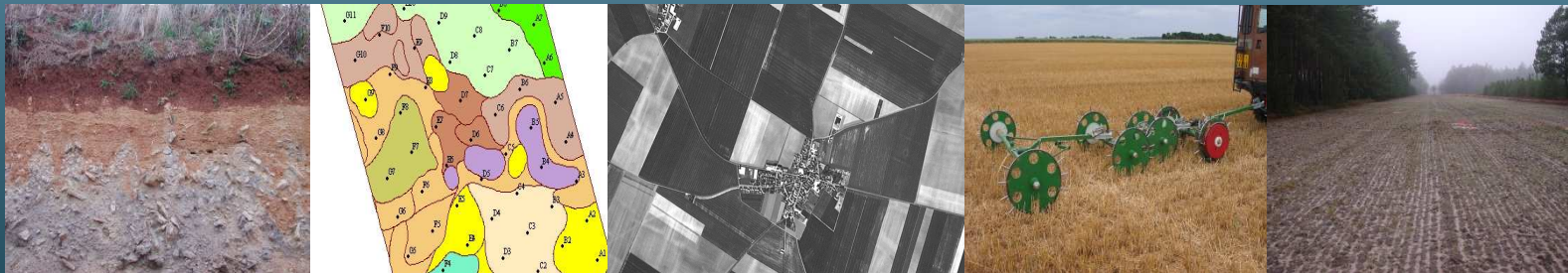




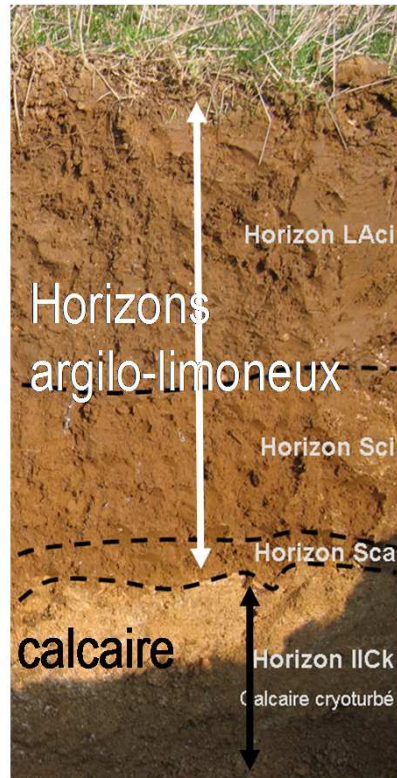
La mesure de résistivité électrique : un outil d'aide à la caractérisation des sols

Séger M., Perrier C., Pasquier C., Bourennane H., Mitombo D.,
Nicoullaud B., Mistou M.N., Hugard R., Ubertosi M., Cousin I.

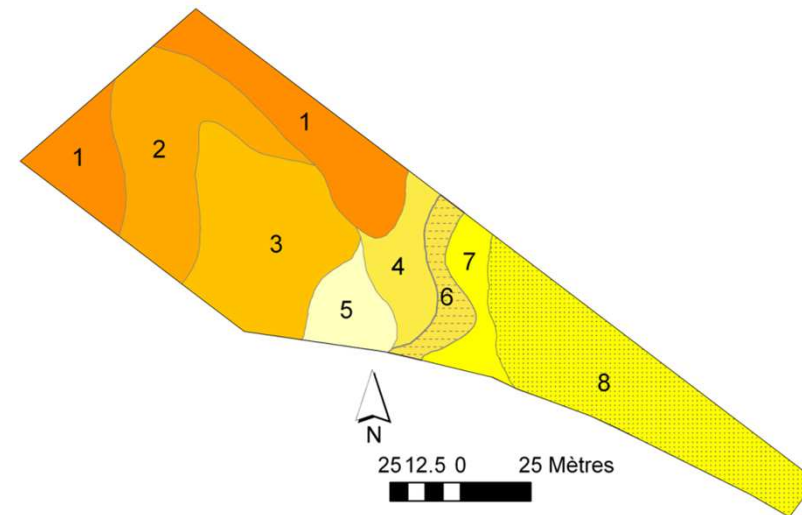


Le sol, un milieu hétérogène dans l'espace

Hétérogénéité verticale



Hétérogénéité latérale



UCS

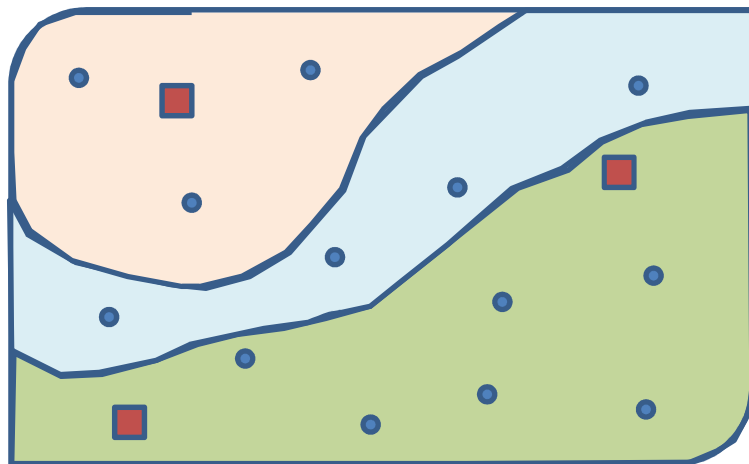
- 1 Calcosol épais développé sur matériau cryoturbé beige
- 2 Calcosol moyennement épais développé sur matériau cryoturbé
- 3 Calcosol peu épais sur matériau cryoturbé
- 4 Calcosol épais sur matériau cryoturbé et calcaire tendre
- 5 Calcosol peu épais sur matériau cryoturbé et calcaire tendre
- 6 Calcosol épais sur matériau cryoturbé et calcaire tendre à dalle calcaire profonde (80 à 110 cm)
- 7 Calcosol sur dalle calcaire moyennement profonde (60cm)
- 8 Calcosol caillouteux sur calcaire dur

Le sol, un milieu hétérogène dans l'espace

Besoins de connaissances des hétérogénéités intraparcellaires :

- Pour les modèles hydriques et de culture
- En agriculture de précision

Comment les caractériser ?



- Sondage tarière
- Fosse pédologique

Sondages et fosses indispensables pour caractériser le sol.

Mais, limites de la méthode :

- Densité de sondage limitée par coût et pénibilité
- Stratégie d'échantillonnage
- Spatialisation des résultats
- Descriptions dépendantes de l'expert

Le sol, un milieu hétérogène dans l'espace

Besoin de moyens d'aide à la cartographie et à la reconnaissance de la variabilité intraparcellaire des sols :

- Acquisition rapide et exhaustive d'informations spatiales sur le sol
- Non intrusifs
- Avec une résolution adaptée à la taille des hétérogénéités



Méthodes de télédétection et de géophysique de subsurface

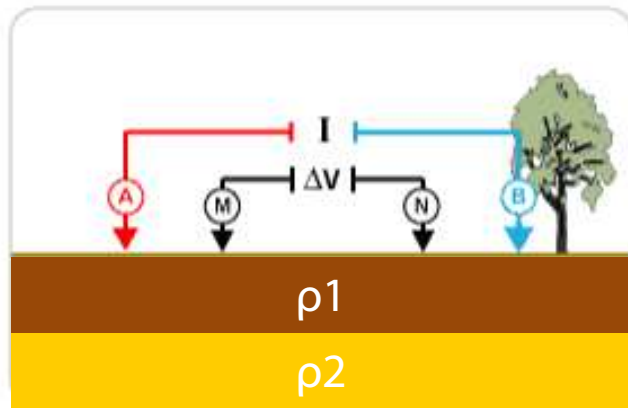
Mesure de résistivité électrique -> Méthode géoélectrique

Plan de la présentation

1. La mesure de résistivité électrique
2. Comment réaliser des cartes de résistivité ?
3. Comment interpréter les cartes ?
4. Quelles applications ?

La résistivité électrique : définition

La **résistivité électrique** ρ d'un sol est sa capacité à limiter le passage d'un courant électrique. Elle s'exprime en **ohm.mètre**.



Quatre électrodes :

- AB pour l'injection du courant I_{AB}
- MN pour la mesure de Δu

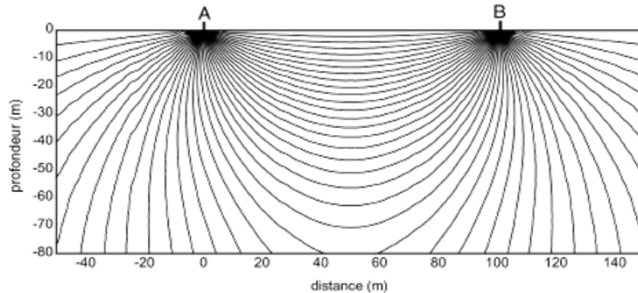
$$\rho = K^* \Delta u / I_{AB}$$

avec K : coefficient géométrique

Le volume caractérisé par la mesure dépend de l'écartement entre les électrodes : plus l'écartement est grand, plus le volume prospecté est grand.

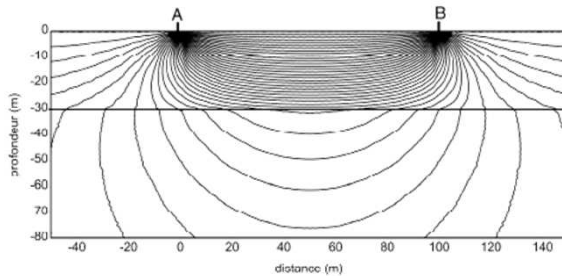
Répartition du courant électrique dans le sol

- Dans un **milieu homogène** la résistivité électrique est égale à la résistivité intrinsèque

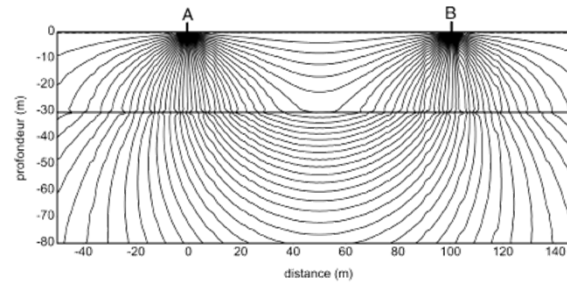


ρ mesurée = ρ du milieu

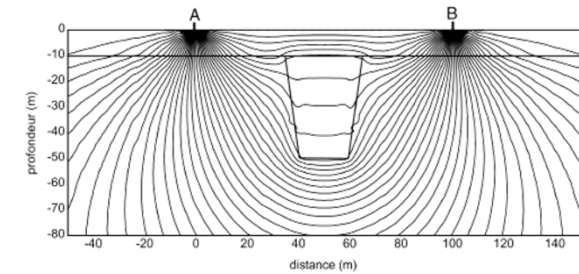
- Dans un **milieu hétérogène** ou isotrope la résistivité électrique résulte de la contribution de tous les éléments traversés par le courant émis.



Conducteur sur résistif



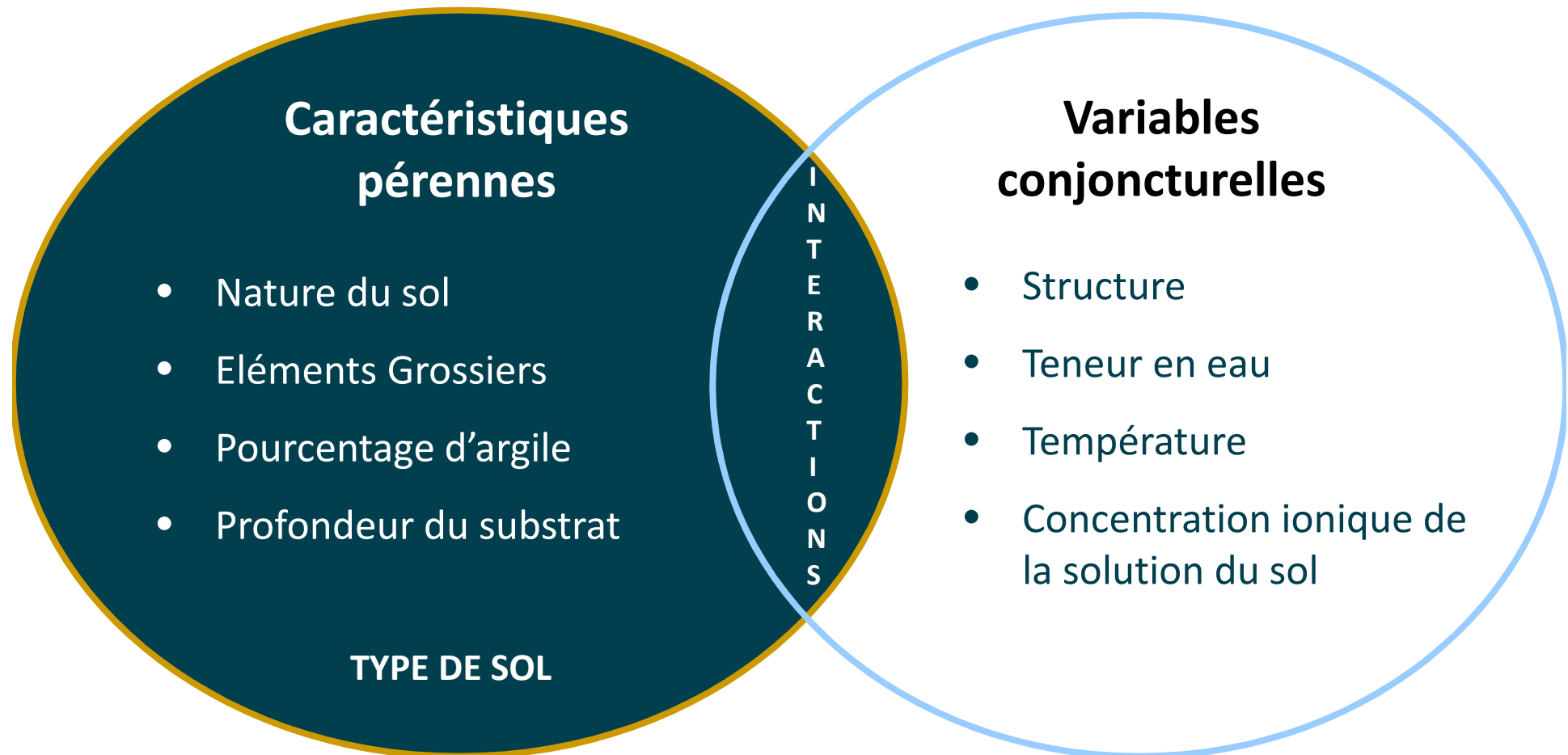
Résistif sur conducteur



Hétérogénéité locale

ρ mesurée = ρ apparente

De quoi dépend la résistivité électrique d'un sol ?

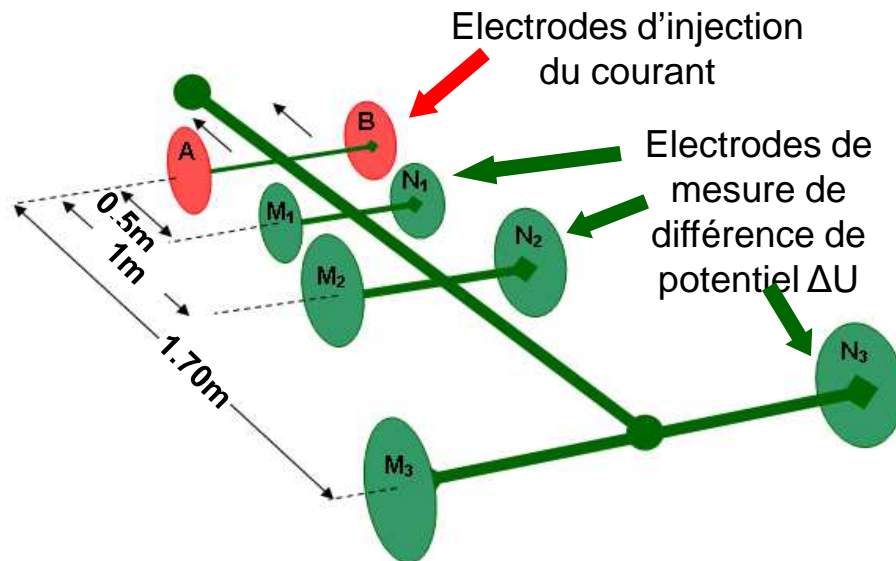


La mesure tractée de résistivité électrique



L'ARP (Automatic Resistivity Profiler) :

- Prospection électrique « continue » : enregistrement sur les trois voies tous les 10 cm
- Résolution latérale dépend uniquement du trajet réalisé
- Mesures géoréférencées : dGPS, précision planimétrique de l'ordre de 10 cm
- Prospection rapide : 10 à 15 km/h



3 écartements (Voie 1, Voie 2, Voie 3)

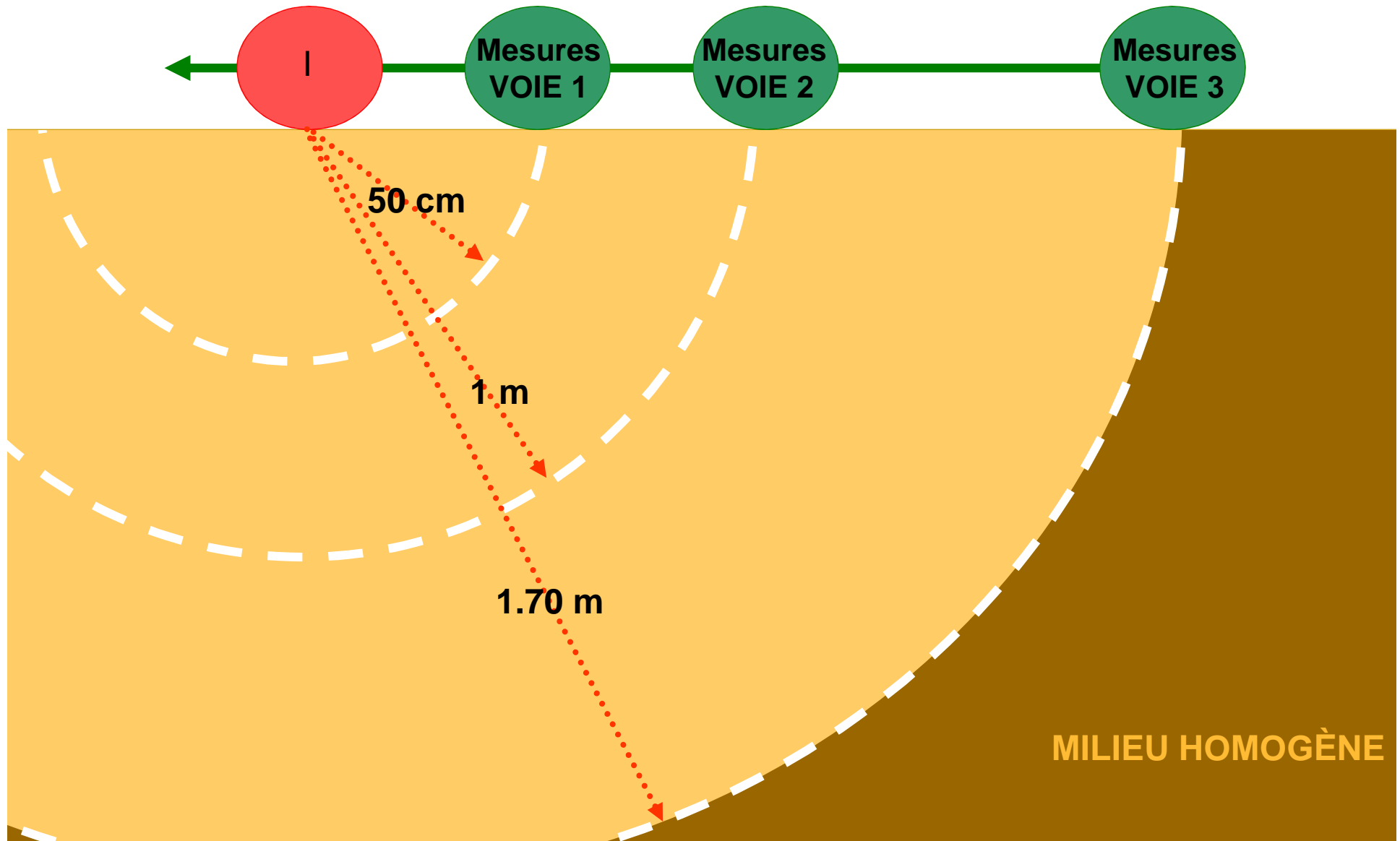
=

3 profondeurs d'investigation

=

3 cartes de résistivité apparente

Que mesure-t-on ?



Plan de la présentation

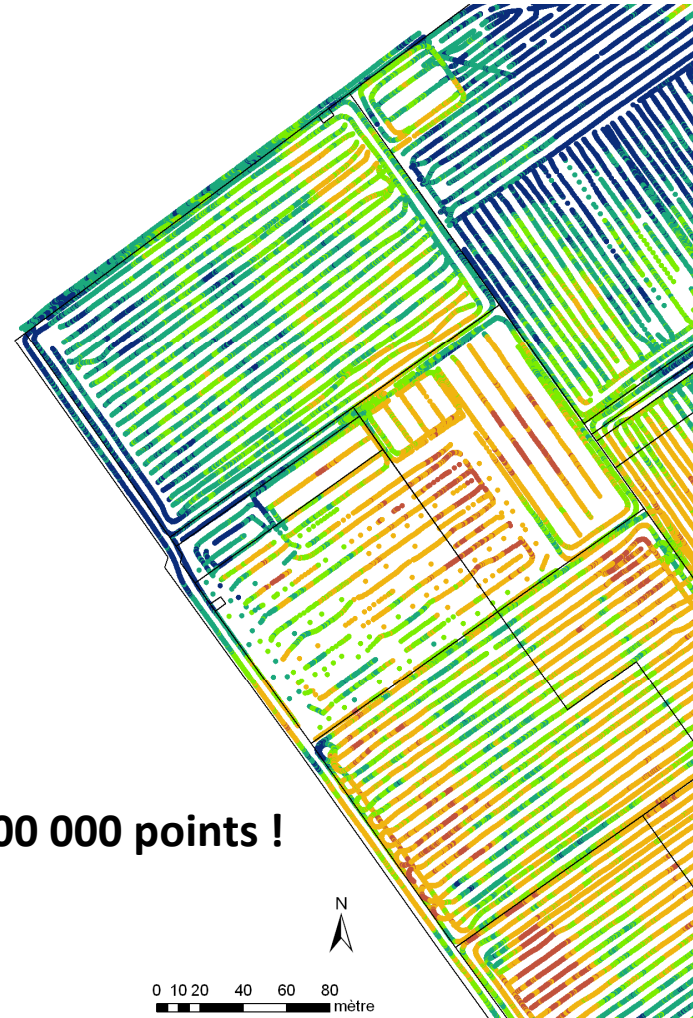
1. La mesure de résistivité électrique
2. Comment réaliser des cartes de résistivité ?
→ *Utilisation d'ArcGis, Exemple de l'UE d'Epoisses*
3. Comment interpréter les cartes ?
4. Quelles applications ?

Les données brutes

Surfer - [LuxWGS84brute.dat]

File Edit Format Data Window Help

A1		EASTING									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	EASTING	NORTHING	Z	voie 1	voie 2	voie 3	fichier				
2	6.1562352	49.929478	433.13	403.94	635.74	847.43		4			
3	6.1562407	49.929479	433.13	417.66	613.12	827.14		4			
4	6.1562422	49.929479	433.15	425.78	555.75	765.04		4			
5	6.1562438	49.929479	433.15	415.49	569.57	751.01		4			
6	6.1562452	49.929479	433.15	403.22	549.05	759.03		4			
7	6.1562467	49.929479	433.15	386.79	550.3	759.28		4			
8	6.1562482	49.929479	433.15	383.9	588	757.77		4			
9	6.1562496	49.929479	433.15	403.22	566.64	762.03		4			
10	6.1562511	49.929479	433.15	415.13	577.11	799.09		4			
11	6.1562525	49.929479	433.15	413.32	580.46	785.57		4			
12	6.1562541	49.929479	433.15	413.68	572.08	784.32		4			
13	6.1562556	49.929479	433.15	412.24	571.24	790.83		4			
14	6.1562570	49.929479	433.15	384.45	550.3	769.79		4			
15	6.1562587	49.929479	433.2	389.32	551.98	782.32		4			
16	6.1562603	49.929479	433.2	449.24	592.18	805.1		4			
17	6.1562619	49.929479	433.2	459.89	587.16	796.59		4			
18	6.1562635	49.929479	433.2	485.52	598.89	793.84		4			
19	6.1562651	49.929479	433.2	470.18	598.47	783.07		4			
20	6.1562667	49.929479	433.2	464.58	600.14	776.81		4			
21	6.1562684	49.929479	433.2	436.16	571.24	736.74		4			
22	6.1562699	49.929479	433.2	447.8	560.36	705.19		4			
23	6.1562716	49.929479	433.2	462.24	586.32	684.65		4			
24	6.1562733	49.929479	433.2	494.36	600.56	701.93		4			
25	6.1562748	49.929479	433.2	508.26	593.44	700.43		4			
26	6.1562765	49.929480	433.2	511.87	593.44	716.46		4			
27	6.1562781	49.929480	433.2	529.92	623.59	747.01		4			
28	6.1562797	49.929480	433.2	528.12	614.38	735.99		4			
29	6.1562813	49.929480	433.2	493.64	592.6	701.93		4			
30	6.1562829	49.929480	433.2	464.58	557.42	686.4		4			
31	6.1562845	49.929480	433.2	448.7	558.26	687.16		4			
32	6.1562862	49.929480	433.2	424.51	549.05	694.42		4			
33	6.1562875	49.929480	433.28	-1	-1	-1		4			
34	6.1562889	49.929480	433.28	434.8	555.75	723.72		4			
35	6.1562902	49.929480	433.28	434.62	555.75	723.72		4			
36	6.1562916	49.929480	433.28	444.37	538.16	732.48		4			
37	6.1562929	49.929480	433.28	457.72	521.83	746.26		4			
38	6.1562943	49.929480	433.28	426.32	485.81	729.48		4			
39	6.1562957	49.929480	433.28	399.61	478.69	713.95		4			
40	6.1562970	49.929480	433.28	405.56	494.19	722.72		4			
41	6.1562983	49.929480	433.28	427.04	517.64	746.26		4			
42	6.1562997	49.929480	433.28	433.54	539.42	767.04		4			
43	6.1563011	49.929481	433.28	423.61	539	763.03		4			
44	6.1563025	49.929481	433.28	430.29	544.86	768.54		4			
45	6.1563037	49.929481	433.28	429.93	541.09	739.24		4			
46	6.1563051	49.929481	433.28	427.22	539	738.99		4			
47	6.1563065	49.929481	433.28	421.08	532.72	719.96		4			
48	6.1563079	49.929481	433.28	402.86	526.01	721.71		4			



Les données interpolées

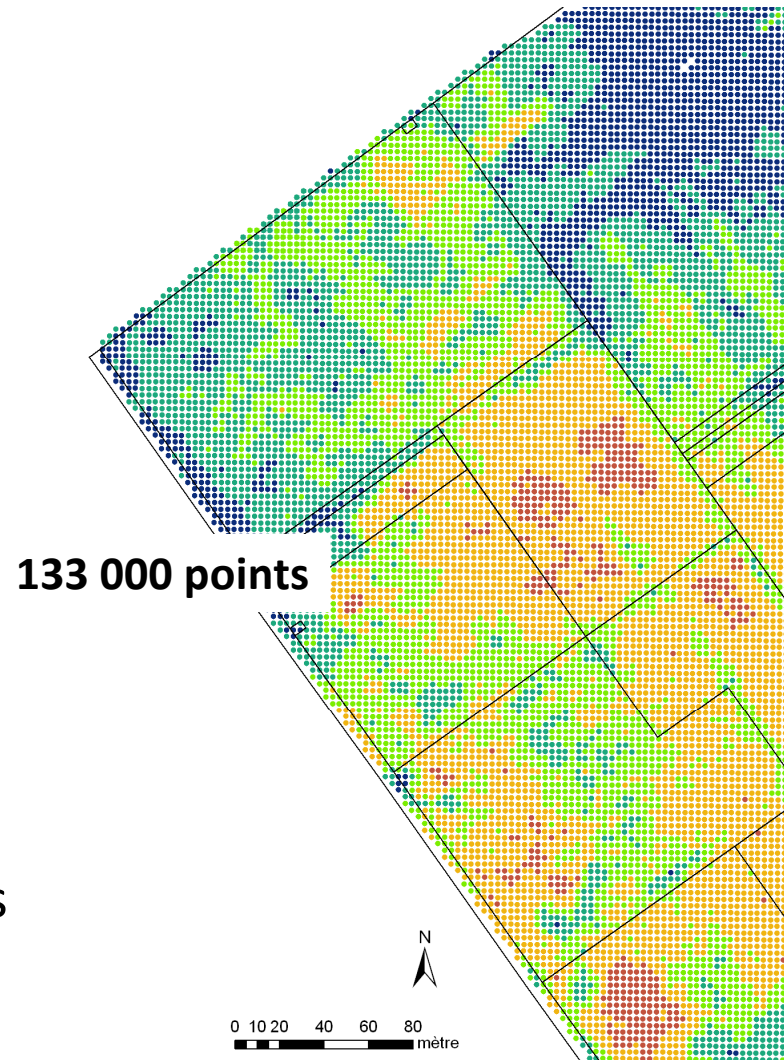
Fournies par Geocarta :

- Interpolation par fonction spline
- Taille de la maille dépend de l'écartement entre les passages (égale à la moitié)

Dans ArcGis :

Spatial Analyst -> Interpolation -> Spline avec interruptions

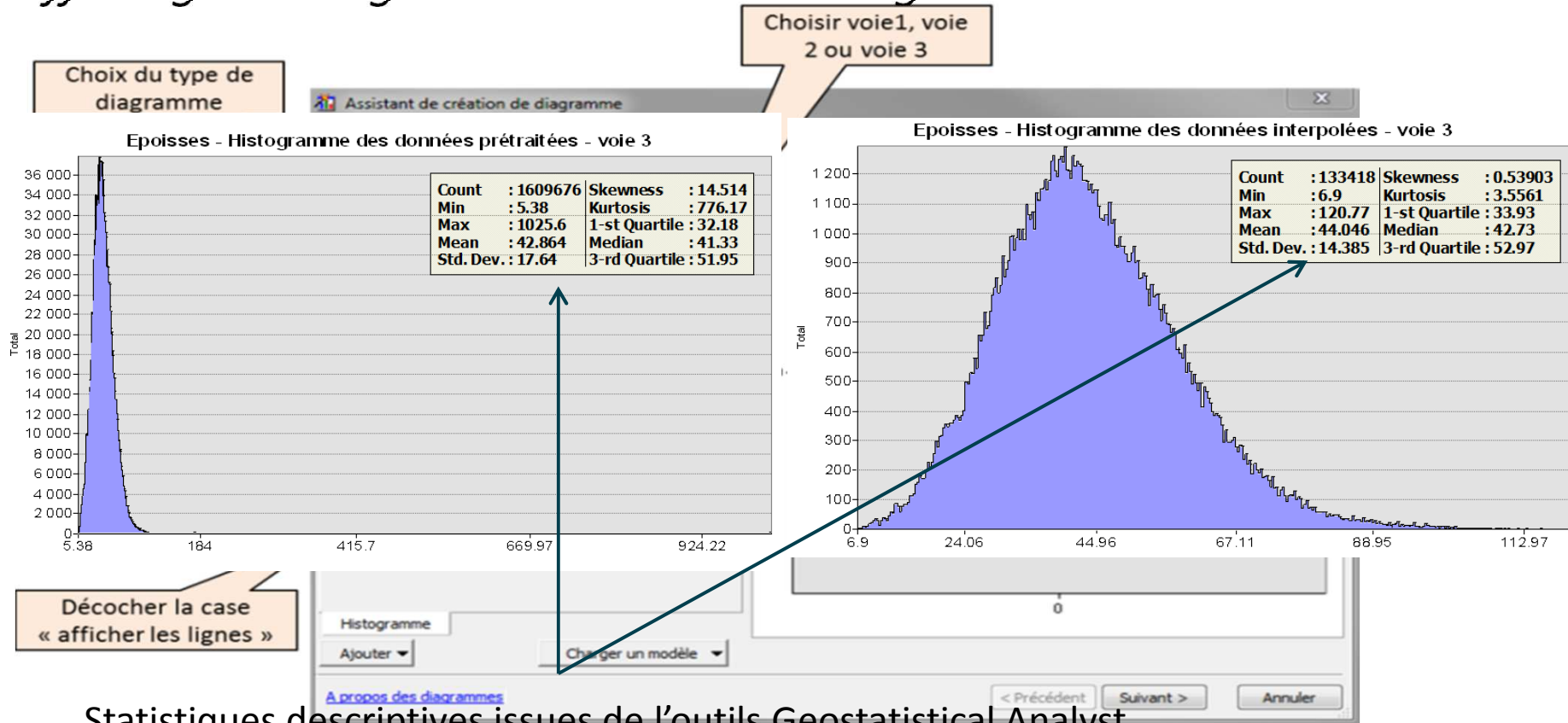
- Taille de la cellule en sortie = moitié de l'écartement entre les passages
- Interruption = polygone contours de la zone



Effet de l'interpolation

Création d'histogrammes

Affichage -> Diagramme -> Créer un diagramme

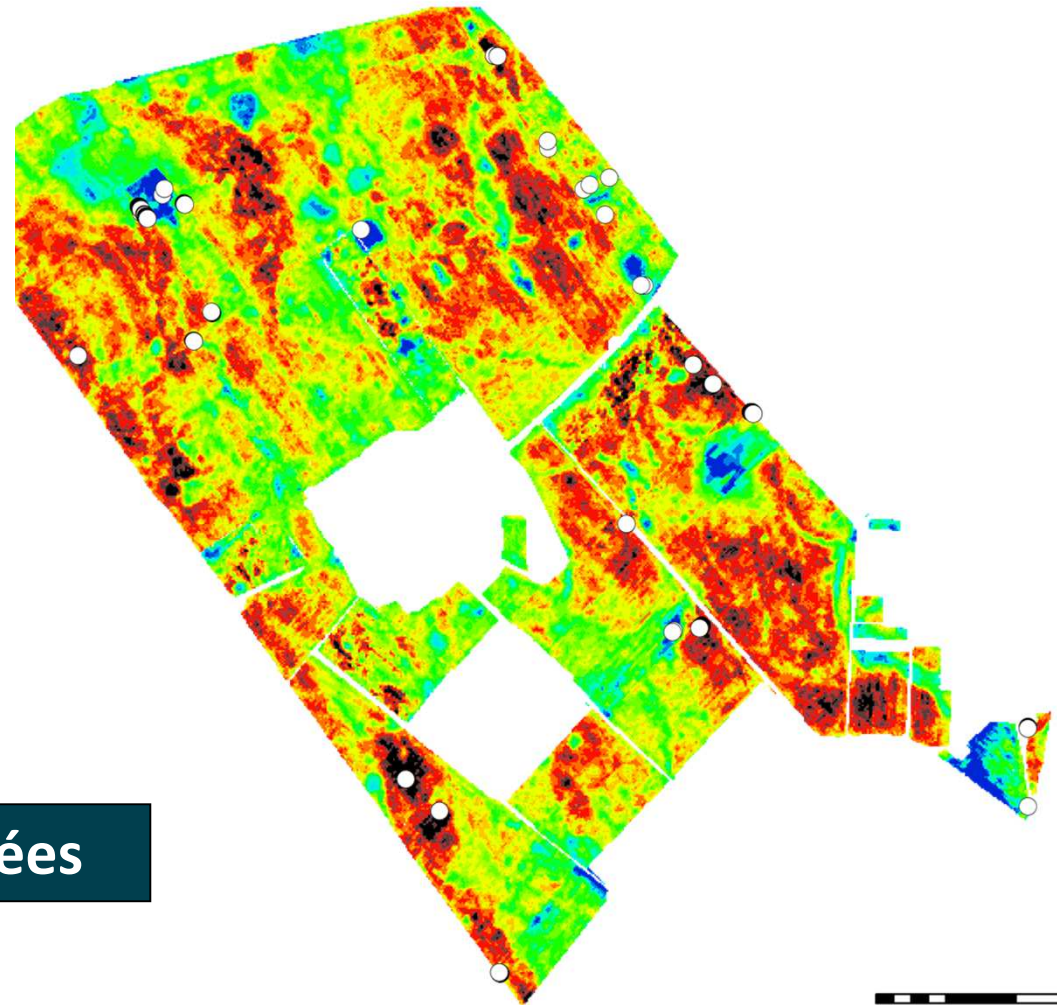


Statistiques descriptives issues de l'outil Geostatistical Analyst

Effet de l'interpolation

Position des points concernés par l'écrêtage de l'histogramme

- Sélection par attribut
Sélection -> Sélection selon les attributs -> « voie 3 » < 6.9 OR « voie 3 » > 120.7 -> appliquer
- Création de la couche
Sélection -> créer une couche à partir des entités sélectionnées



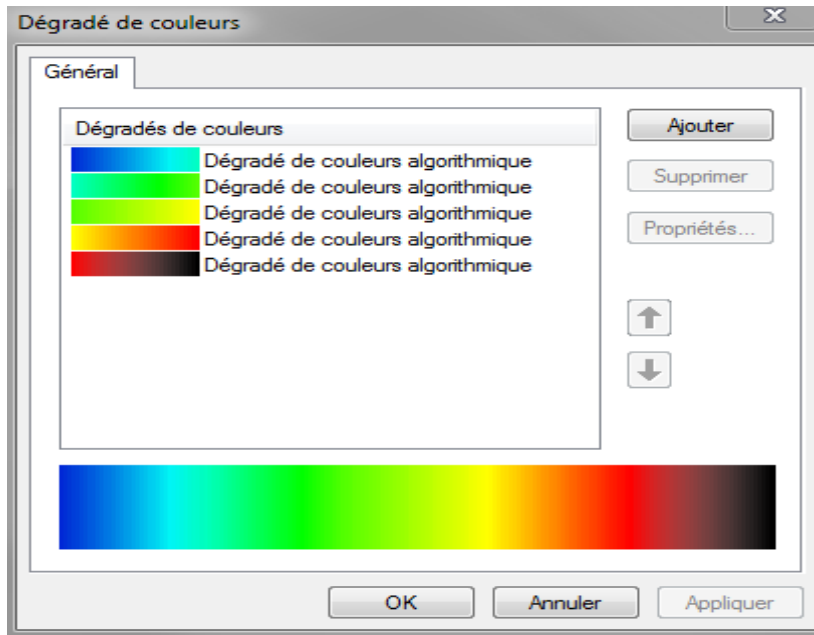
Concerne des mesures localisées

0 60 120 240

Création et affichage des cartes

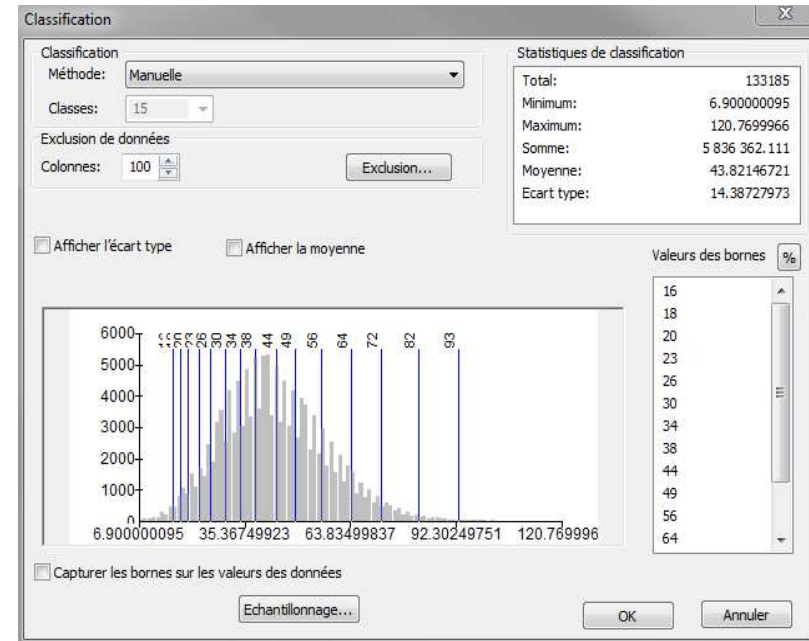
1/ Conversion des données interpolées en 3 rasters : *ArcToolBox* -> *outils de conversion* -> *vers raster* -> *entités vers raster*

2 / Création manuelle d'un dégradé de couleurs identique pour les trois voies



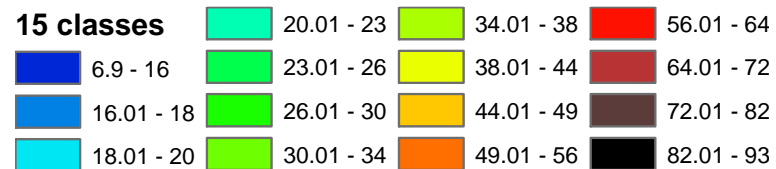
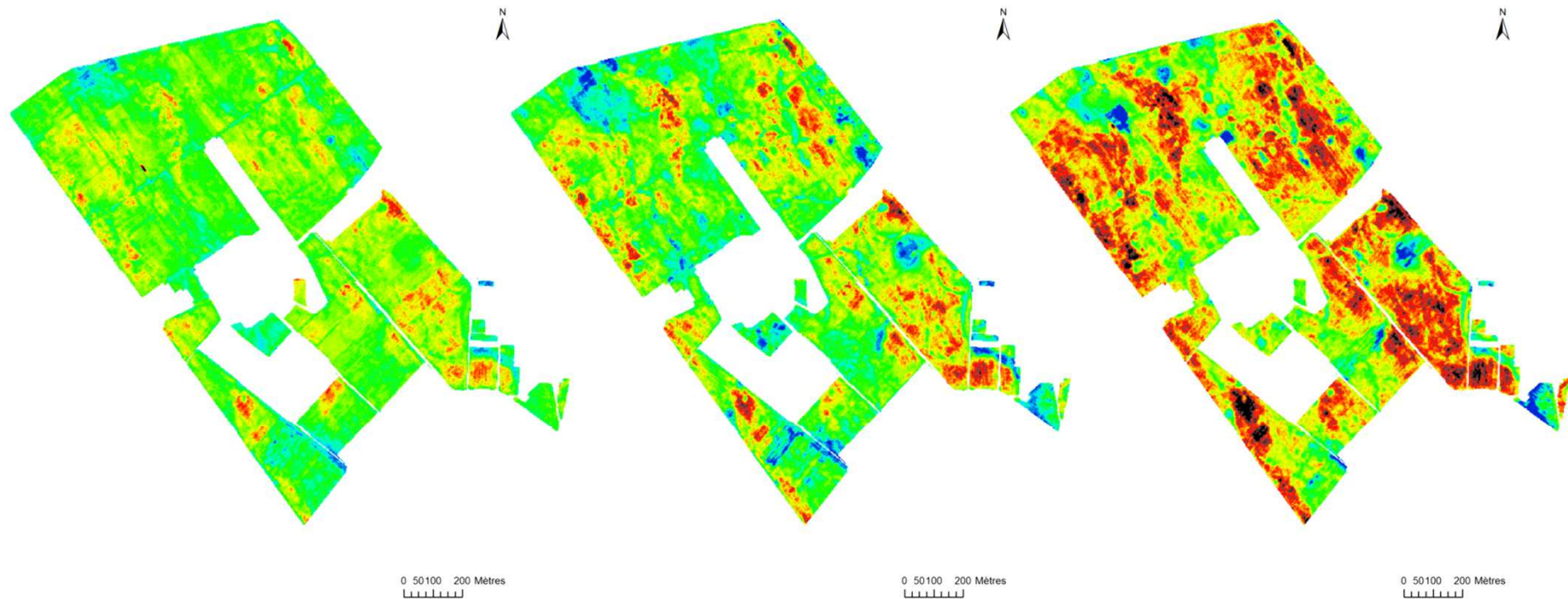
Gestionnaire des styles – clic droit sur « Dégradé » -> Nouveau

3/ Saisie manuelle des bornes de la symbologie classée (calcul des bornes avec un outils Excel)



Symbologie → classée → manuellement

Création et affichage des cartes



Plan de la présentation

1. La mesure de résistivité électrique
2. Comment réaliser des cartes de résistivité ?
3. Comment interpréter les cartes ?
4. Quelles applications ?

Seule, la résistivité ne veut rien dire...

- Principe d'équivalence : Deux sous-sols très différents peuvent engendrer un même résultat de résistivité apparente
- Deux sous-sols très proches peuvent engendrer des mesures de résistivité apparente très différentes.

Exemple : une couche fine très conductrice en surface

Pour faire «parler les cartes», des observations de terrain sont indispensables (sondages pédologiques, fosses)

- Attention aux prospections multi dates -> effet des variables conjoncturelles

Données complémentaires utiles

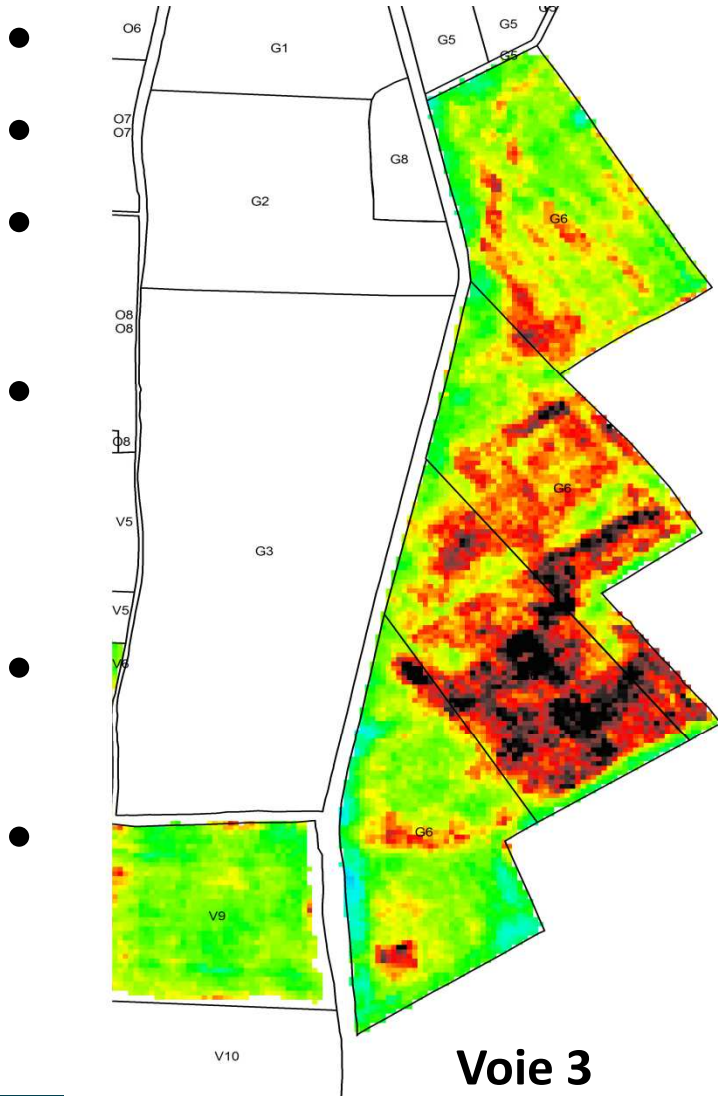


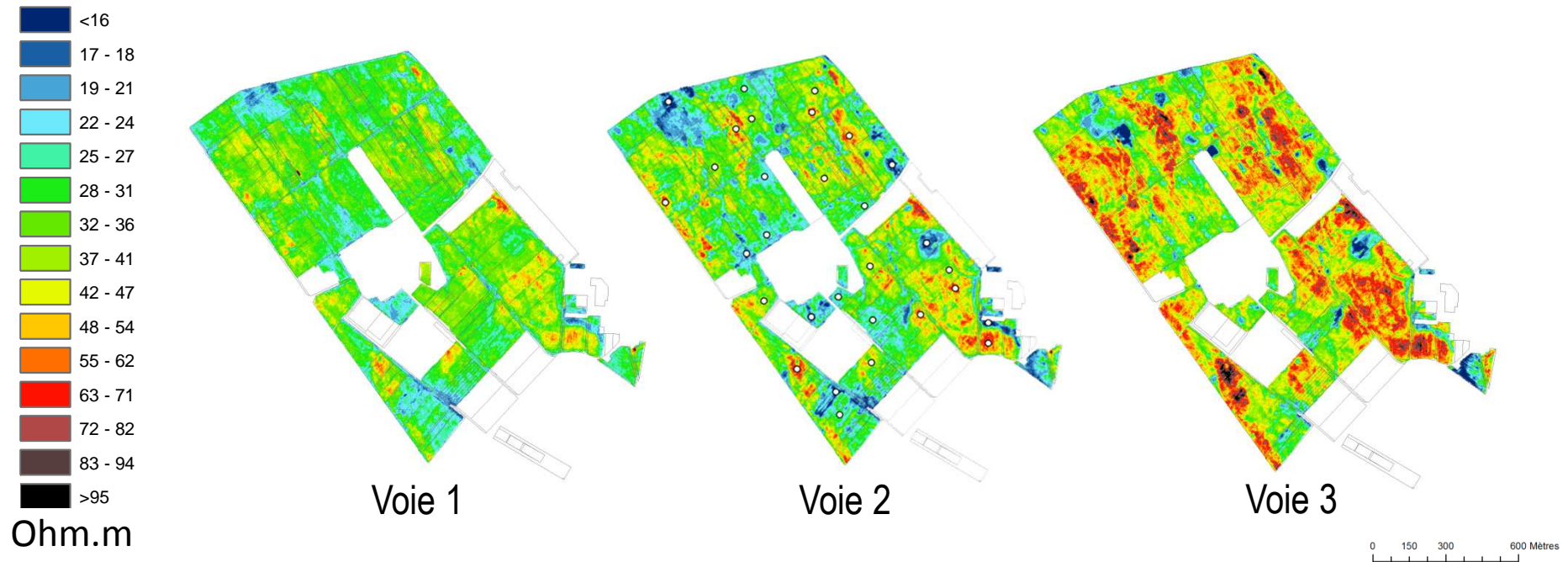
Photo aérienne 1950 (Géoportail)

Plan de la présentation

1. La mesure de résistivité électrique
2. Comment réaliser des cartes de résistivité ?
3. Comment interpréter les cartes ?
4. Quelles applications ?

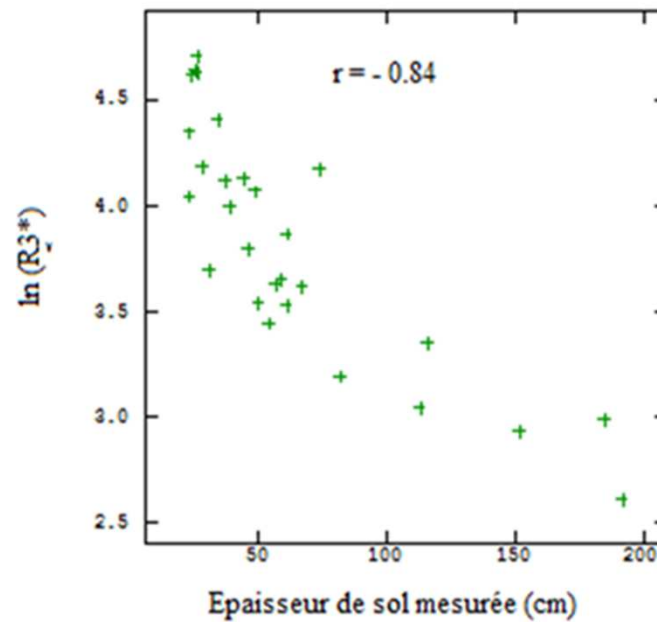
Optimisation du plan d'échantillonnage pour la caractérisation des sols de l'UE d'Epoisses

- Sols argilo-limoneux, plus ou moins épais sur cailloutis calcaire
- Prospections réalisées sur 10 jours, conditions de prospection stables

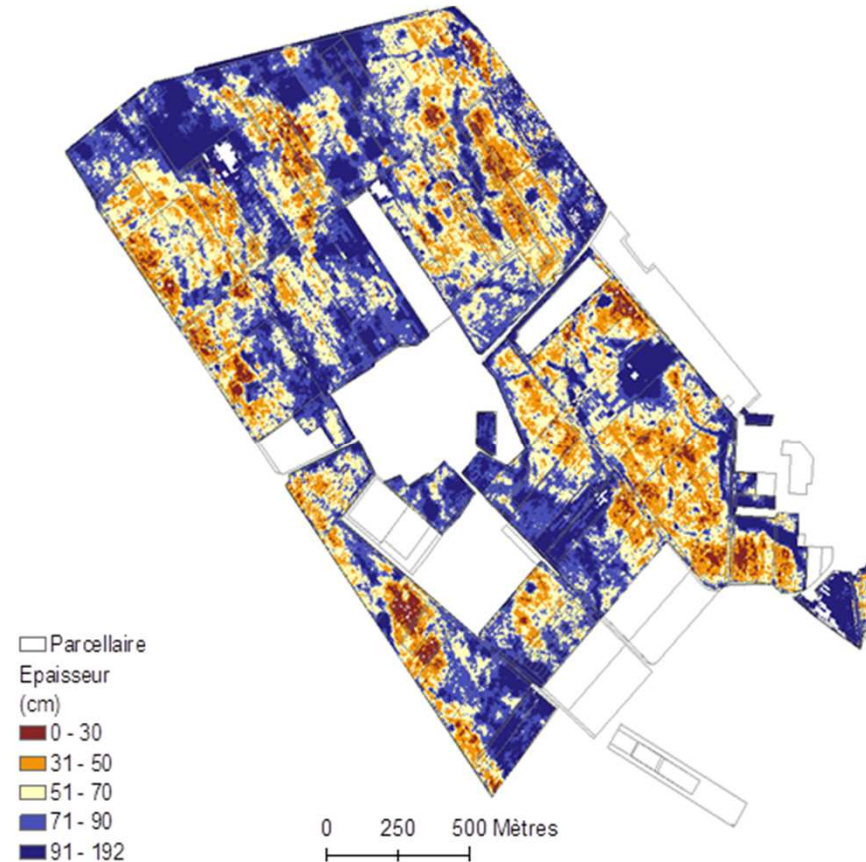


- Description des sols : les zones résistantes correspondent à des sols courts
- Identification d'une zone de sol profond mais résistant → texture sableuse

Modélisation de l'épaisseur du sol



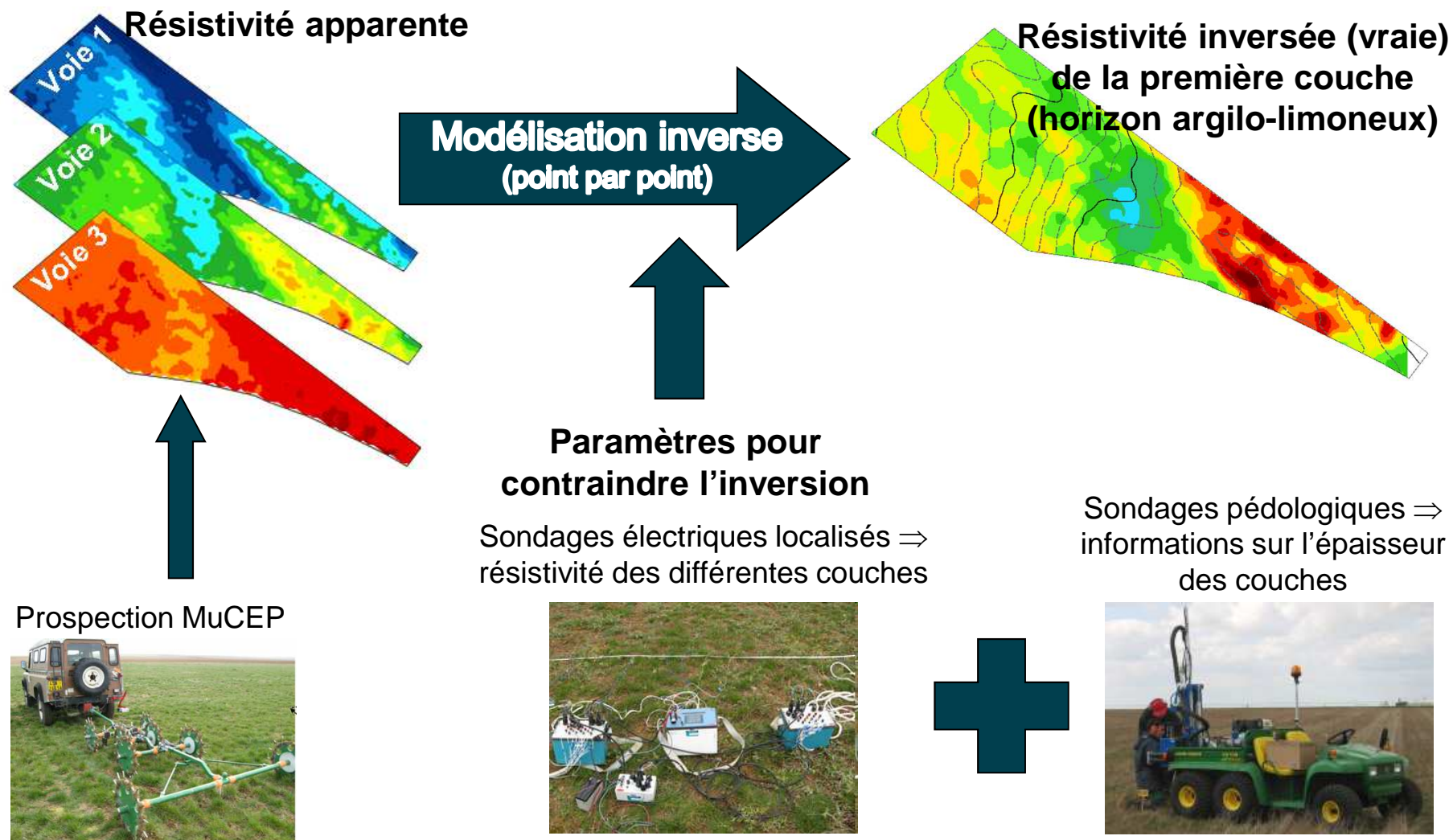
$$\text{Epaisseur} = 333,6 - (70,7) \times \ln(R3^*)$$
$$R^2_{\text{ajusté}} = 0,70, p\text{-value} < 0,0001$$



Stage M2, Ndjiba Mitombo D., 2013.

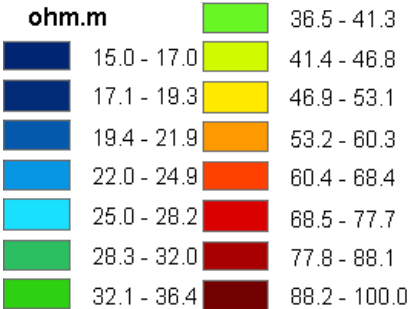
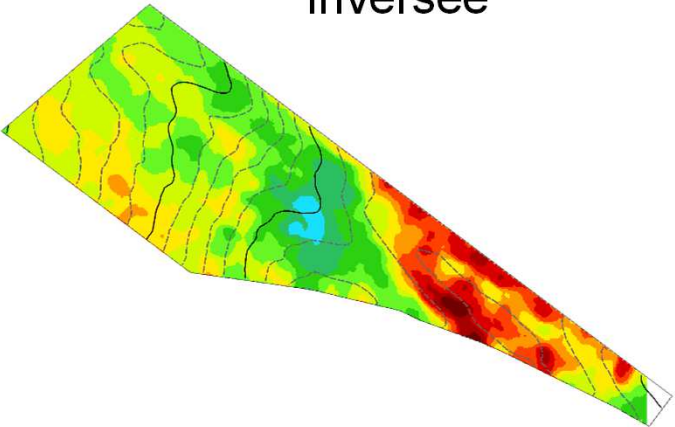
Validation à venir....

Vers les propriétés hydriques (1/2)

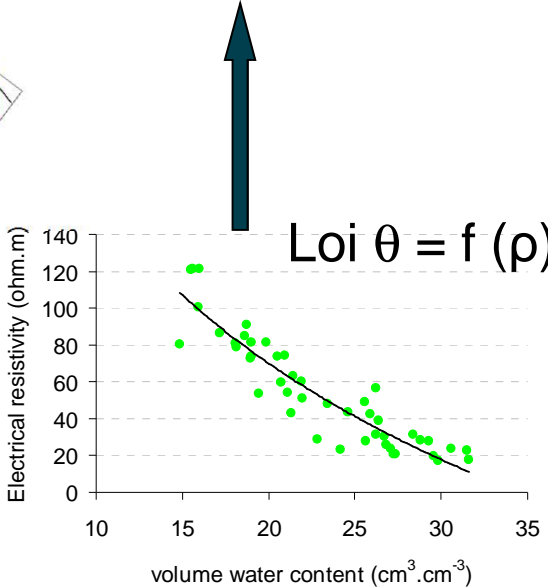
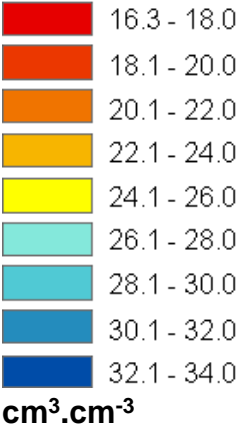
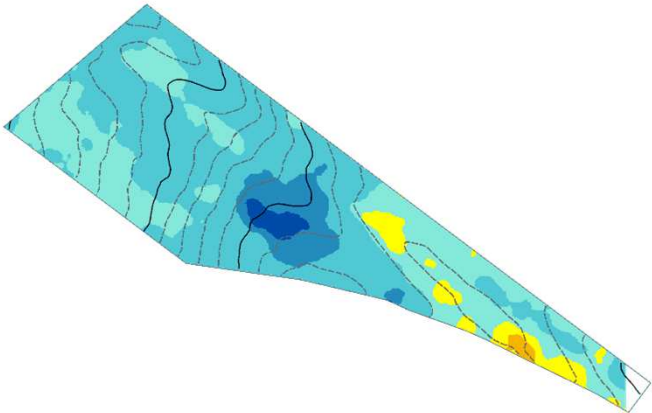


Vers les propriétés hydriques (2/2)

Carte de résistivité inversée



Carte de teneur en eau de l'horizon argilo-limoneux



Conclusions

La méthode géoélectrique ne remplace pas la prospection pédologique.

Mais, elle permet de :

- 1/ Optimiser la stratégie d'échantillonnage
- 2/ Affiner le contours des unités
- 3/ Obtenir, dans certains systèmes des cartes de propriétés du sol, grâce à une calibration

Avantages de la méthode :

- Système rapide à mettre en œuvre
- Mesures non destructives, permettant le suivi temporel
- Haute résolution
- Méthode robuste, mesure peu parasitée par les conditions du milieu

Des difficultés :

- Conditions de mesures :
 - Période sèche : contact sol/électrodes
 - Période très humide : effet prépondérant de l'humidité du sol
- Nombreux facteurs d'influence \Rightarrow privilégier les prospections sur les même périodes



Merci pour votre
attention !