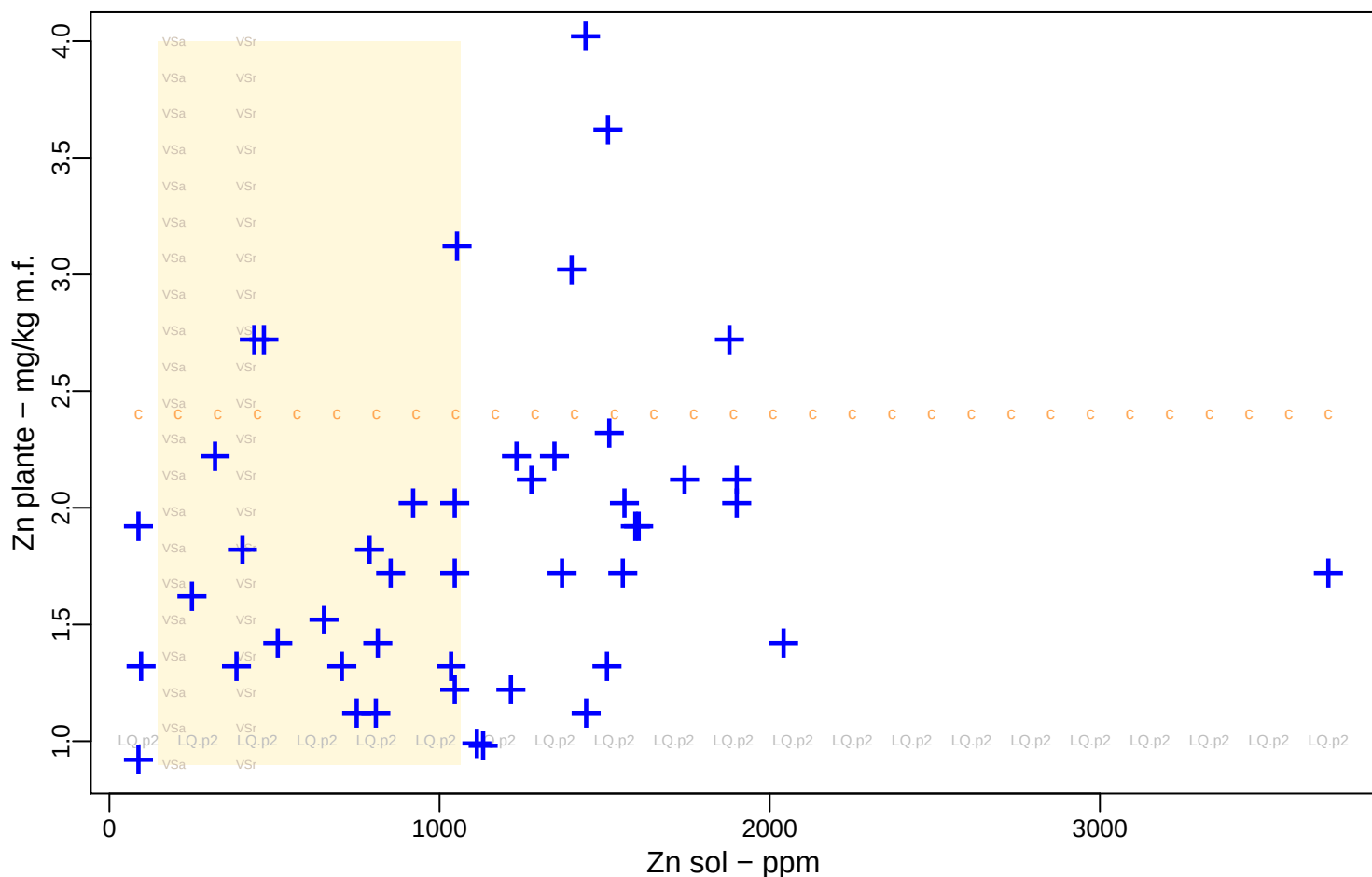


Bressoux : n=23 (/46)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/46)

Tomate

Analyse du végétal

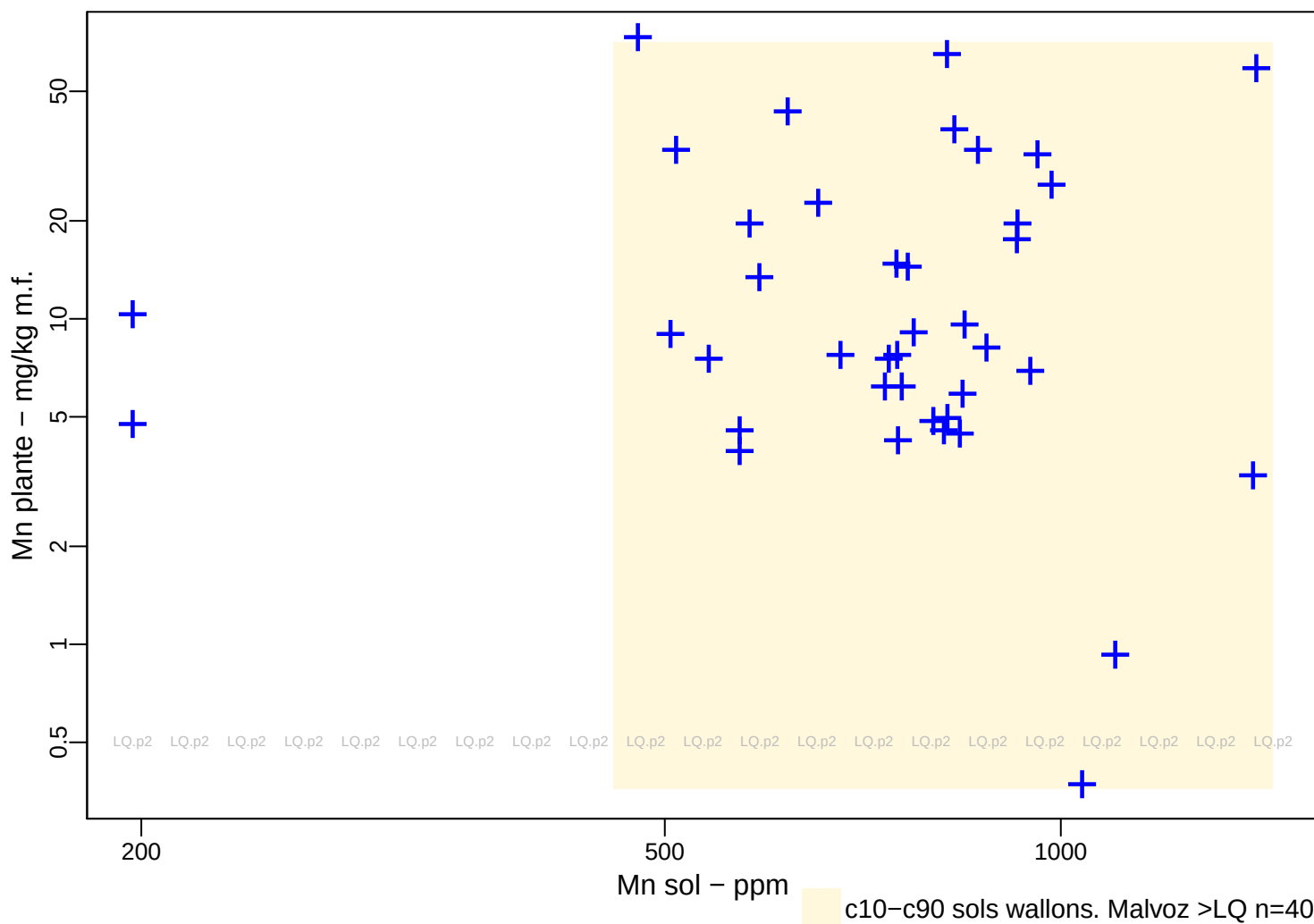
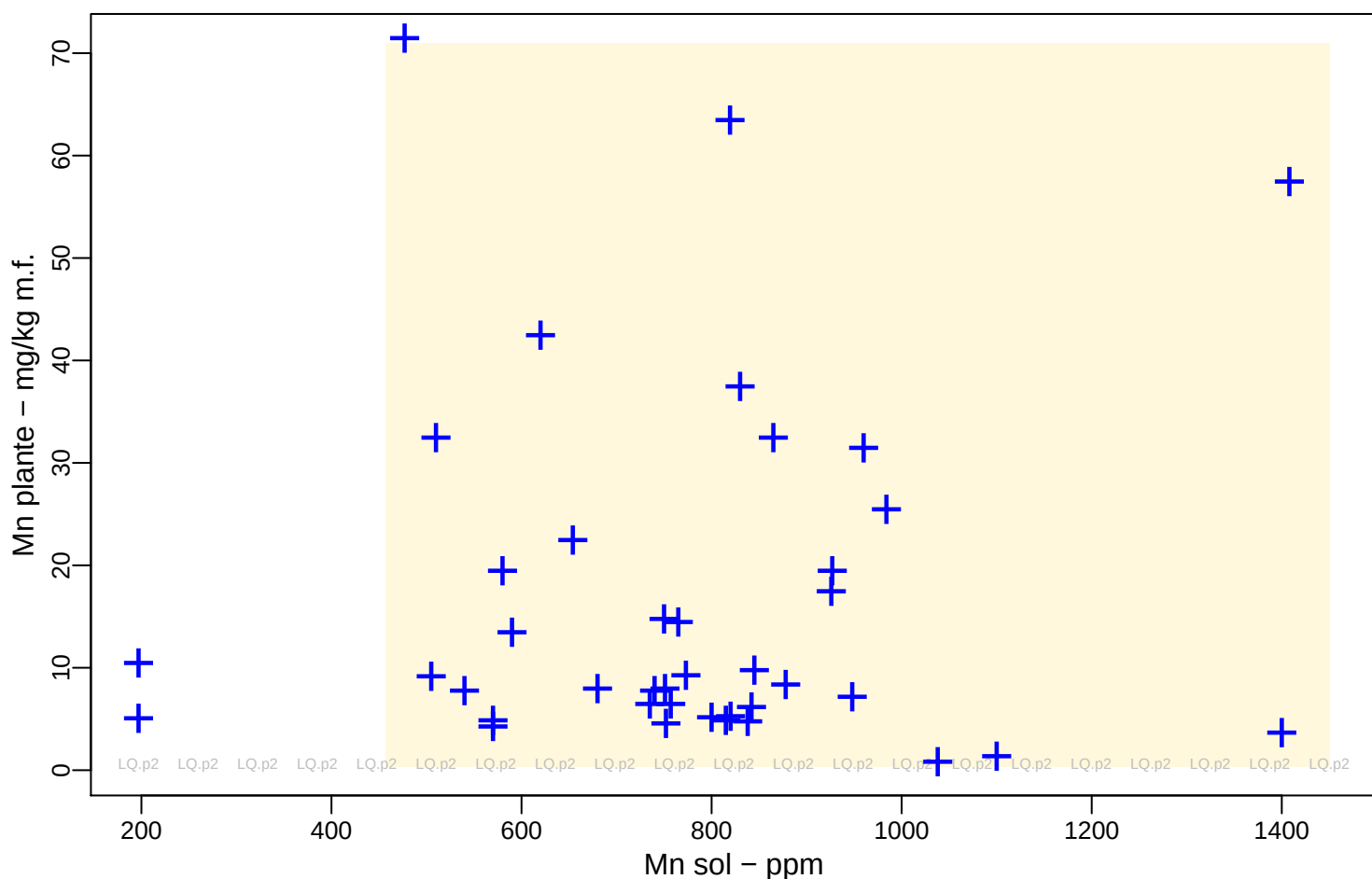
+ (n=46) ● <LQ (n=0)



Bressoux : n=19 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Bette

Analyse du végétal
+ (n=40) • <LQ (n=0)

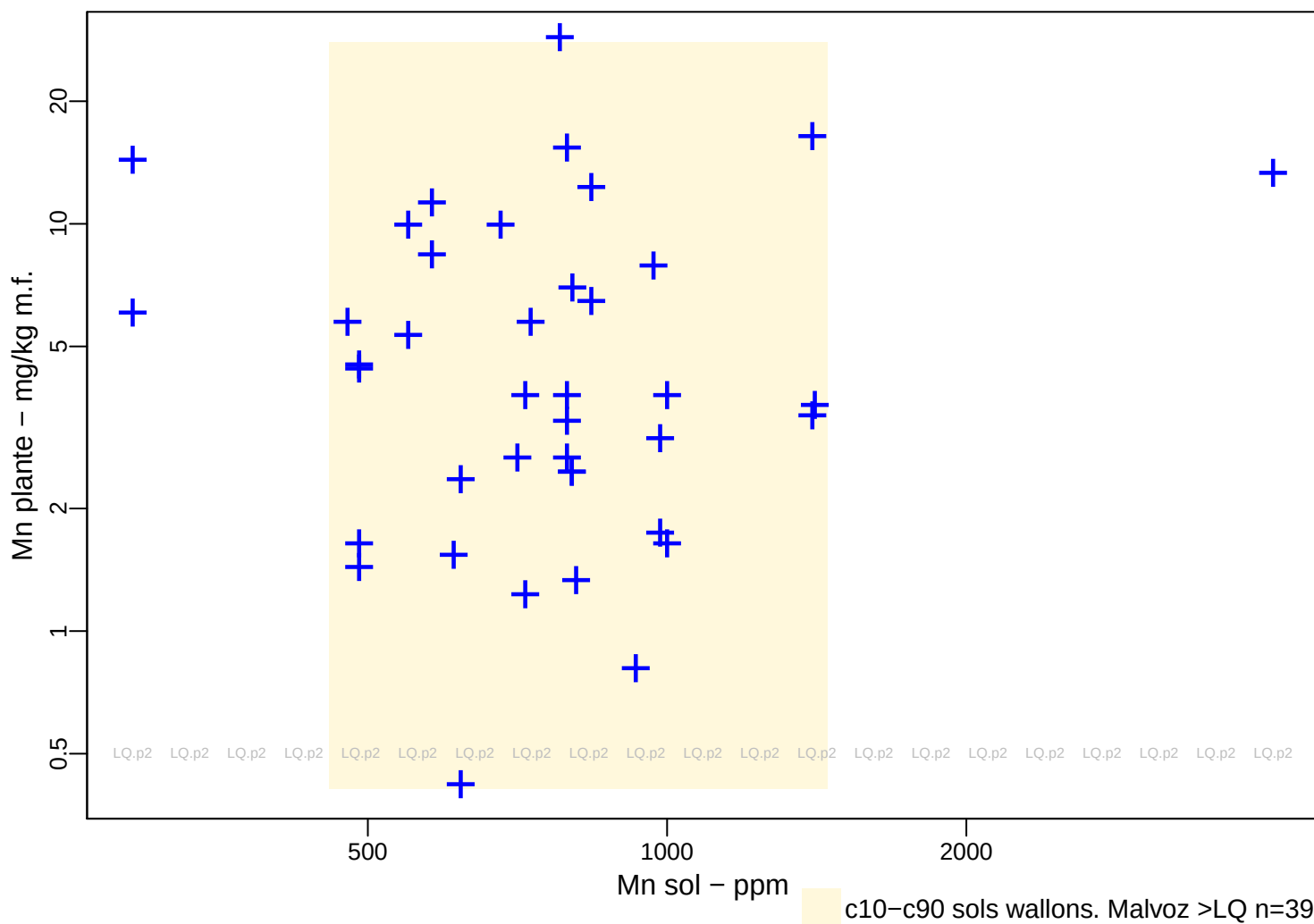
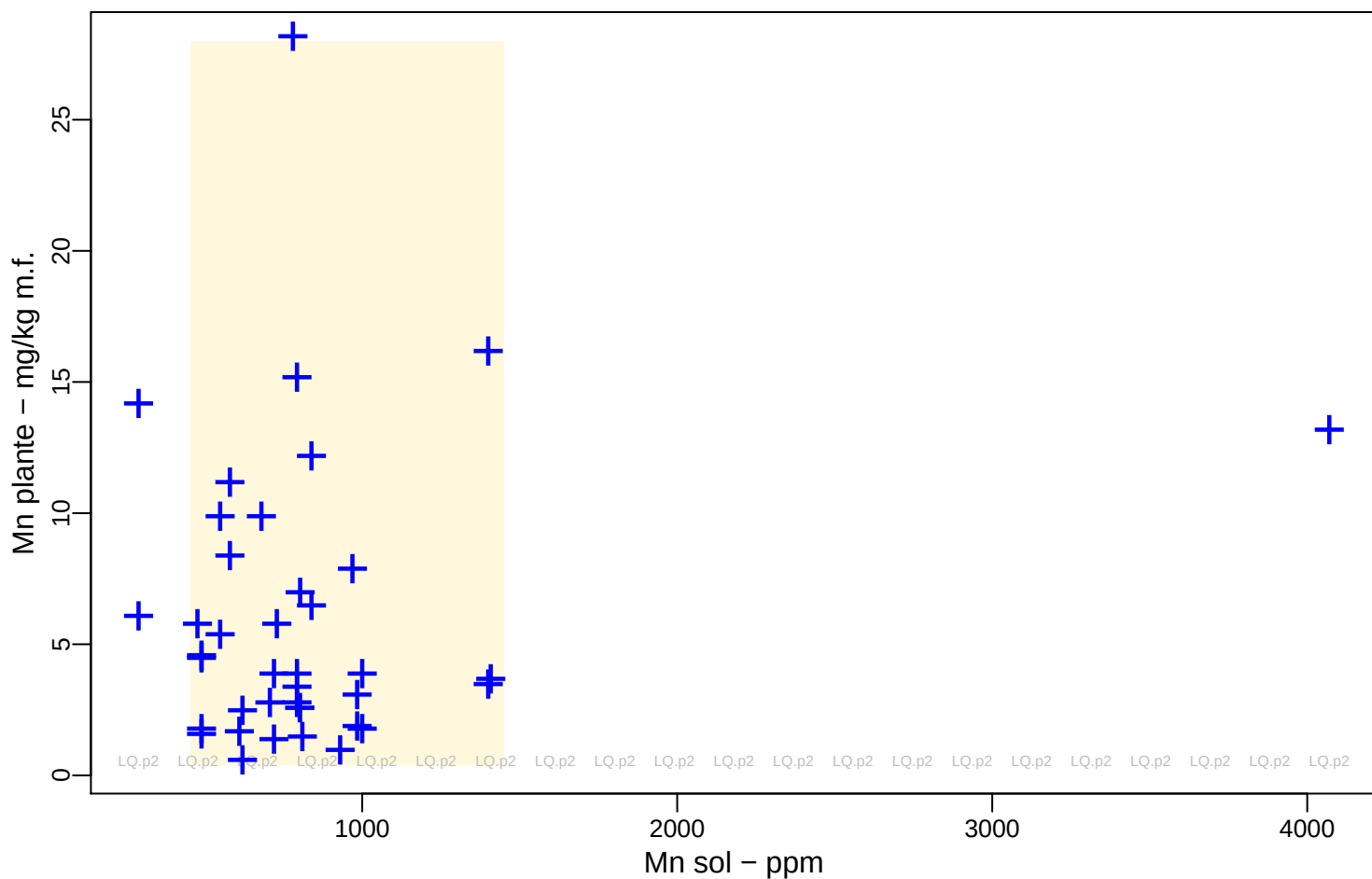


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=40

Bressoux : n=4 (/40)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/40)

Chou

Analyse du végétal
+ (n=40) • <LQ (n=0)

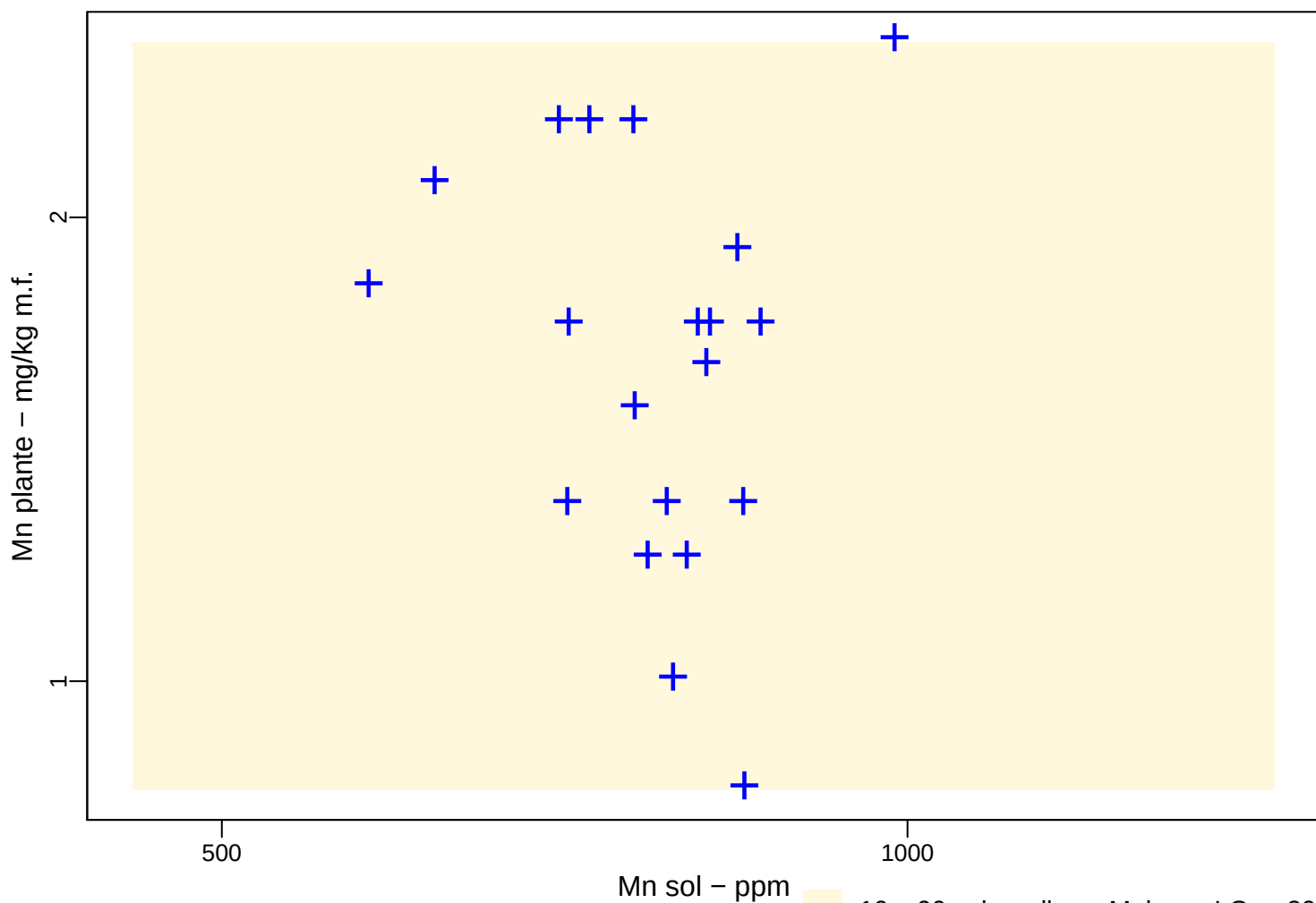
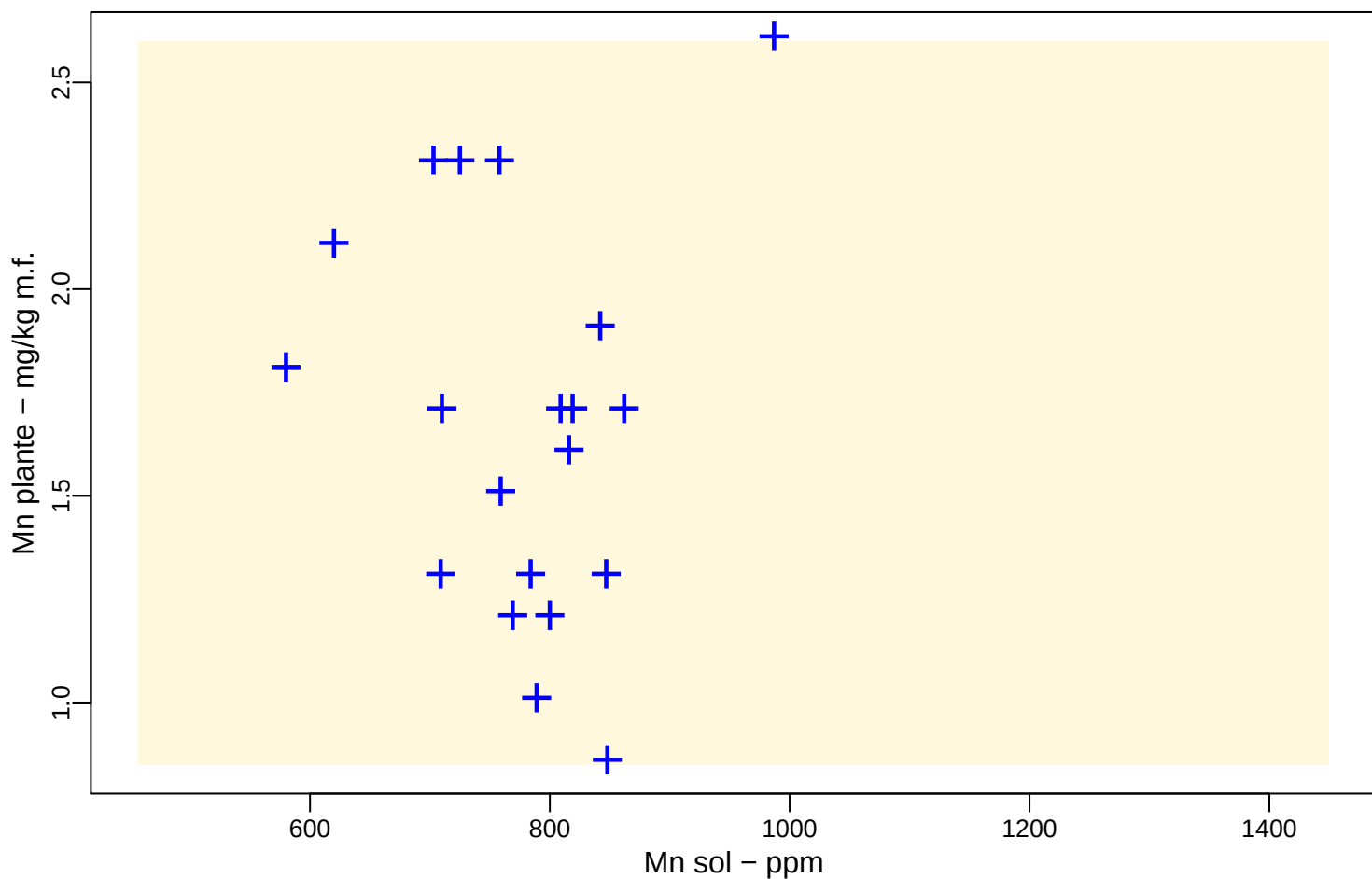


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=39

Bressoux : n=17 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Fraise

Analyse du végétal
+ (n=20) • <LQ (n=0)

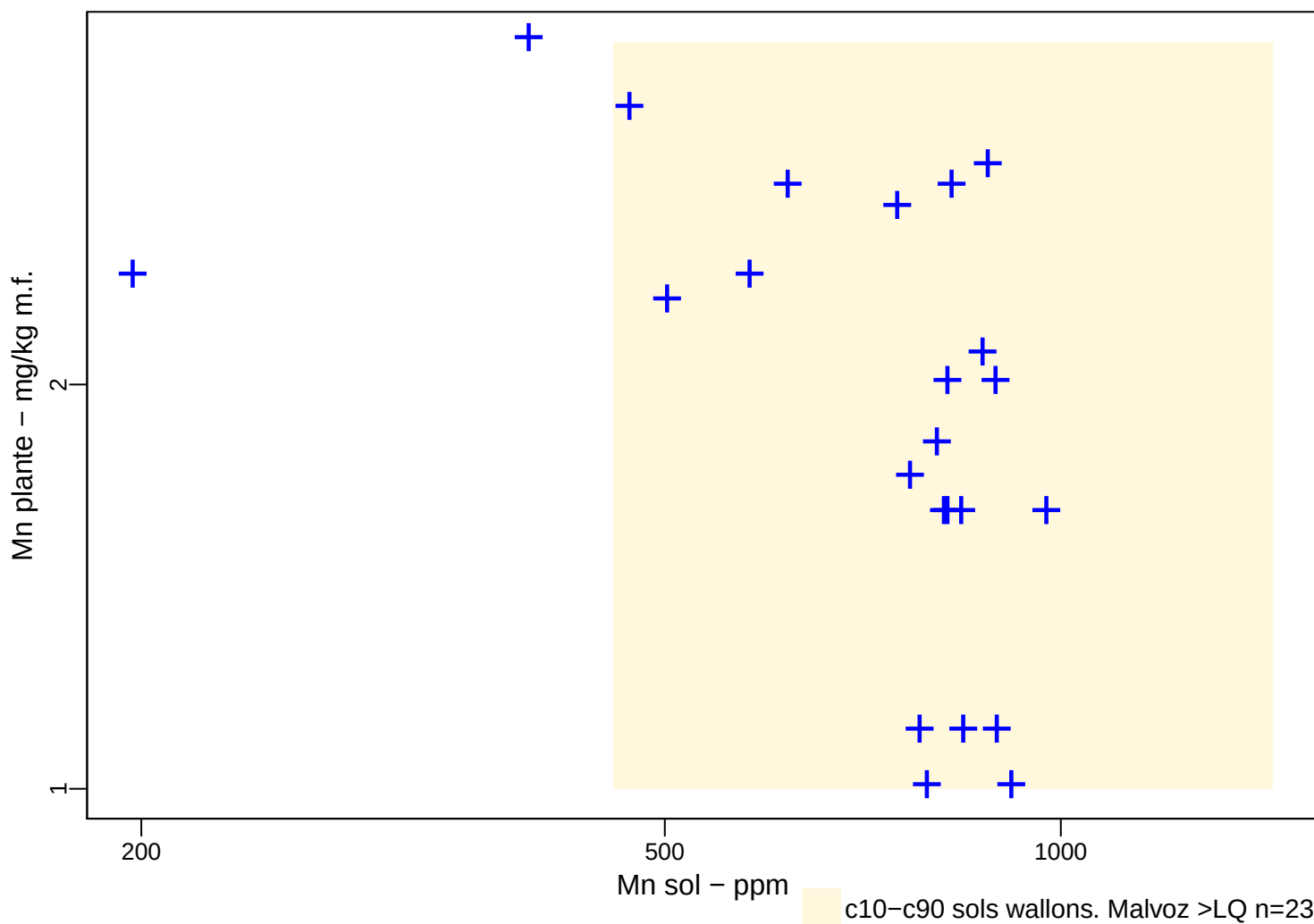
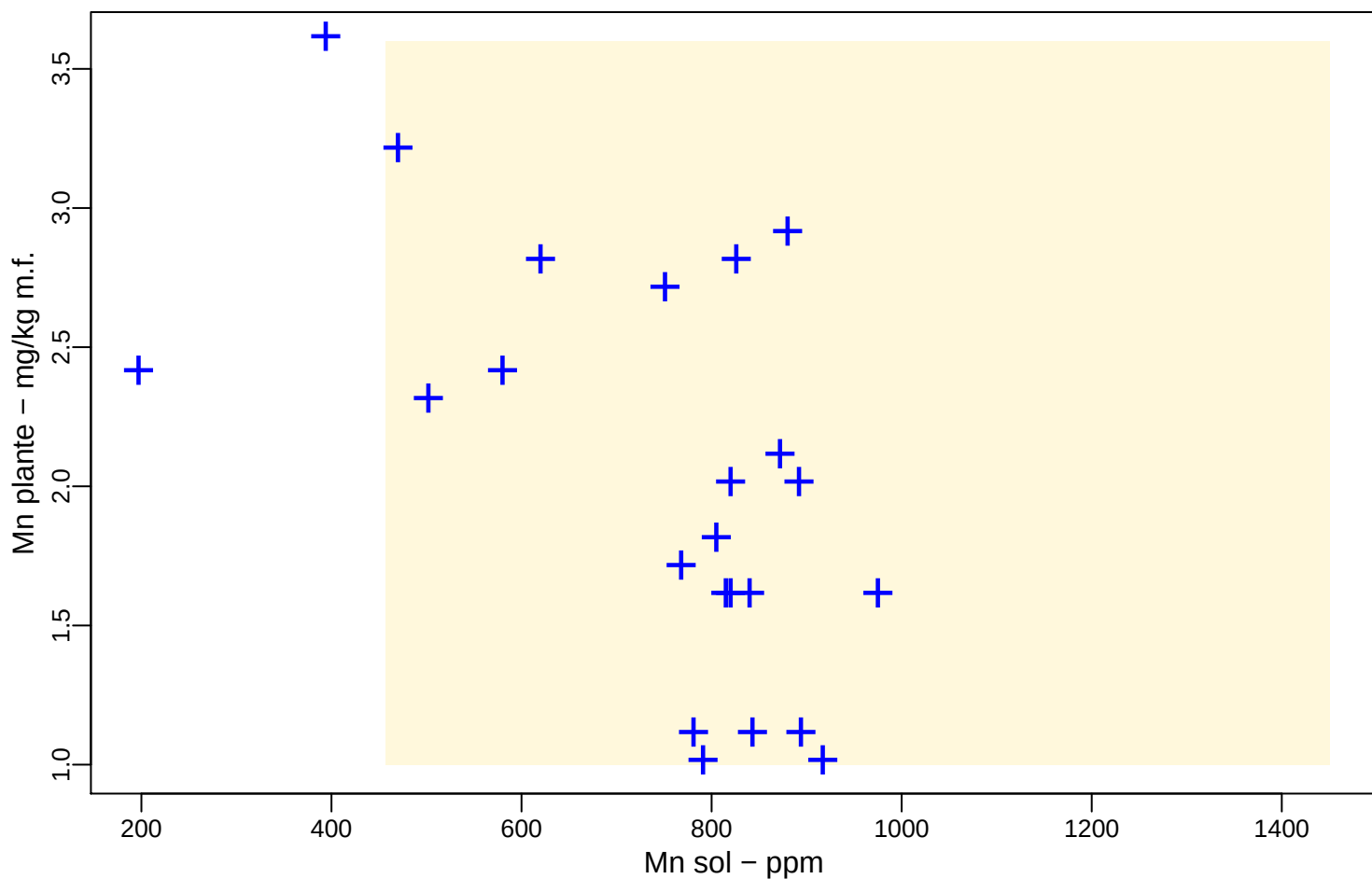


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=20

Bressoux : n=14 (/23)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/23)

Framboise

Analyse du végétal
+ (n=23) • <LQ (n=0)

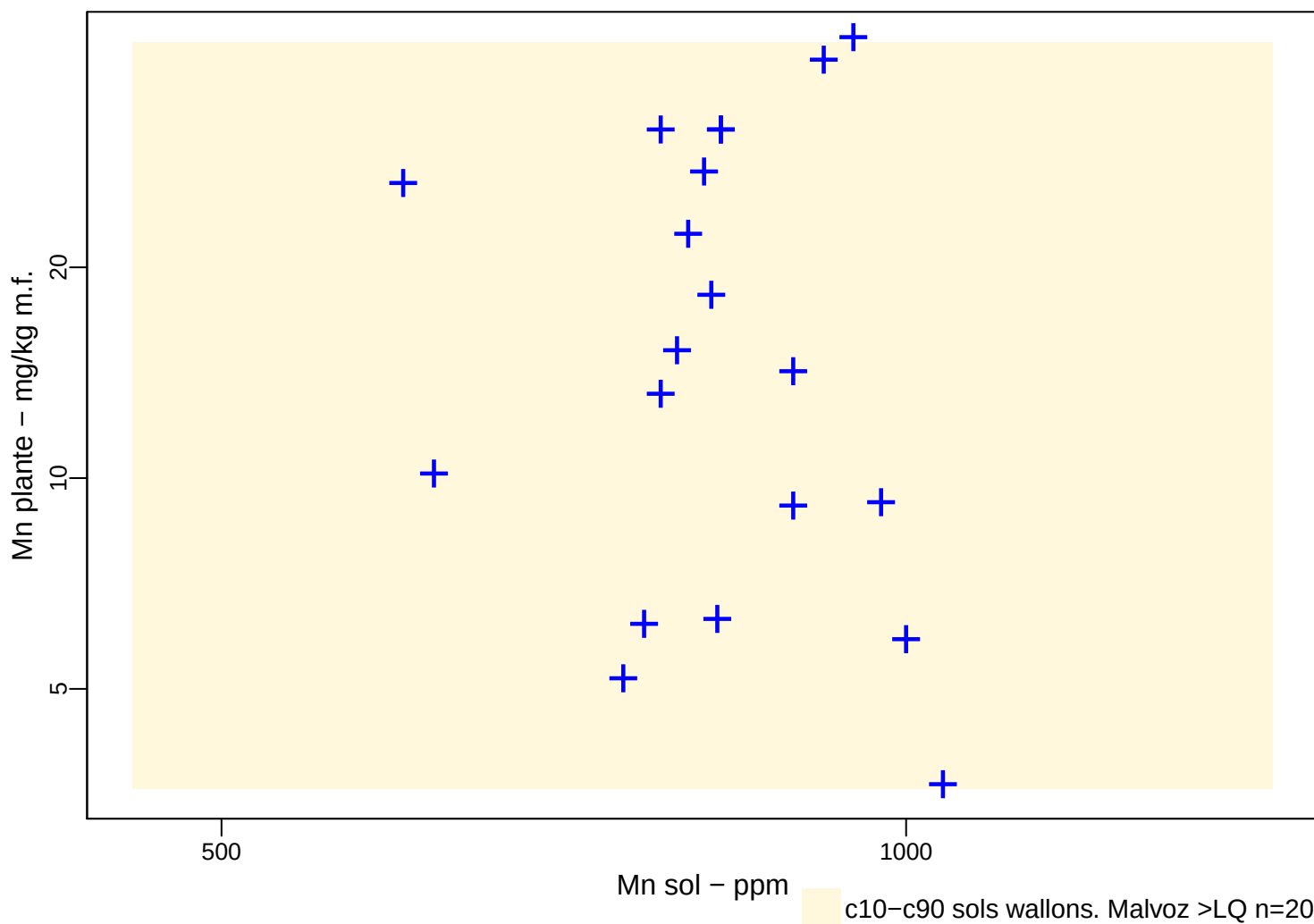
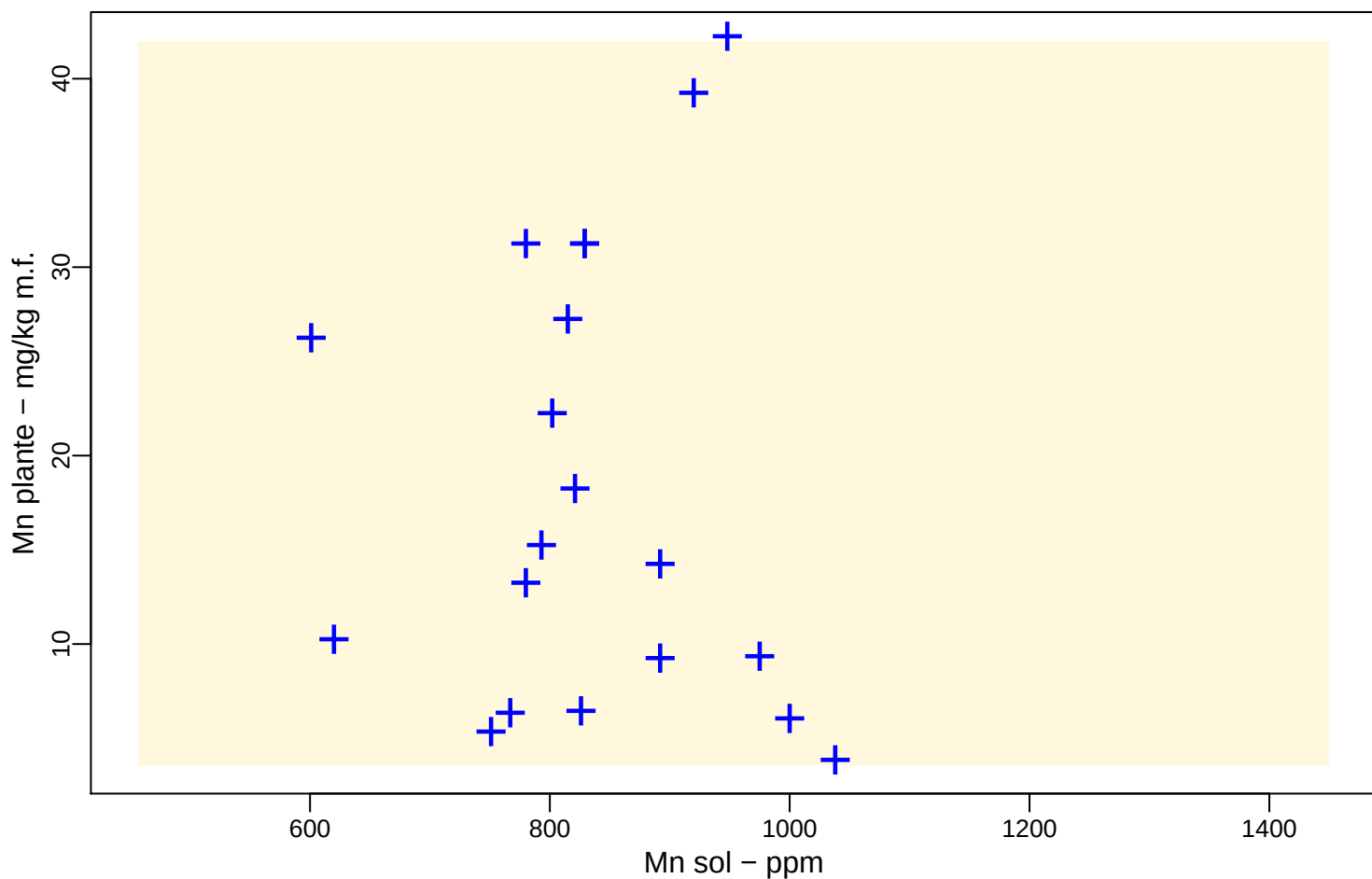


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=23

Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=20) • <LQ (n=0)

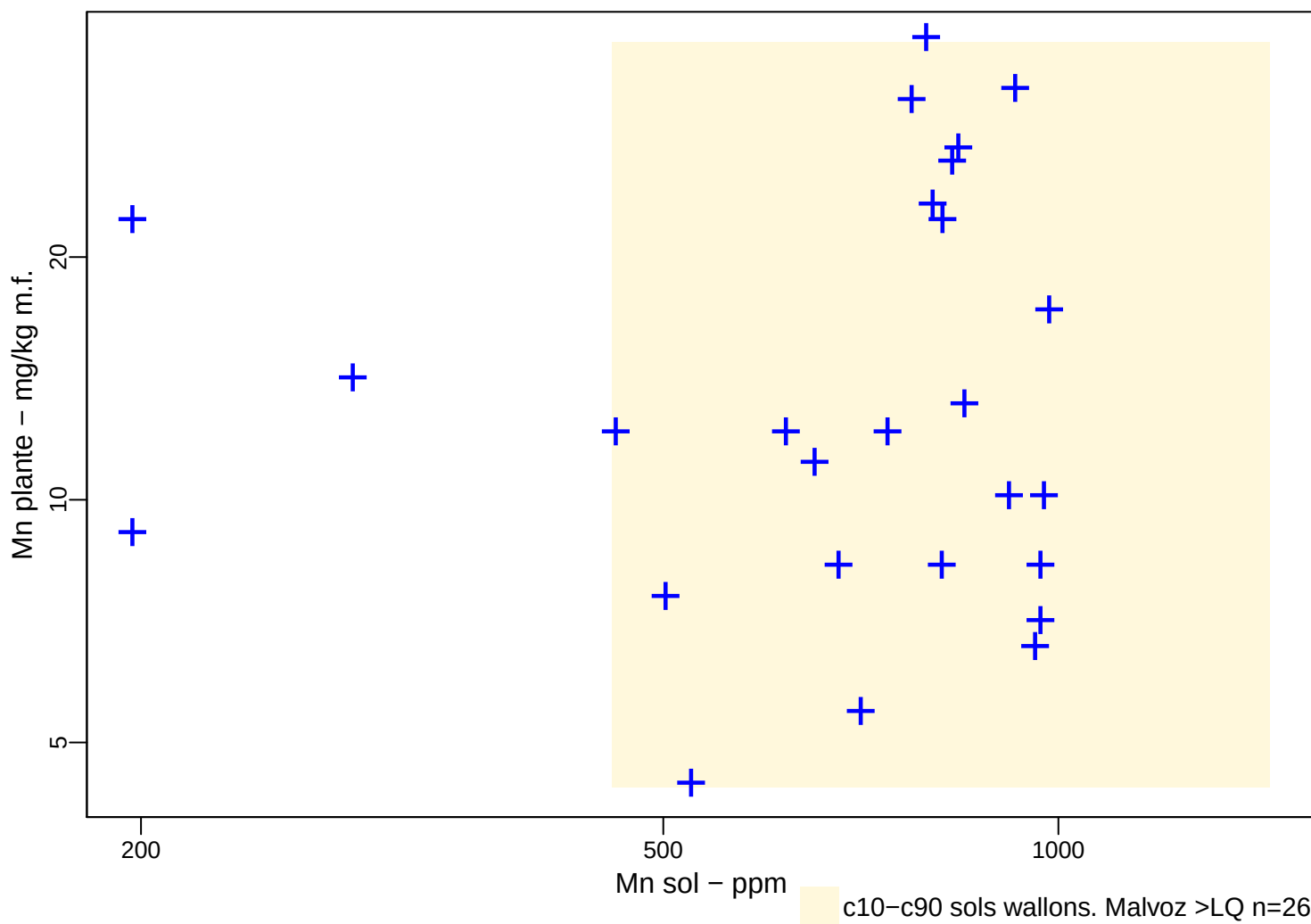
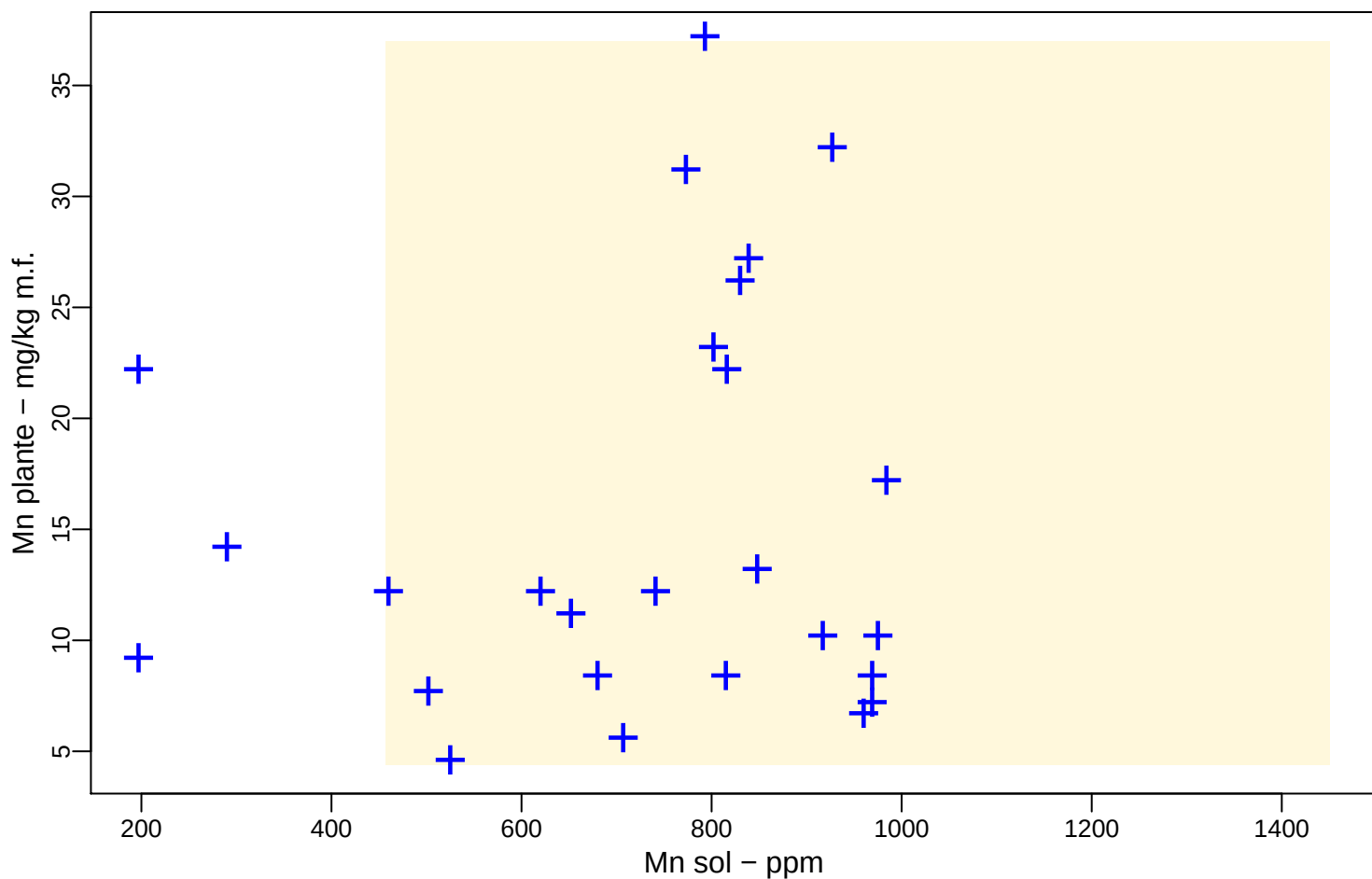


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=20

Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/26)

Persil

Analyse du végétal
+ (n=26) ● <LQ (n=0)

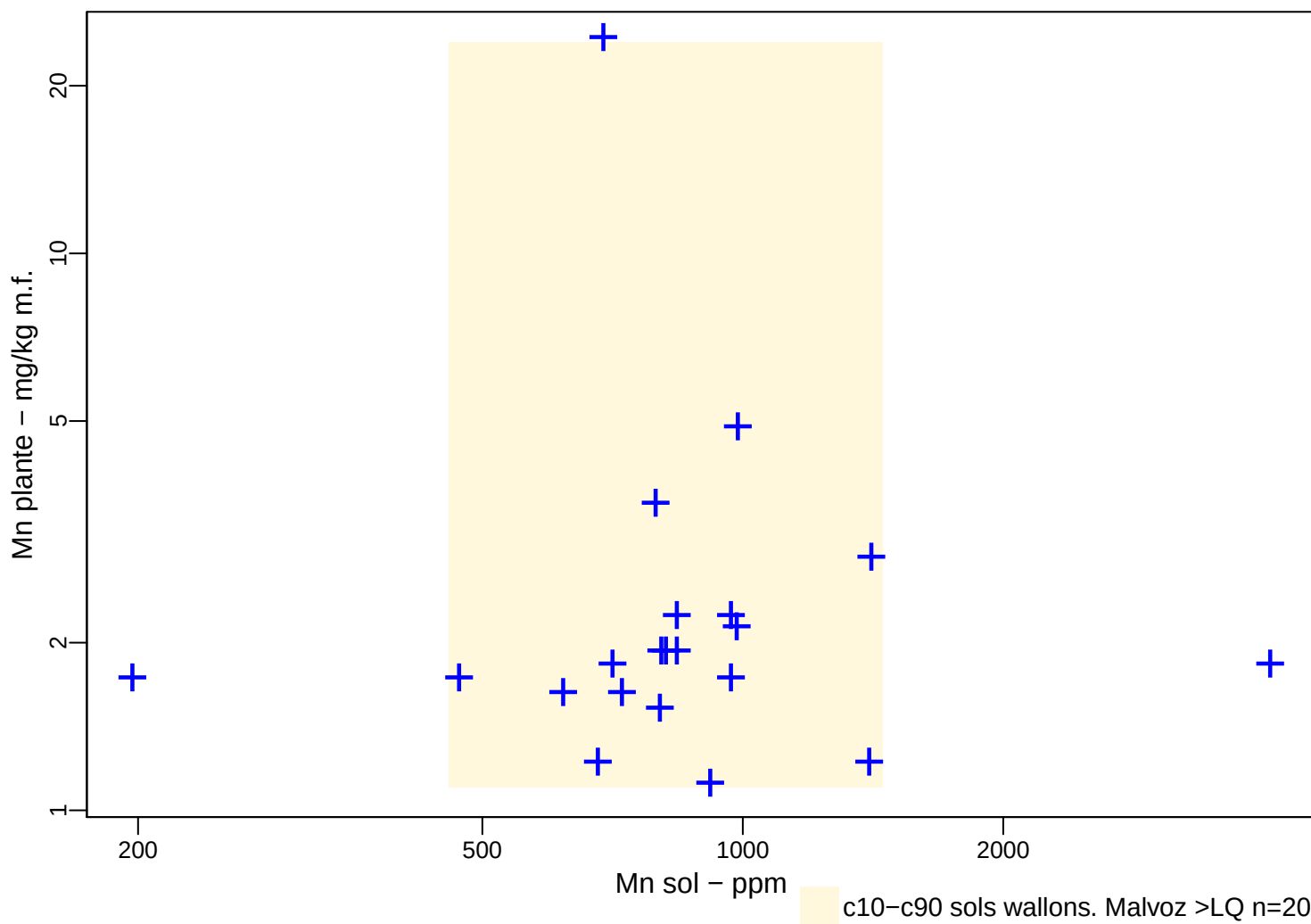
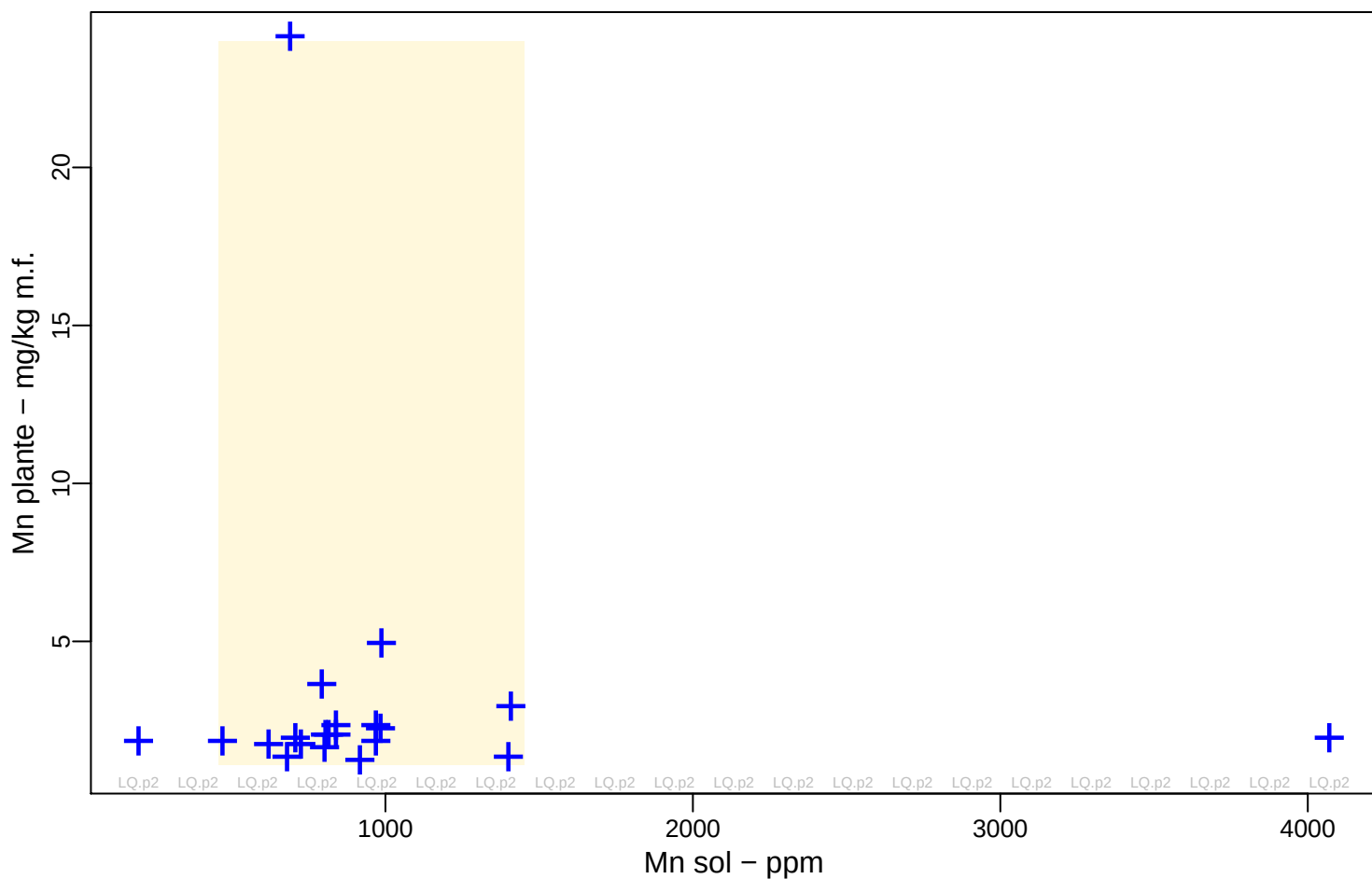


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=26

Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/21)

Poireau

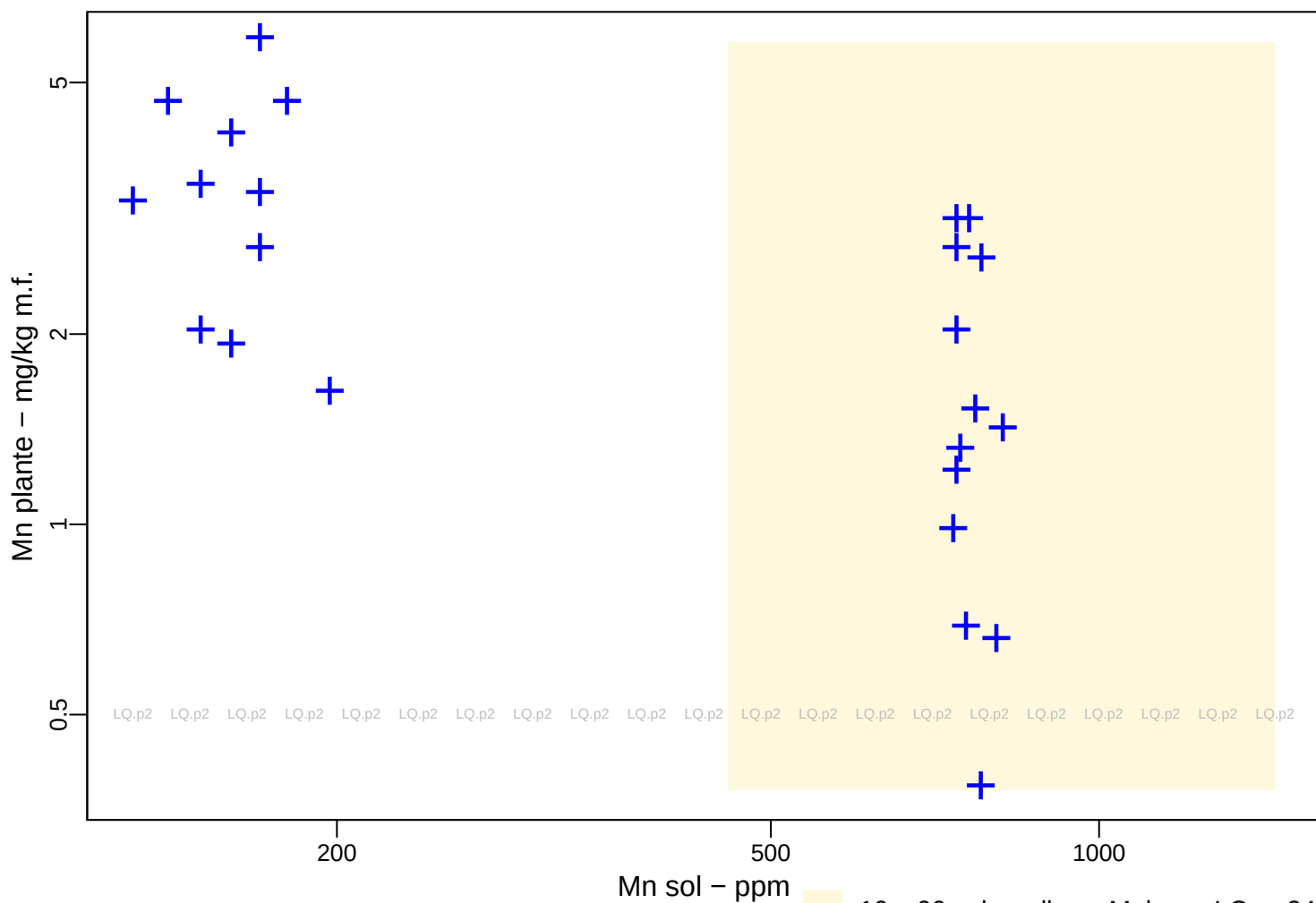
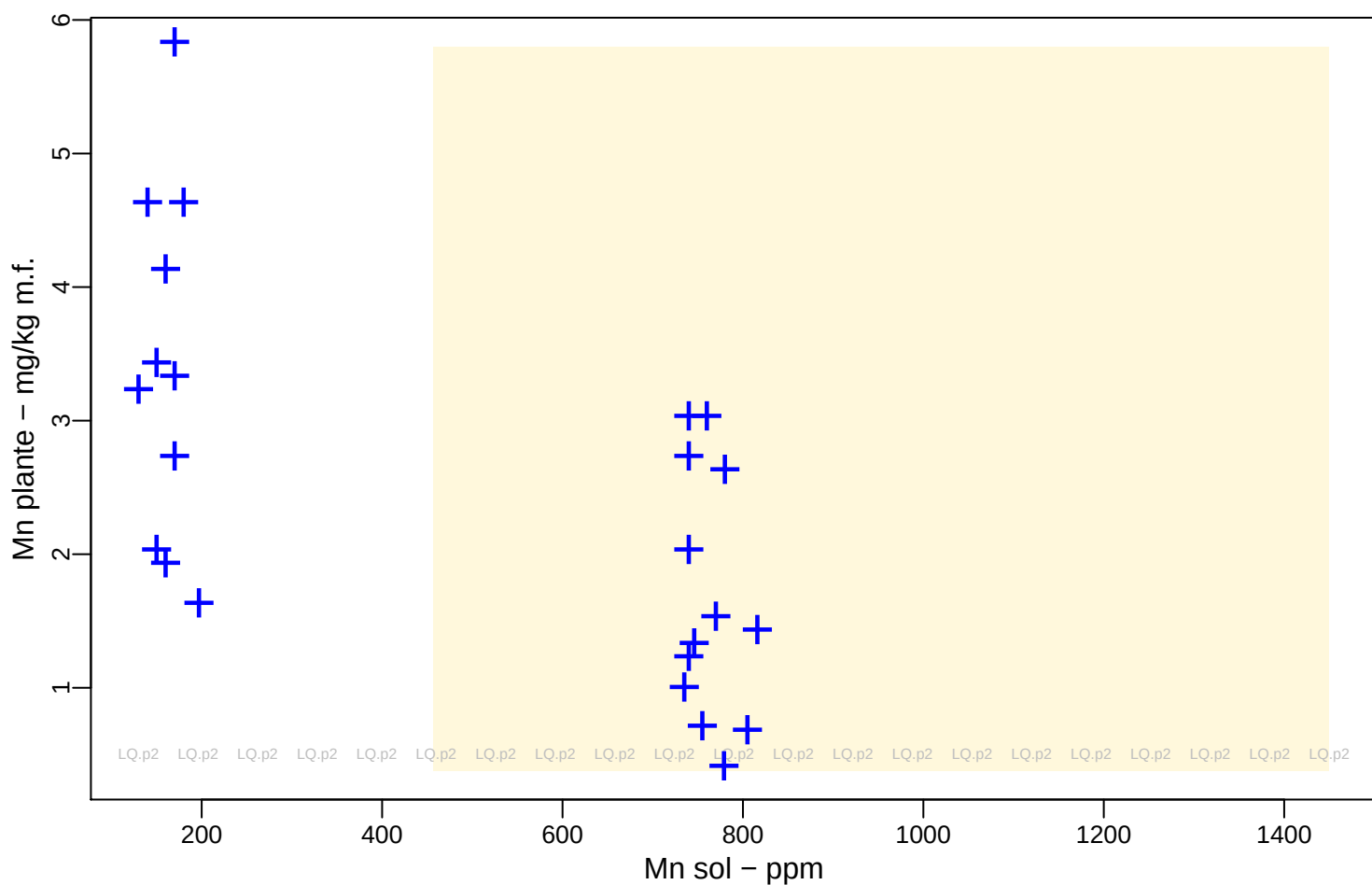
Analyse du végétal
+ (n=21) • <LQ (n=0)



Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/24)

Poivron

Analyse du végétal
+ (n=24) • <LQ (n=0)

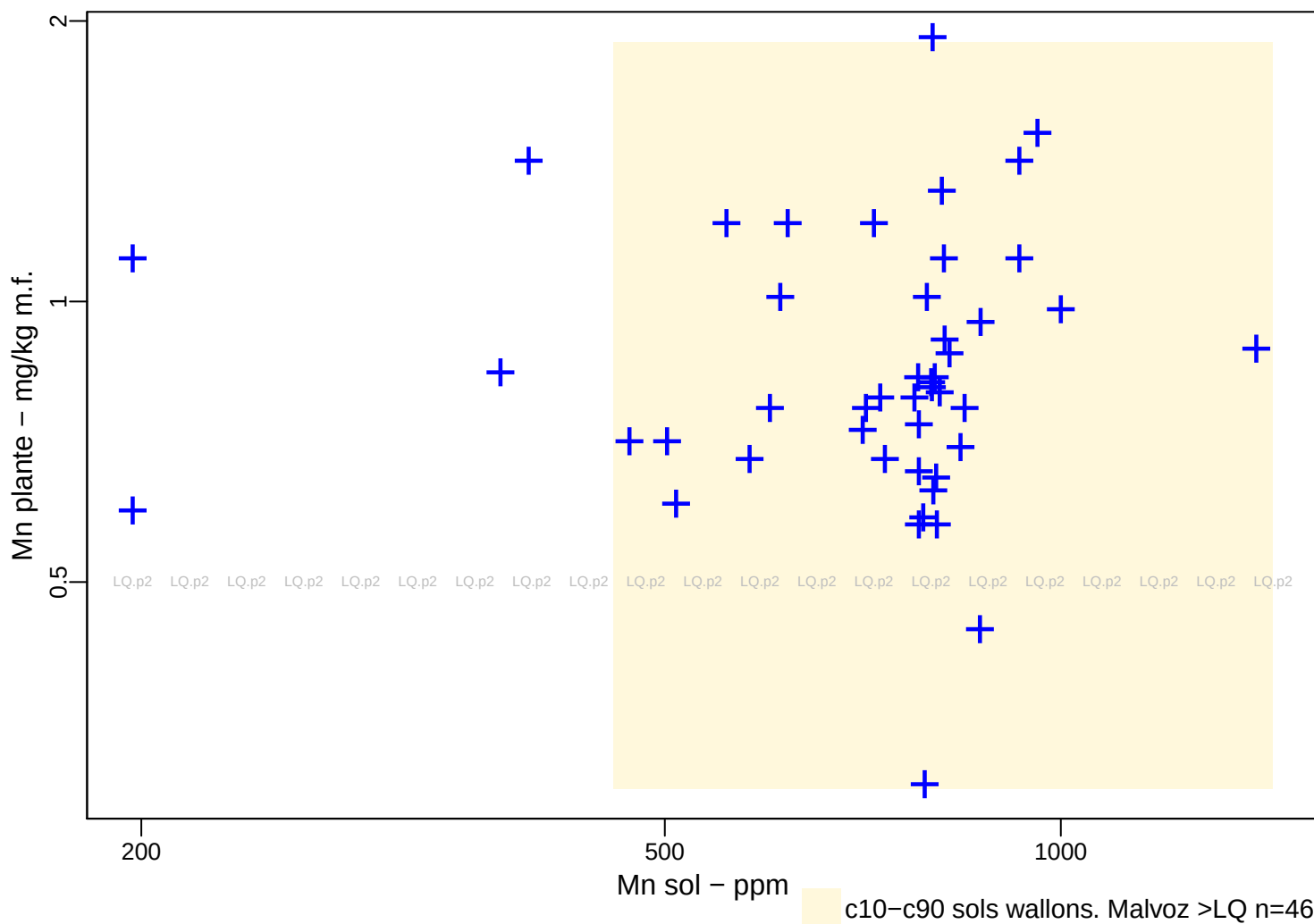
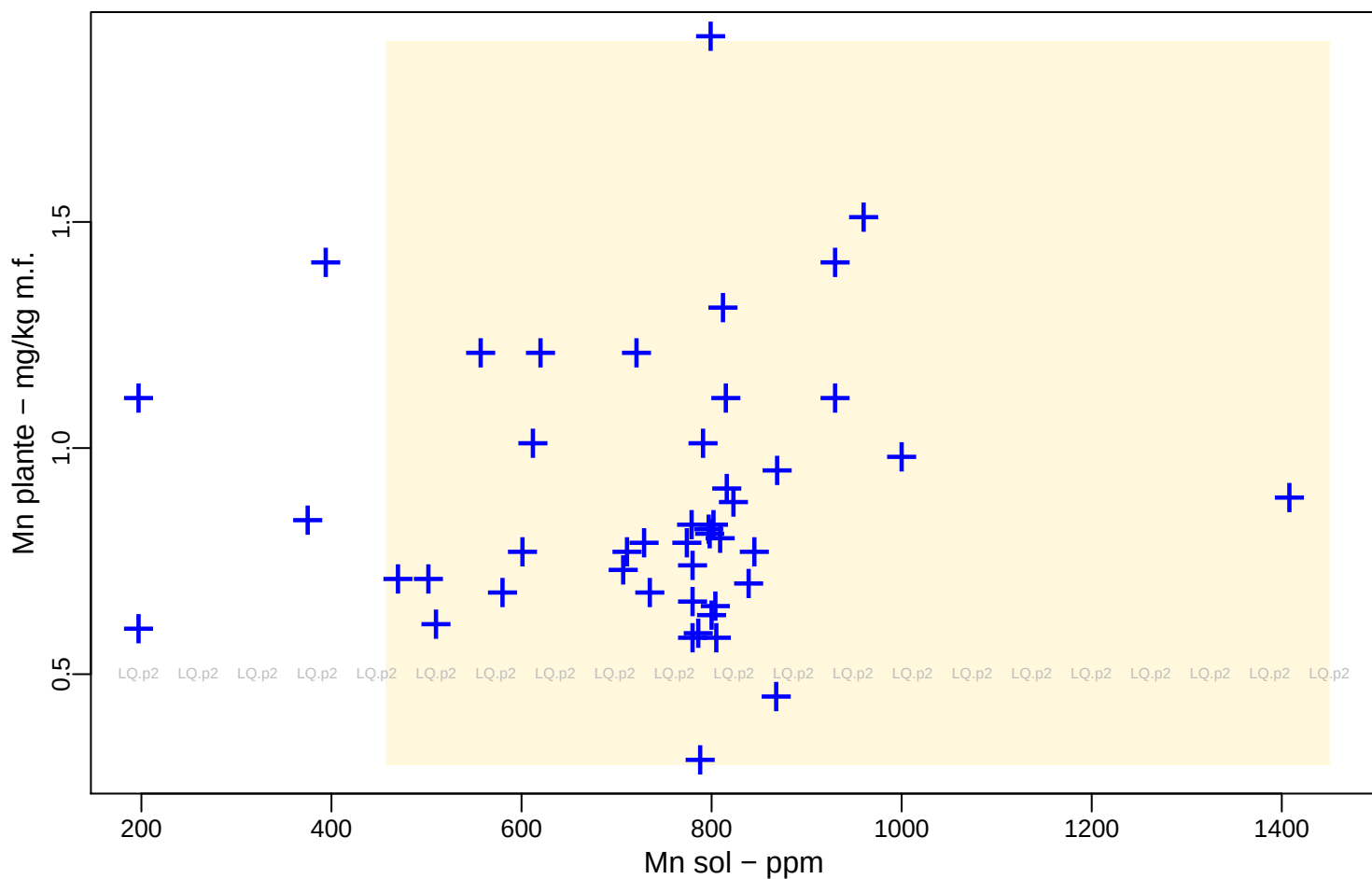


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=24

Bressoux : n=23 (/46)
Analyse de sol <LQ : n=0 (/46)

Tomate

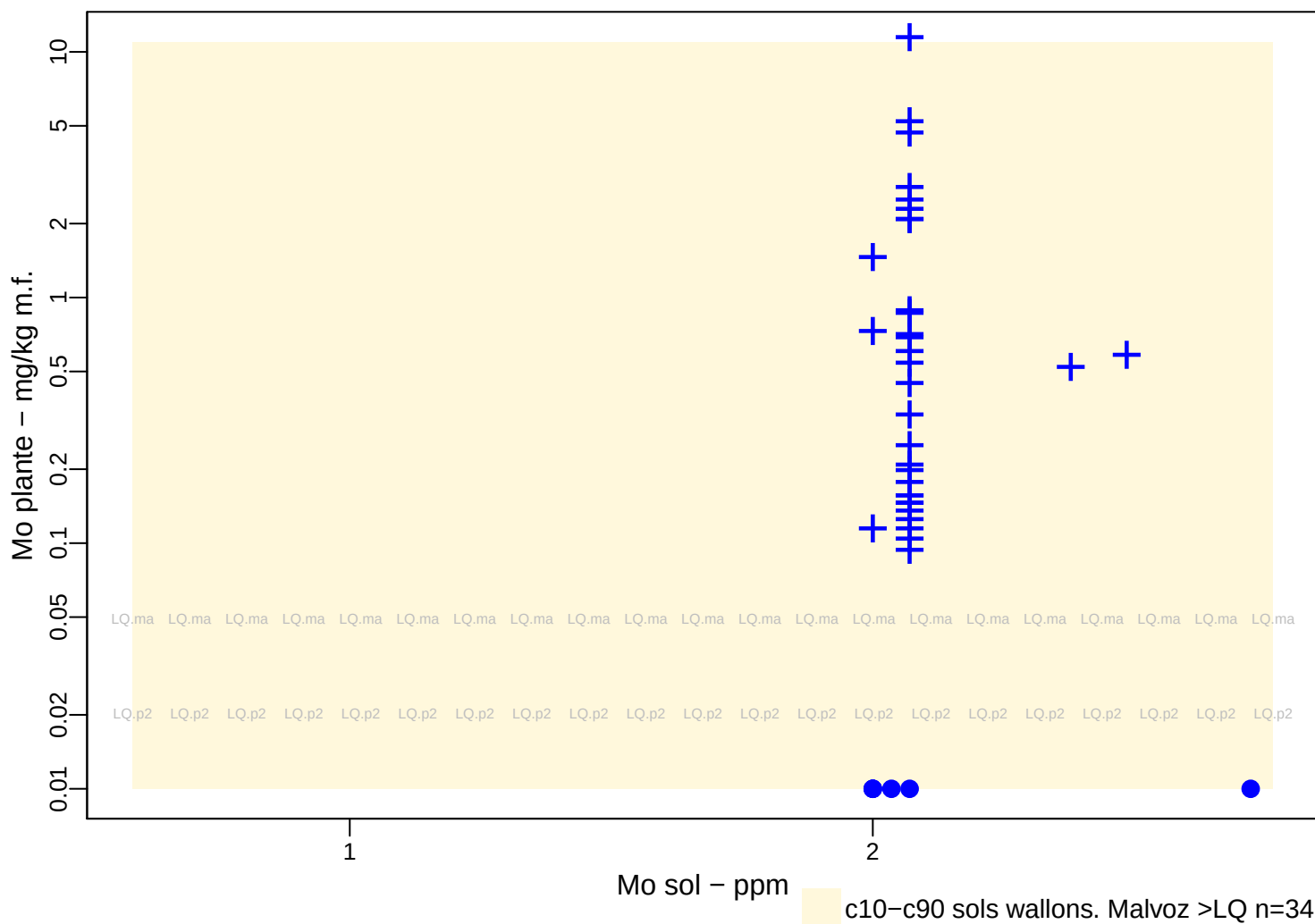
Analyse du végétal
+ (n=46) ● <LQ (n=0)



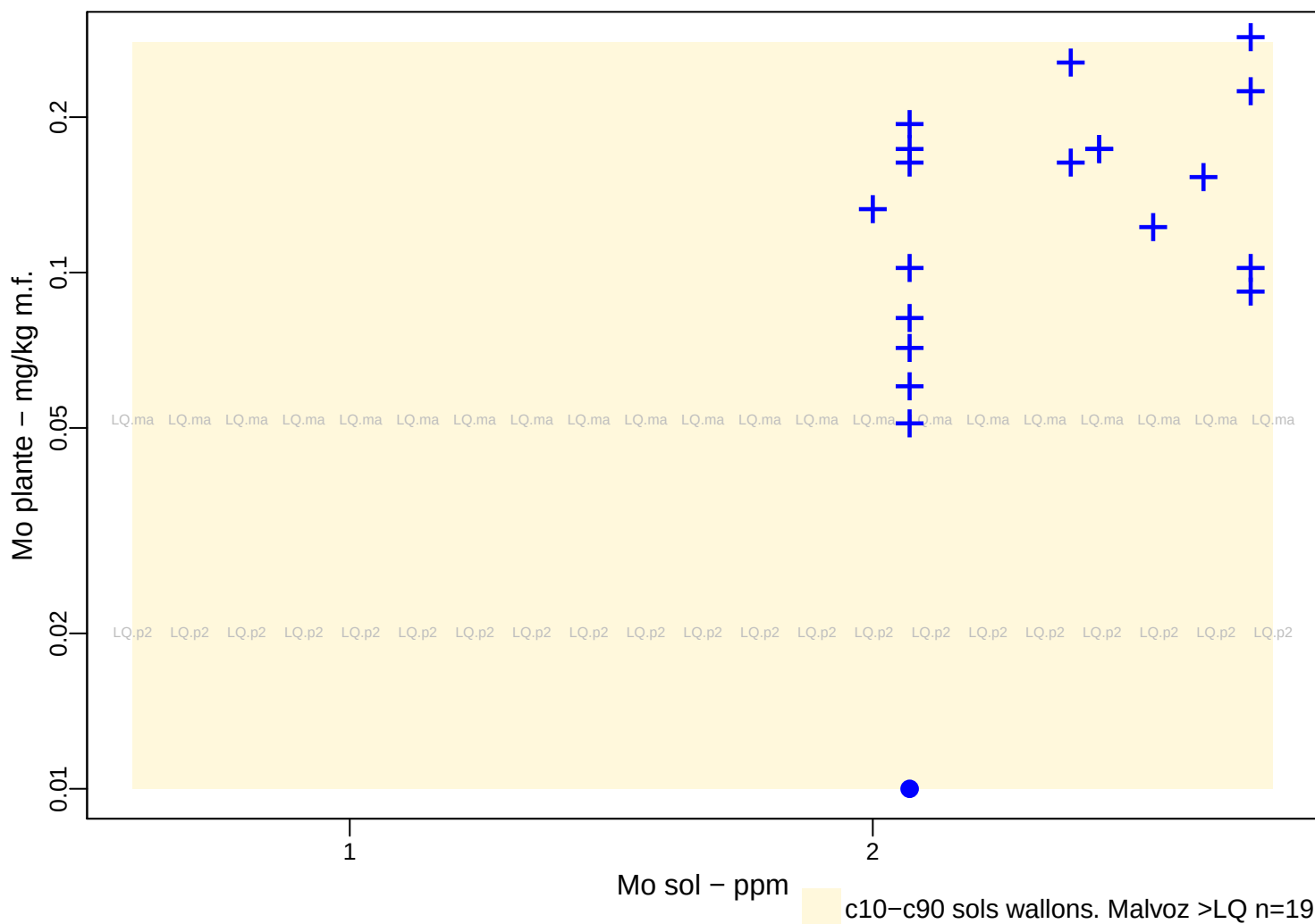
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=18 (/40)

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=33

Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=5 (/40)



Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=10 (/20)



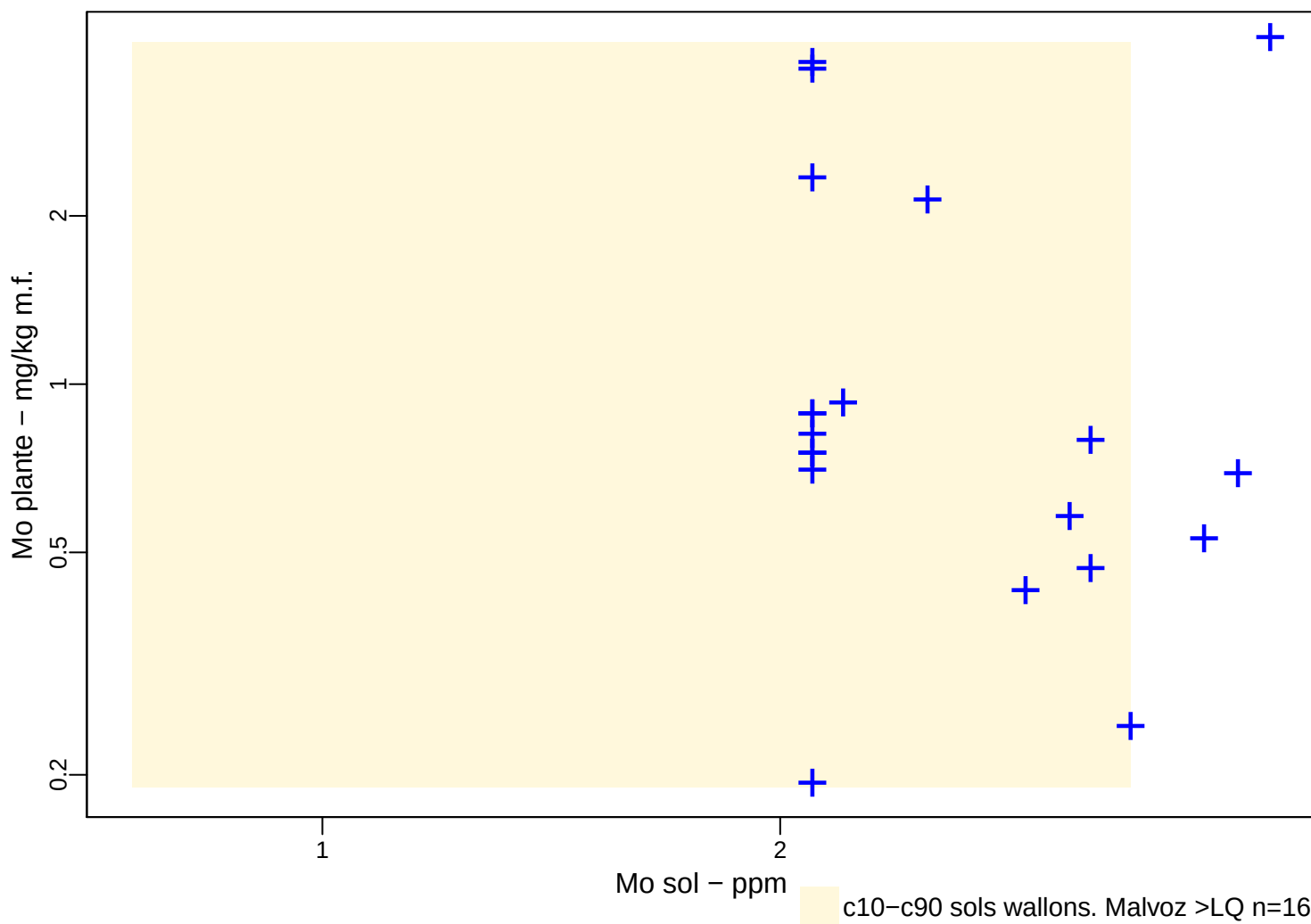
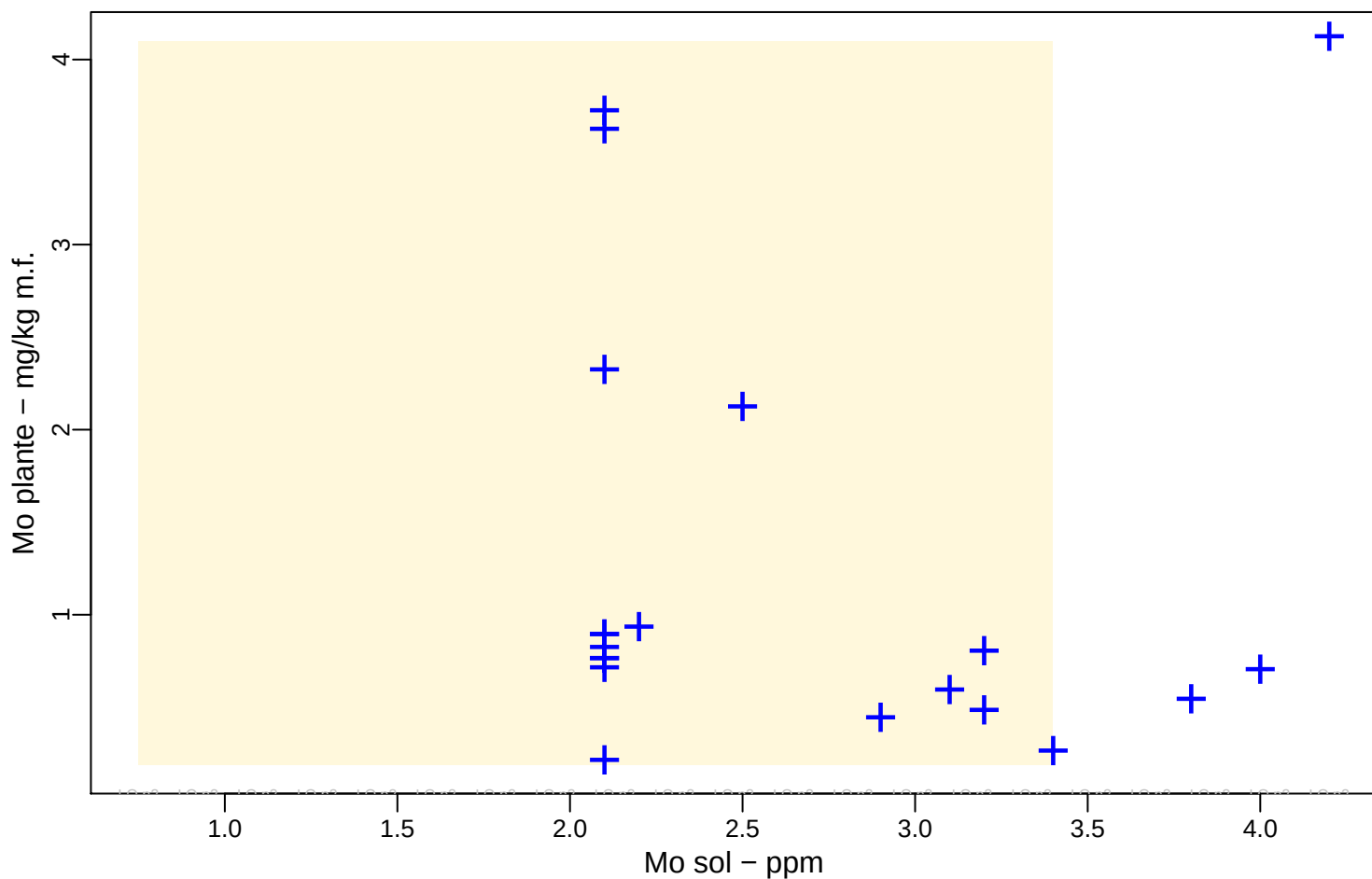
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=14 (/23)

c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=15

Bressoux : n=10 (/20)
Analyse de sol <LQ : n=9 (/20)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=11 (/20)

Menthe

Analyse du végétal
+ (n=20) • <LQ (n=0)

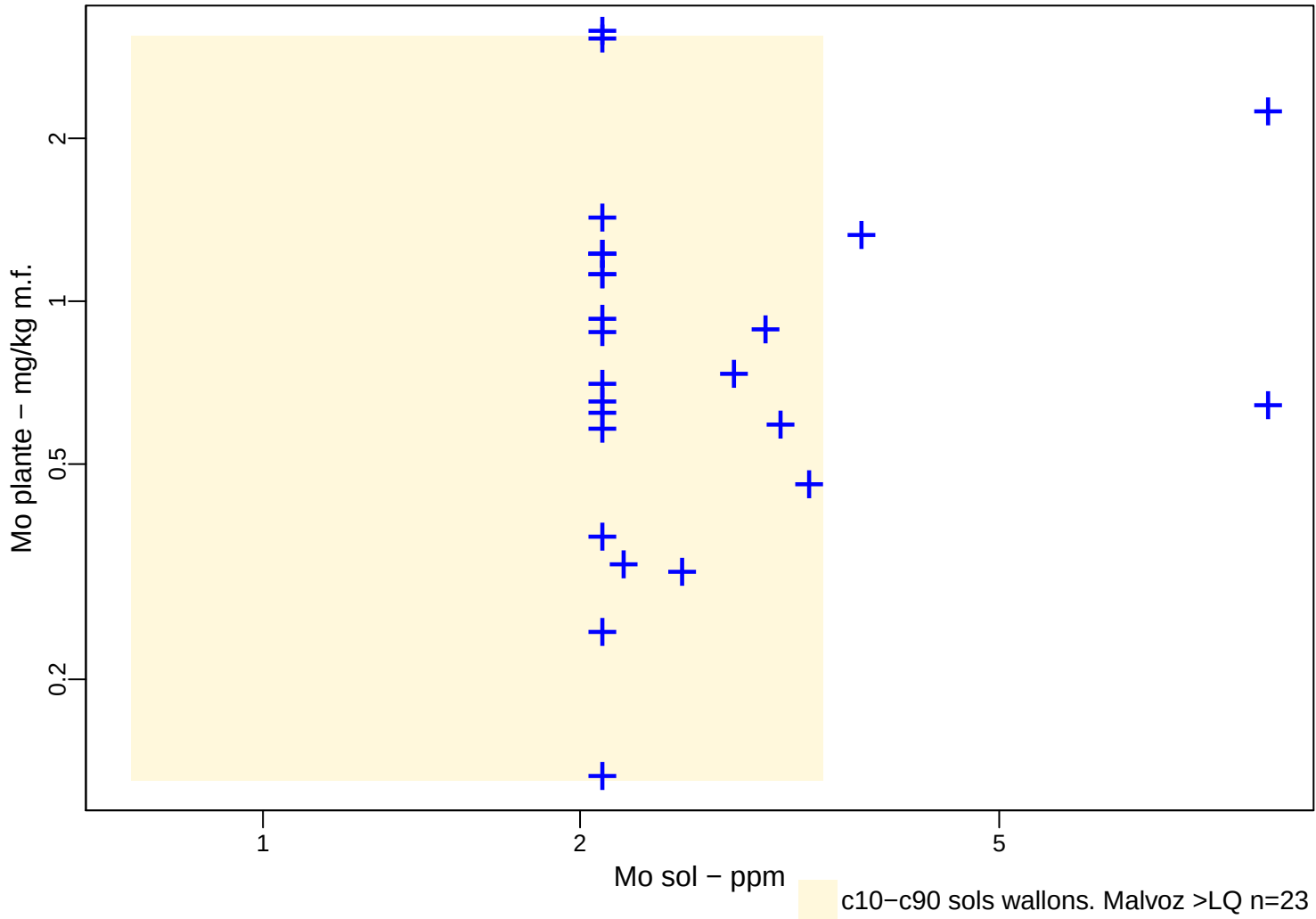
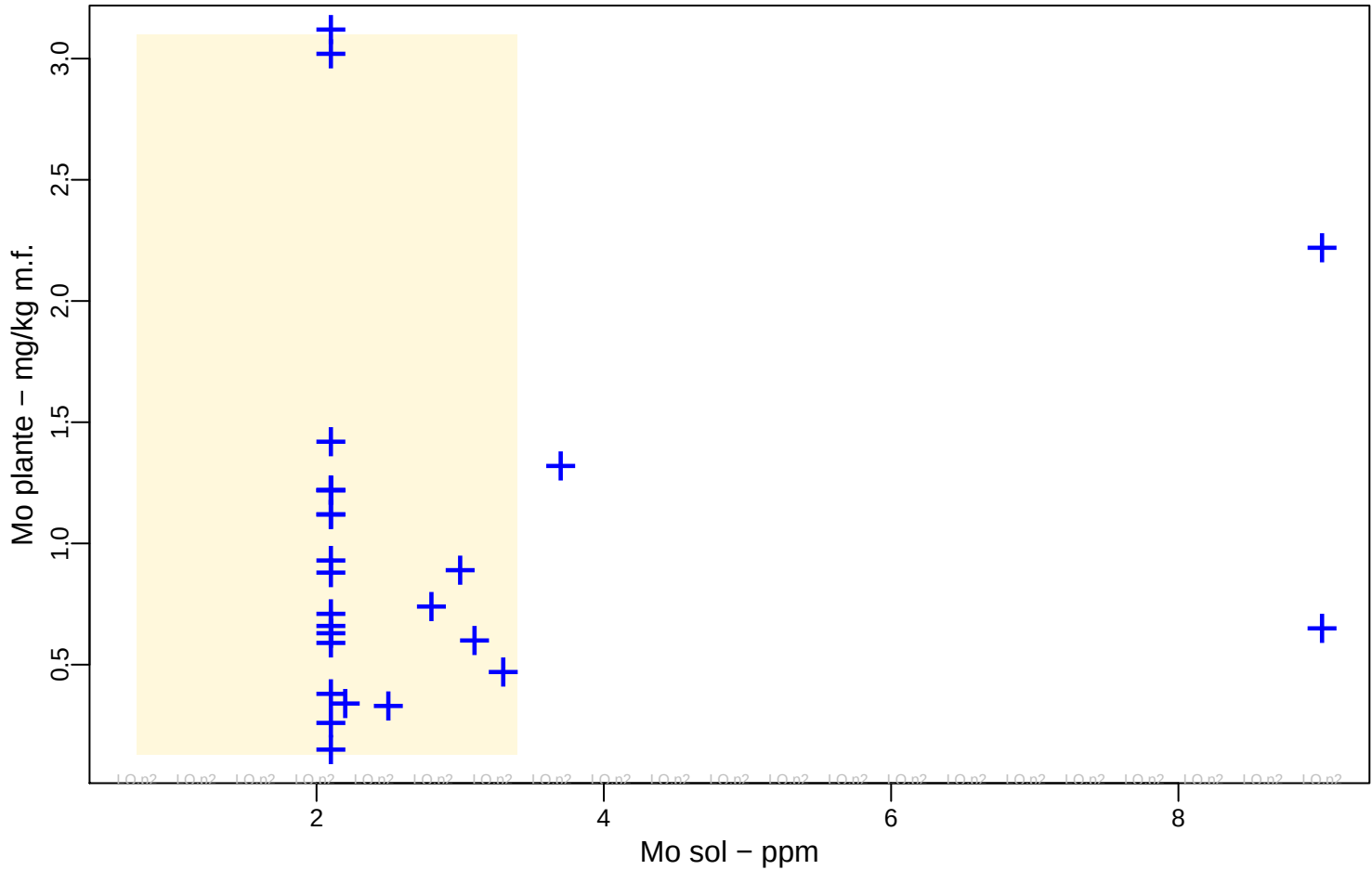


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=16

Bressoux : n=6 (/26)
Analyse de sol <LQ : n=16 (/26)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=10 (/26)

Persil

Analyse du végétal
+ (n=26) • <LQ (n=0)

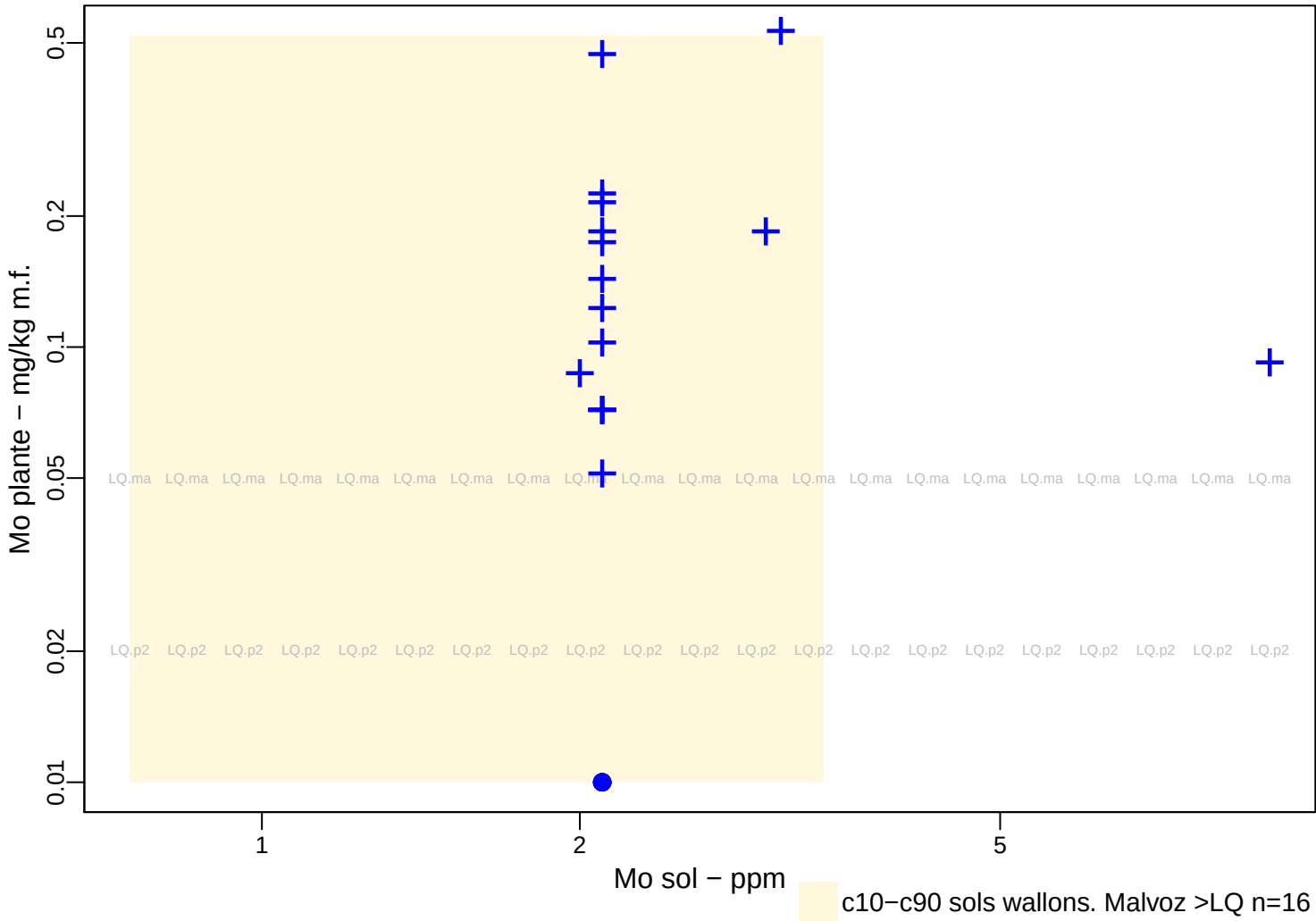
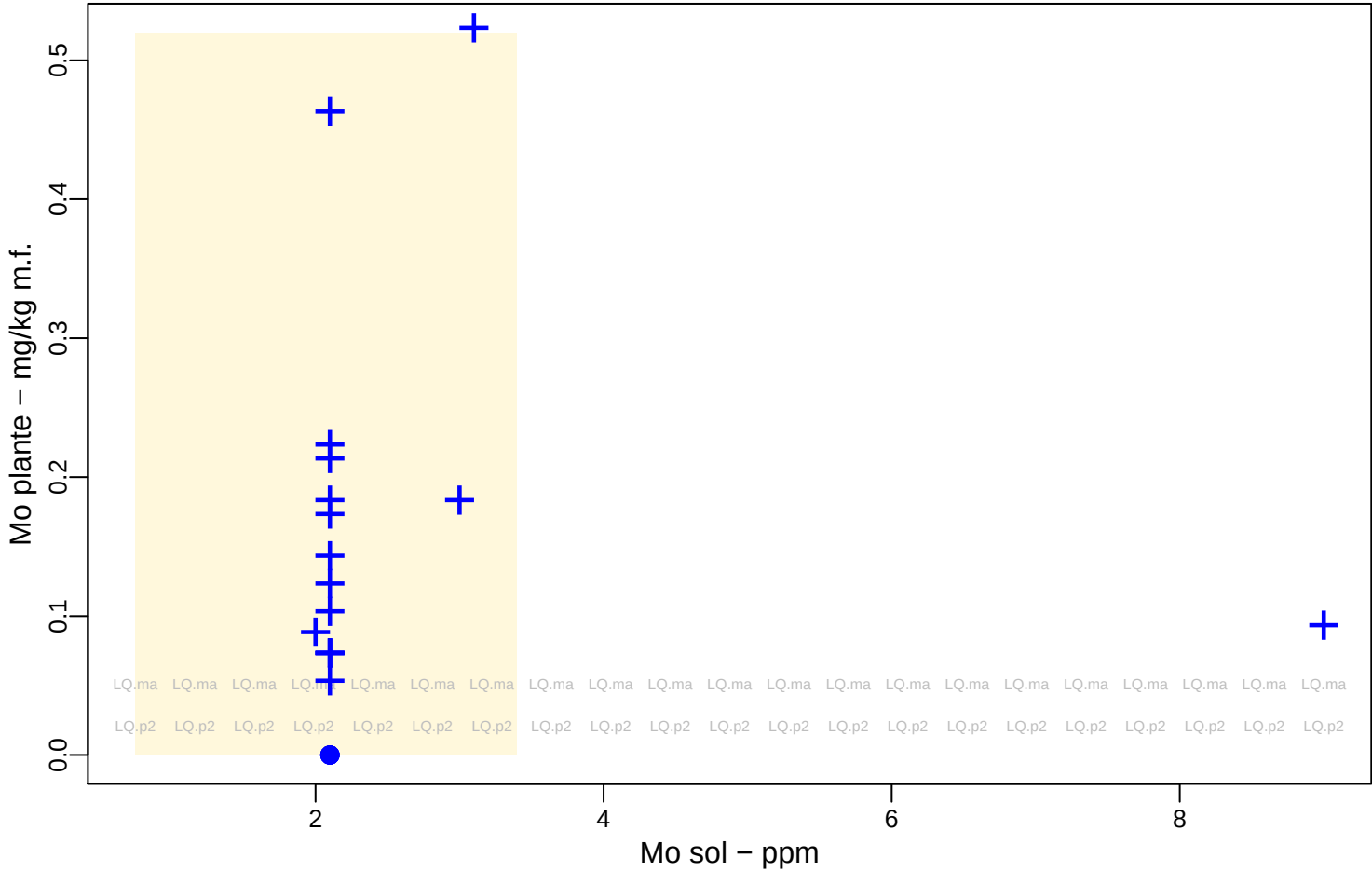


c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=23

Bressoux : n=2 (/21)
Analyse de sol <LQ : n=17 (/21)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=4 (/21)

Poireau

Analyse du végétal
+ (n=17) • <LQ (n=4)



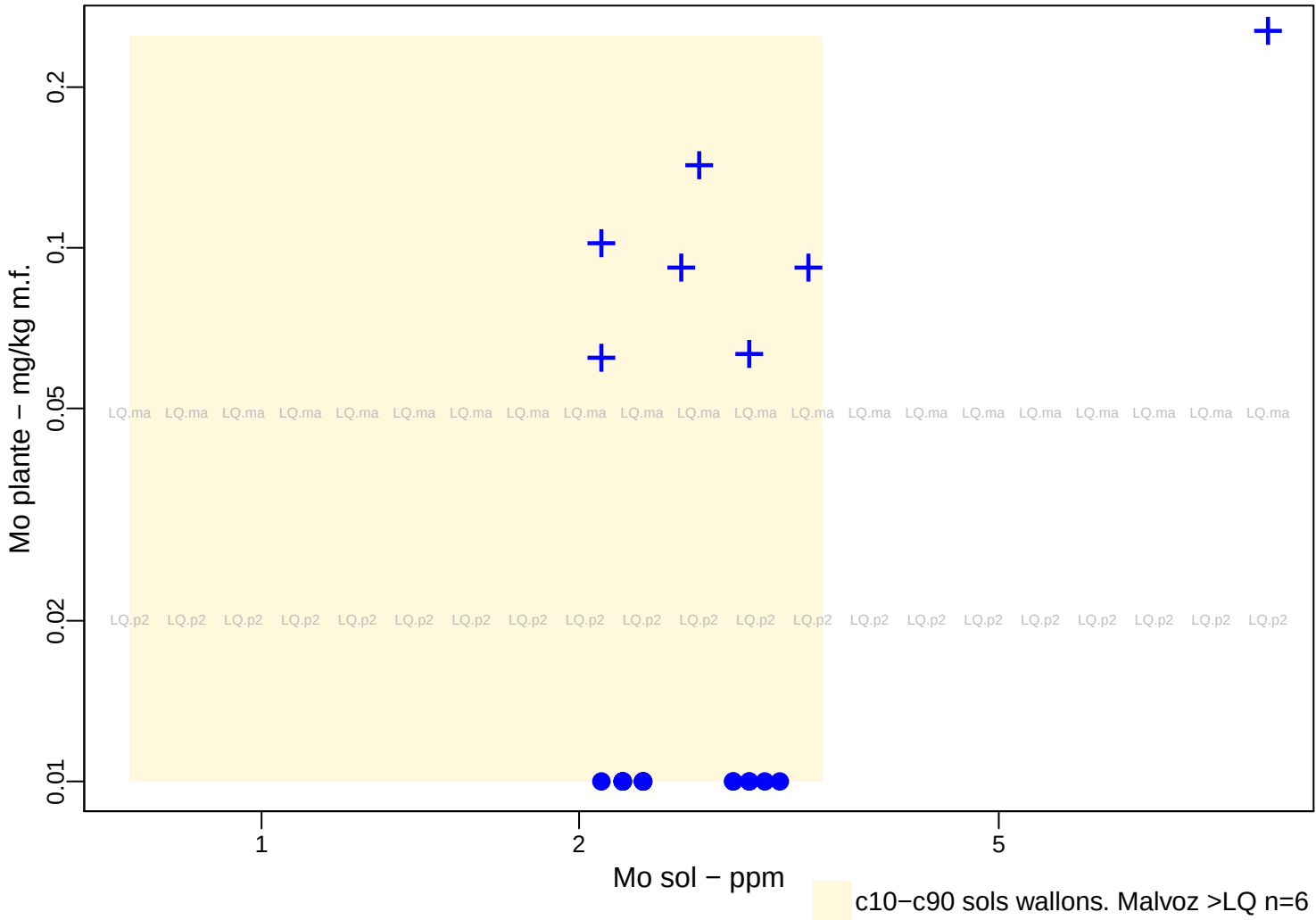
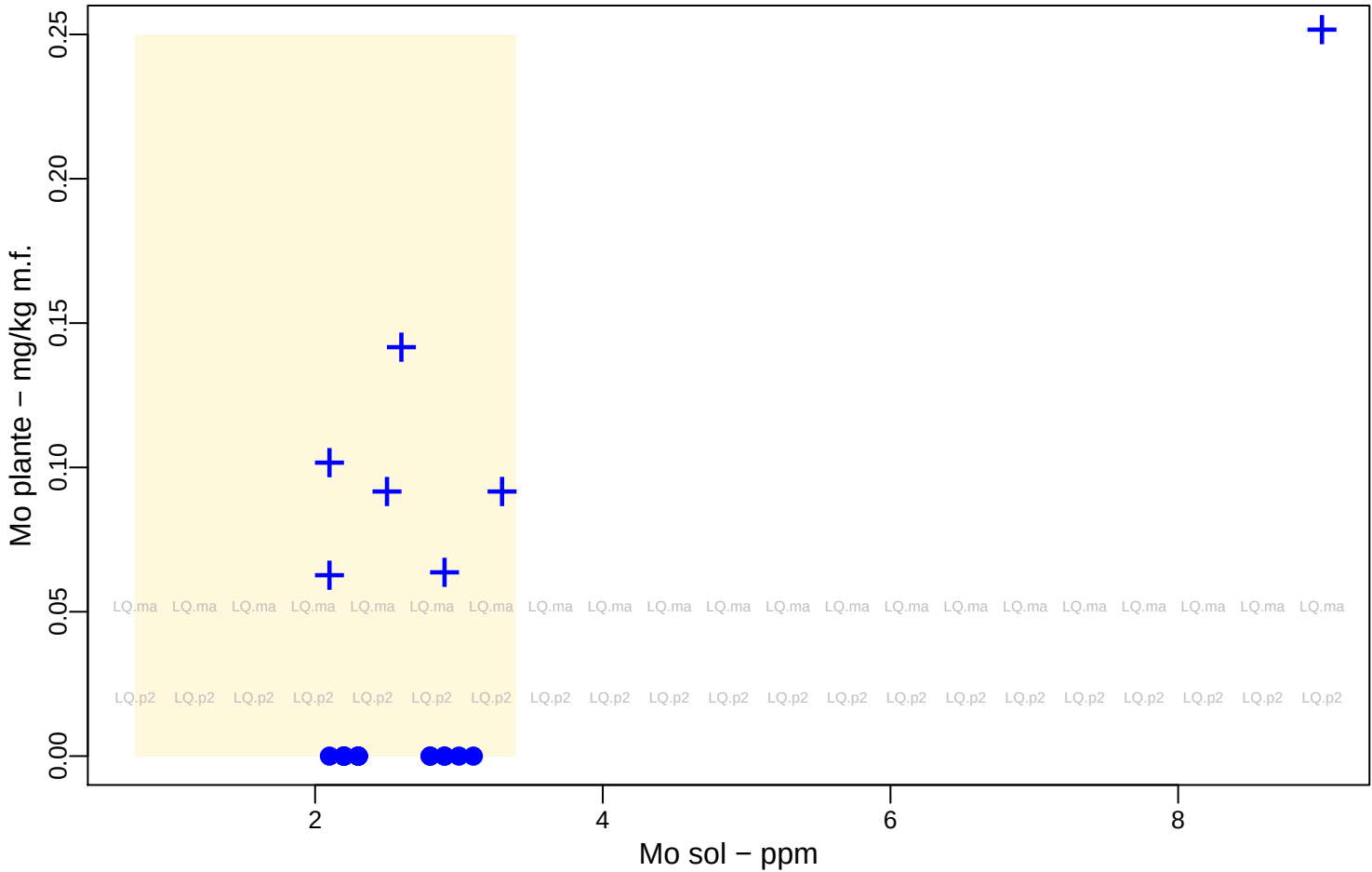
c10-c90 sols wallons. Malvoz >LQ n=16

Bressoux : n=12 (/24)
Analyse de sol <LQ : n=13 (/24)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=5 (/24)

Poivron

Analyse du végétal

+ (n=7) • <LQ (n=17)



Bressoux : n=23 (/46)
Analyse de sol <LQ : n=17 (/46)
Paire d'analyse sol-plante quantifiée : n=27 (/46)

Tomate

Analyse du végétal
+ (n=43) • <LQ (n=3)

