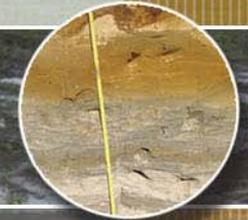
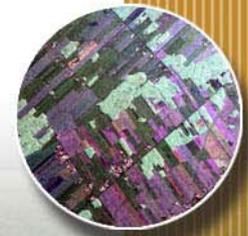




Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Comment réduire la variabilité de l'échantillonnage des sols?

**Présenté le 24 février 2011 Drummondville
Comité ad hoc échantillonnage au champ
commission chimie fertilité du CRAAQ**

Athyna N. Cambouris et Michel C. Nolin

Laboratoires de pédologie et d'agriculture de précision (LPAP), Agriculture et
Agroalimentaire Canada (AAC)

Canada

AGRICULTURE DE PRÉCISION : Règle des 3 «C»

3-Contrôler

- * Application à taux variable (agriculture de précision)
- * Gestion localisée (par zone d'aménagement)
- * Plan précis d'aménagement agro-environnemental



**Variabilité
spatio-temporelle
des sols et des cultures**



**Établir le bon
diagnostic**

1-Connaître

**Quantifier, Modéliser
et Cartographier**

2-Comprendre

**Causes, Processus et
Impacts**

Variabilité des sols

Nature et composante

- *Variabilité aléatoire (modèle inconnu)*
 - *Erreur d'échantillonnage*
 - *Erreur de mesure*

- *Variabilité systématique (modèle connu)*
 - *Variabilité temporelle (selon le temps)*
 - *Variabilité spatiale (dans l'espace)*

Variabilité des sols

Origine et causes

➤ *Variabilité intrinsèque*

- *liée aux facteurs de formation du sol*
- *origine (dépôt meuble, forme de terrain)*
- *processus physiques (pédoturbation)*
- *processus physico-chimiques (hydrolyse, oxydo-réduction, lessivage, etc.)*

➤ *Variabilité extrinsèque*

- *liée à l'aménagement des terres*
- *travaux de mise en valeur, pratiques culturales, intrants, etc.*

Échantillonnage des sols



La première Étape

- 1- Planification – (i.e. 1 éch. par 10 ha de sol homogène comment stratifier (plusieurs exemples))

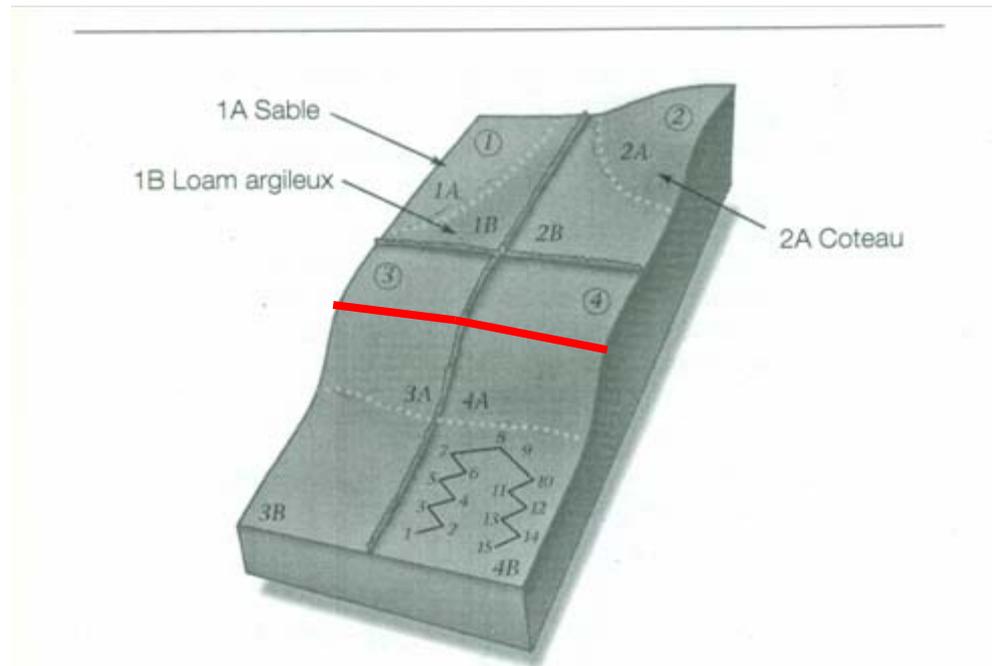
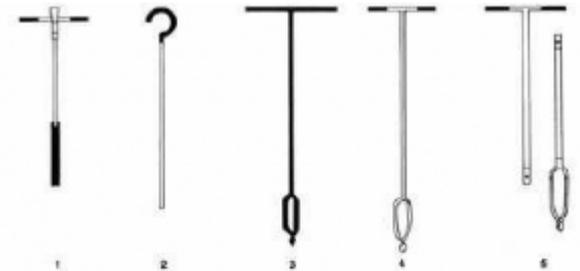


Figure 1.4 Diagramme de prélèvement des échantillons
(exemple comportant 4 champs et 8 échantillons)

Source : Regroupement CPAQ-CPVQ-GÉAGRI, 2000

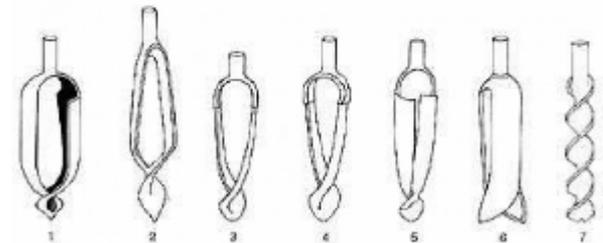
Les 2 et 3 Étapes

- Prélèvement d'un échantillon représentatif
 - Donner quelques recommandations - équipement et repères



Différents modèles de tarières (ou sondes)
1. tarière à gouge
2. « canne pédologique »
3. type Hélias (« française »)
4. type Edelman
5. type Edelman démontable (à baïonnette).
Extrait de: Guide pour la description des sols (D. BAIZE, 1995)

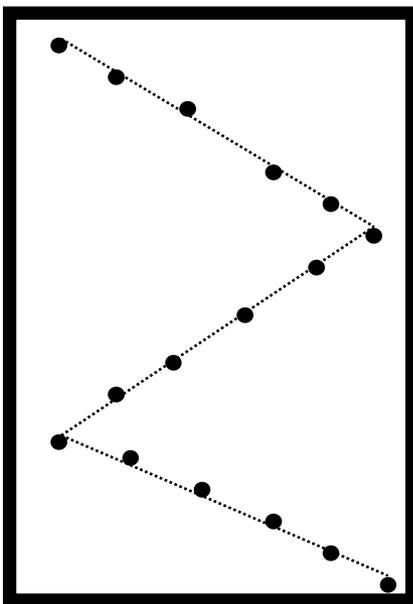
- Envoi des échantillons



Différents modèles de « têtes » de tarière.
1. type Hélias (« française »)
2. type « belge »
3. type Edelman normal
4. type Edelman intermédiaire
5. type Edelman pour sables
6. spécial pour horizons graveleux
7. tête spirale (Ø 3 ou 4 cm).
Extrait de: Guide pour la description des sols (D. BAIZE, 1995)

Stratégie d'échantillonnage agriculture classique

Échantillonnage en zigzag



Application uniforme

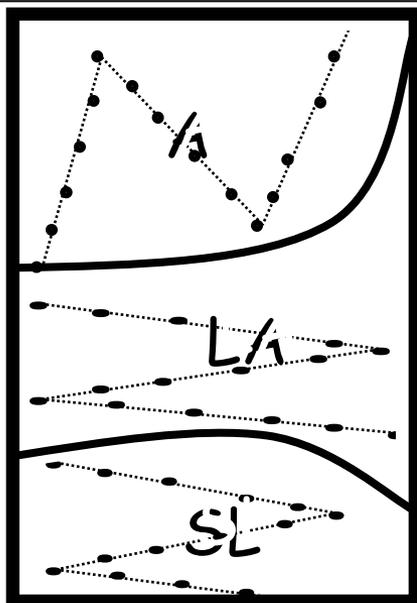
Teneur moyenne
du champ

Échantillon composite (15-18)

Une seule valeur pour
l'ensemble du champ

Stratégie d'échantillonnage agriculture classique et précision

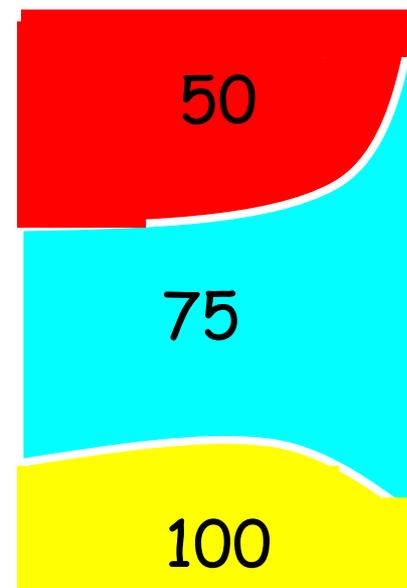
Échantillonnage
stratifié (en zigzag)



Échantillon composite
(15-18) par zone



Application uniforme
par zone

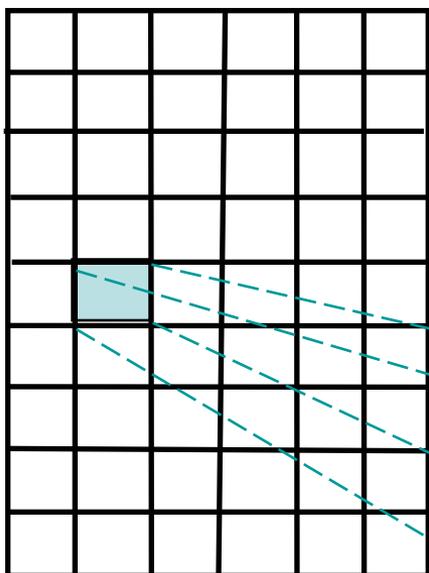


Une valeur d'application par zone

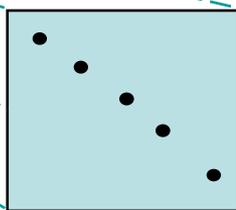
(e.g. zone basée sur la texture, le drainage, la topographie,
la conductivité électrique, etc.)

Stratégie d'échantillonnage agriculture de précision

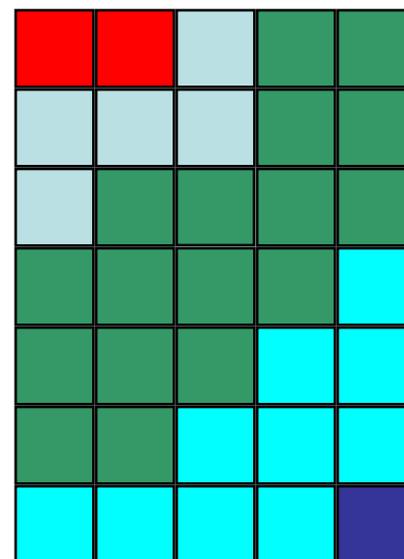
CELLULE



Échantillon composite (8-10)



CELLULE

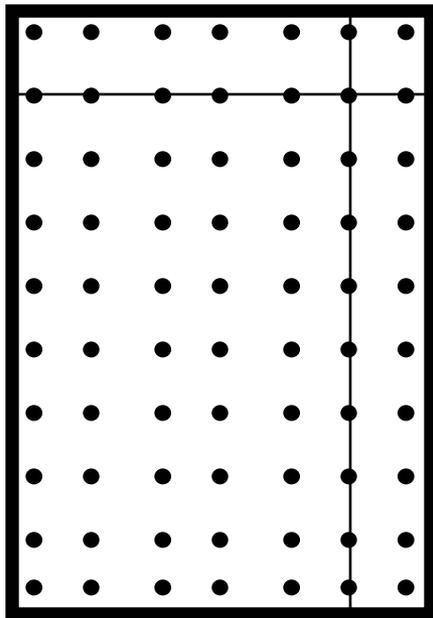


Une valeur par cellule
gestion localisée de la variabilité spatiale
ATV: une valeur d'application par cellule

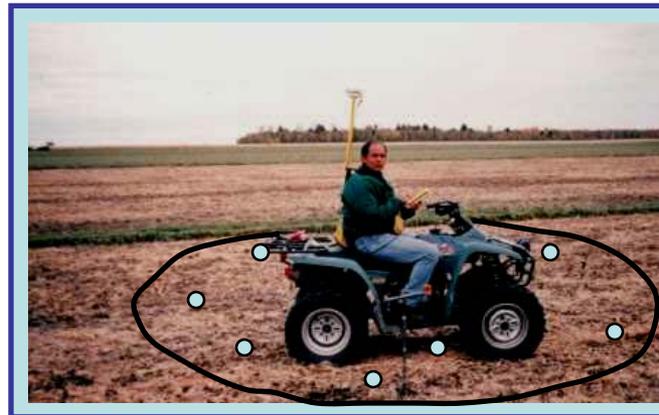
Problématique d'échantillonnage

Agriculture de précision

Échantillonnage par grille

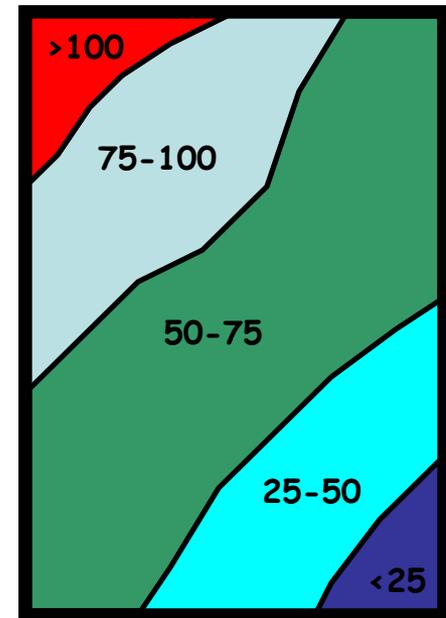


Wollenhaupt et Wolkowski (1993)



Échantillonnage géoréférencé par DGPS

Application à taux variable
(kg P_2O_5 ha⁻¹)



Problématique d'échantillonnage

Agriculture de précision

Échantillonnage par grille



Application à taux variable
(kg P₂O₅ ha⁻¹)



Carte générée par interpolation spatiale

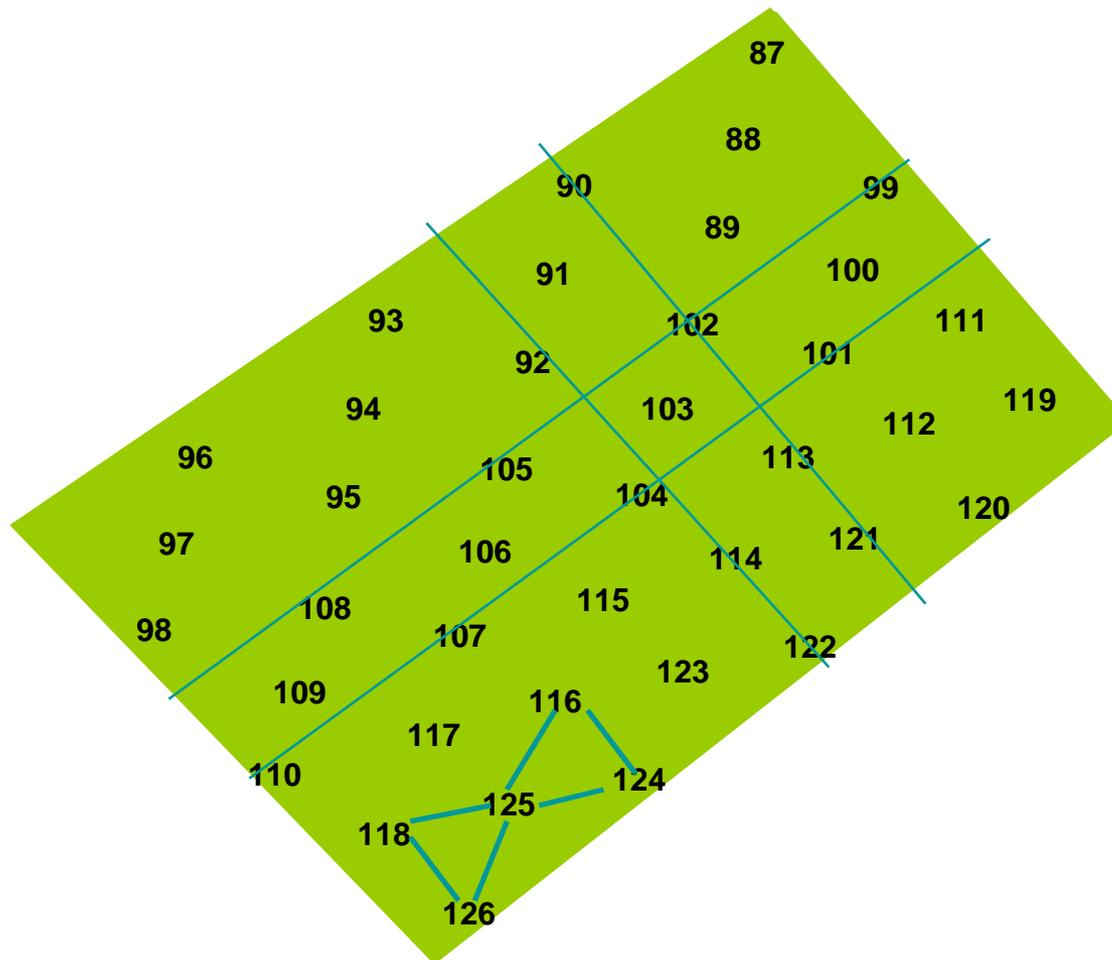
(e.g. krigeage, distance inverse, etc.)

Gestion continue de la variabilité spatiale

chaque point d'échantillonnage est
géoréférencé

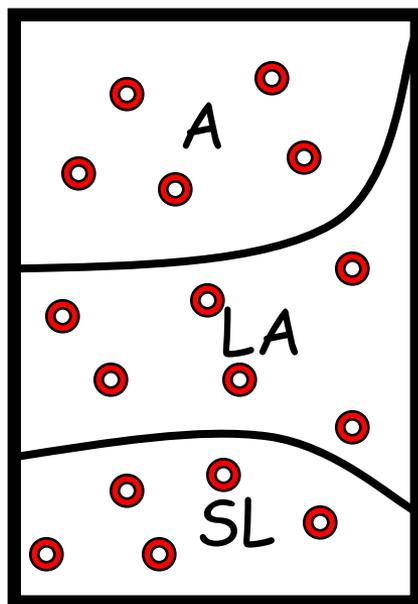
Echantillonnage géoréférencé par DGPS

ÉCHANTILLONNAGE EN QUINCONCE

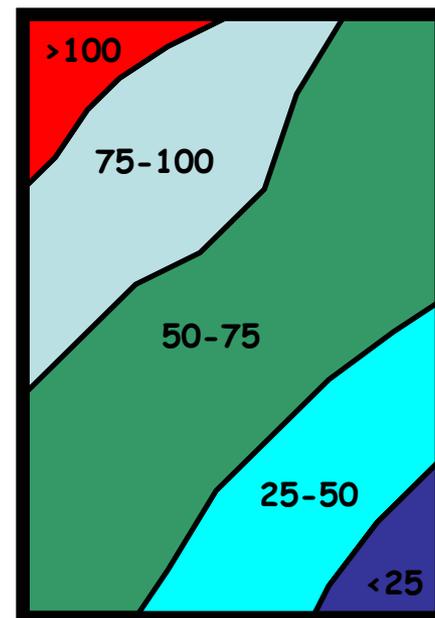


Stratégie d'échantillonnage agriculture de précision

Échantillonnage dirigé



Application à taux variable



Échantillonnage géoréférencé par DGPS

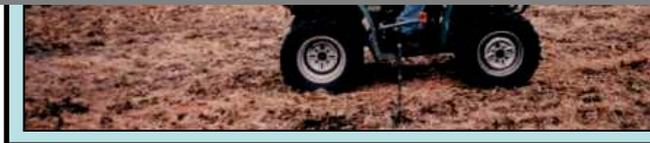
Stratégie d'échantillonnage agriculture de précision

Échantillonnage
dirigé

Application à taux
variable

Carte générée par interpolation spatiale

Gestion continue de la variabilité spatiale
(zone basée sur la texture, le drainage, la
topographie, la conductivité électrique, etc.)



Échantillonnage géoréférencé par DGPS

La précision et la fiabilité des cartes dépendent de la qualité de l'échantillonnage...

- **Donc bien planifier votre stratégie d'échantillonnage**
 - **utiliser les informations à votre disposition (e.g. carte de sols, carte de conductivité électrique, cartes de rendement, photos aériennes, etc.)**

L'échantillonnage intensif des sols; Pourquoi ?

- **Connaître la variabilité**
 - CV (intensité)
 - variogramme (structure spatiale)
- **Localiser la variabilité**
 - cartes de fertilité
- **Gérer la variabilité**
 - cartes d'application à taux variable

Variabilité spatiale du pH

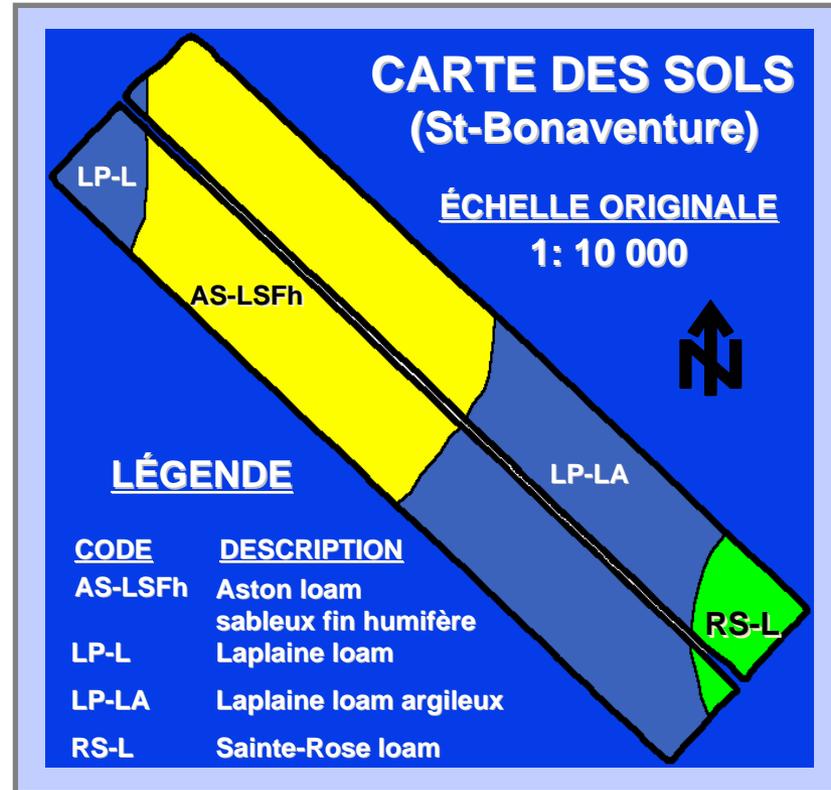
LAPLAINE



ASTON



STE-ROSE



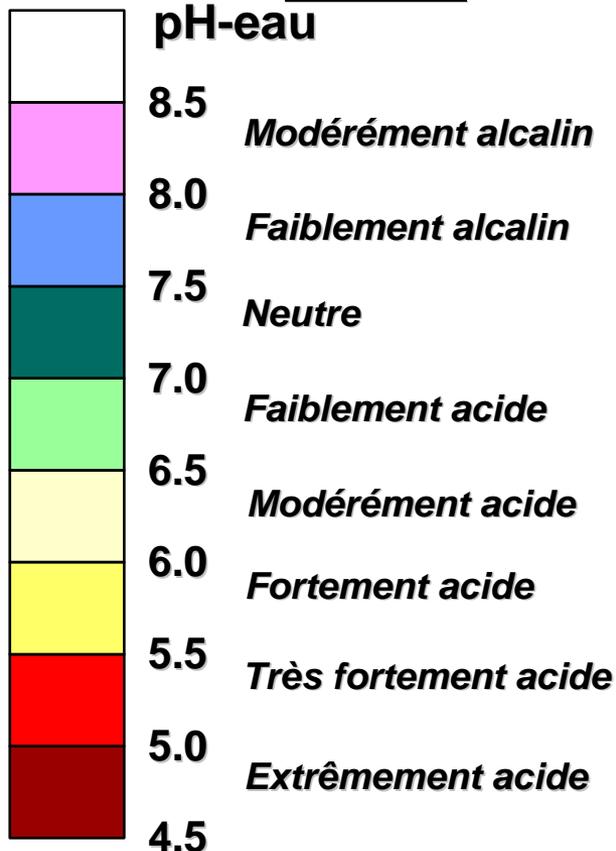
<u>SÉRIES</u>	<u>MATÉRIAU</u>	<u>RÉSERVE EN EAU</u>	<u>PERMÉABILITÉ</u>
Aston	Sableux mince	Basse	Rapide
Ste-Rose	Loameux	Modérée	Modérée
Laplaine	Argileux	Élevée	Lente

Classes de pH_{eau} du sol

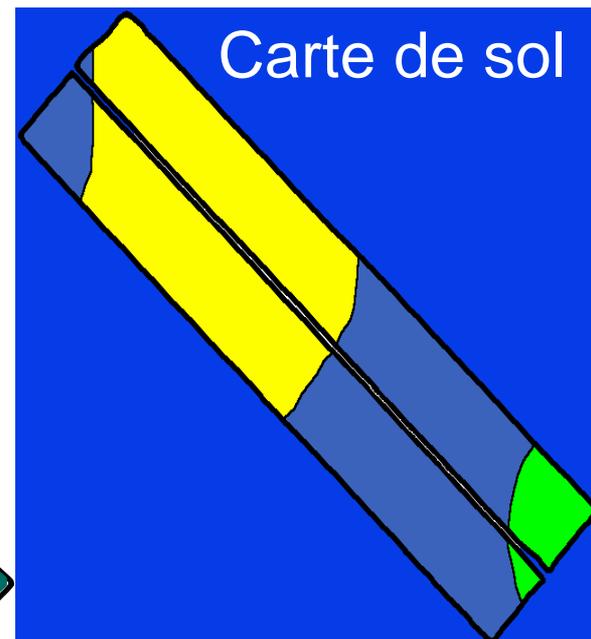
Exemple: St-Bonaventure (Yamaska)

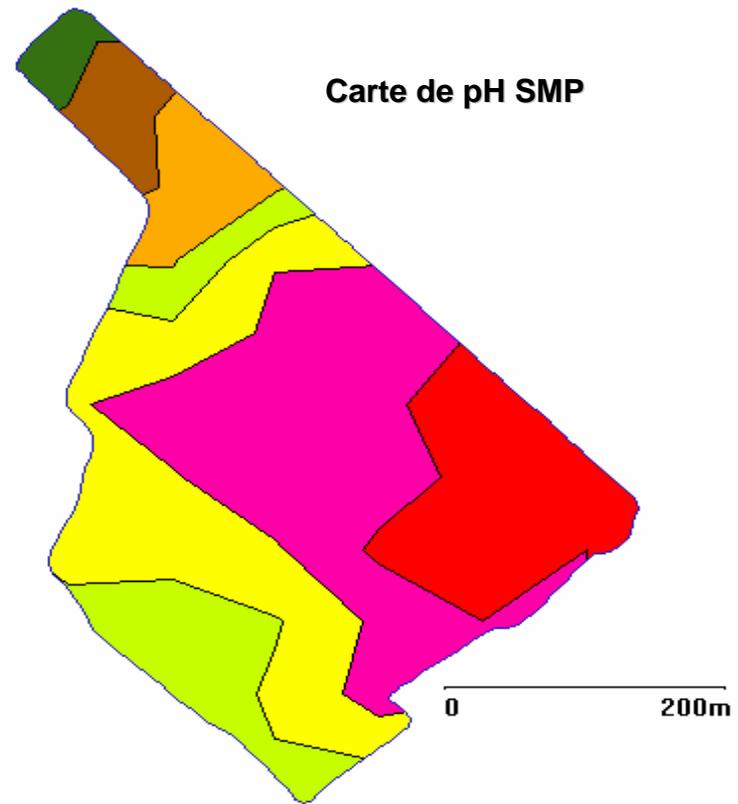
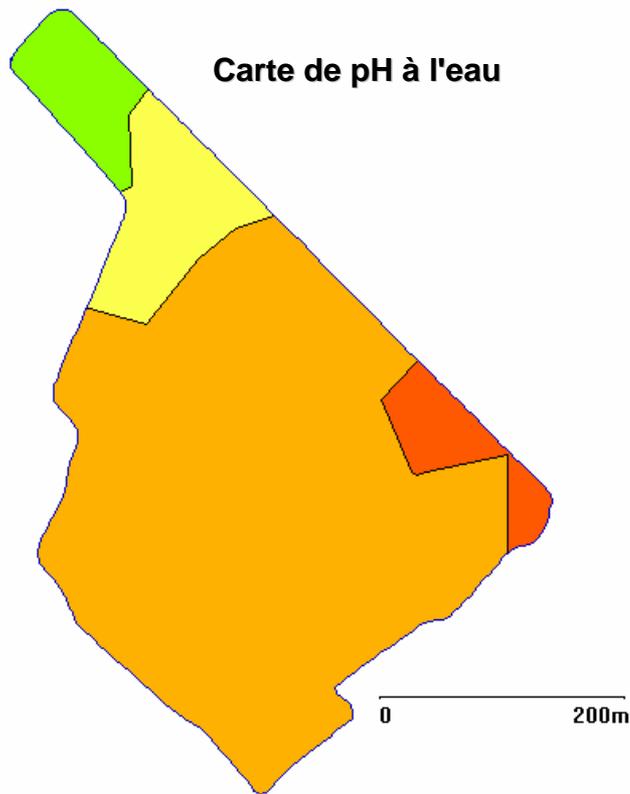
LÉGENDE

pH-eau



Échelle originale
1: 7 500
1 cm = 75 m





Classe de pH à l'eau

	> 7.0	Neutre
	6.7-7.0	Faiblement acide
	6.3-6.7	Modérément acide
	6.0-6.3	Fortement acide-2
	5.7-6.0	Fortement acide-1
	5.4-5.7	Très fortement acide-2
	5.1-5.4	Très fortement acide-1
	4.8-5.1	Extrêmement acide-3
	4.5-4.8	Extrêmement acide-2
	0-4.5	Extrêmement acide-1



Classe de pH SMP

	> 6.7
	6.6-6.7
	6.5-6.6
	6.4-6.5
	6.3-6.4
	6.2-6.3
	6.1-6.2
	6.0-6.1
	5.9-6.0
	< 5.9

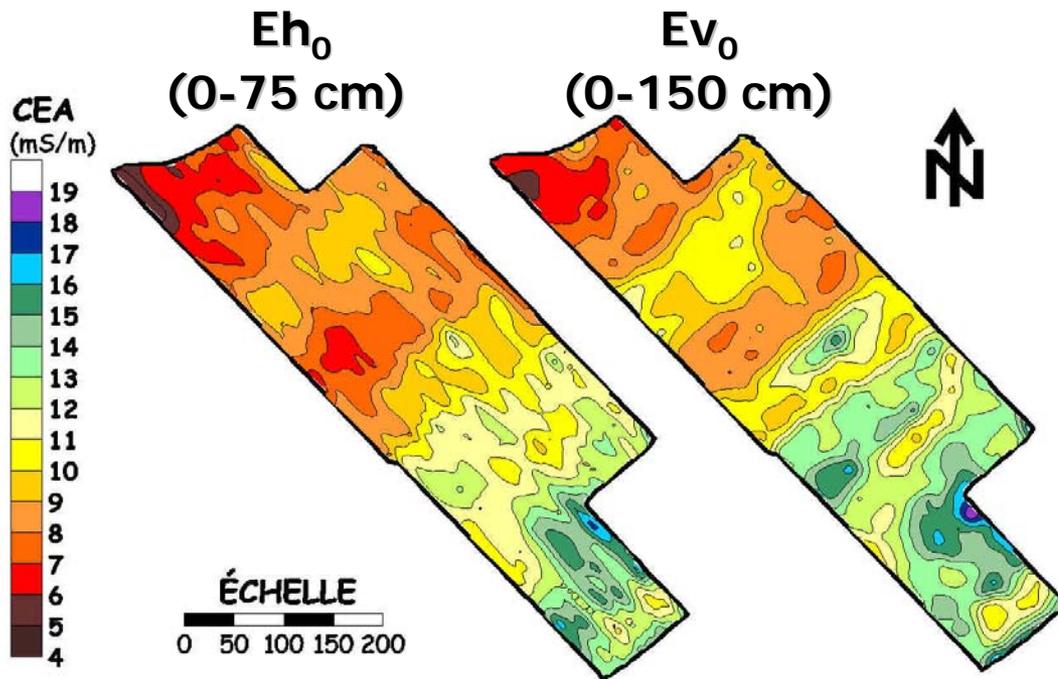
Besoin en CaCO_3
t ha⁻¹

> 6.7	1.1
6.6-6.7	1.3
6.5-6.6	1.5
6.4-6.5	1.9
6.3-6.4	2.3
6.2-6.3	2.8
6.1-6.2	3.4
6.0-6.1	4.1
5.9-6.0	4.9
< 5.9	5.8

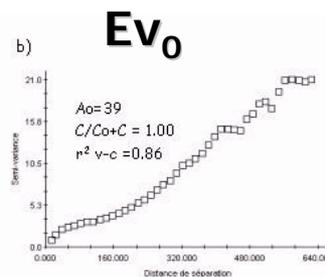
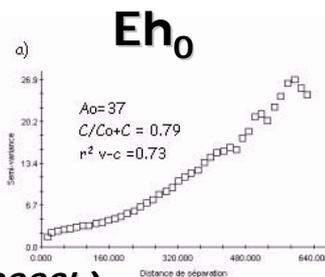
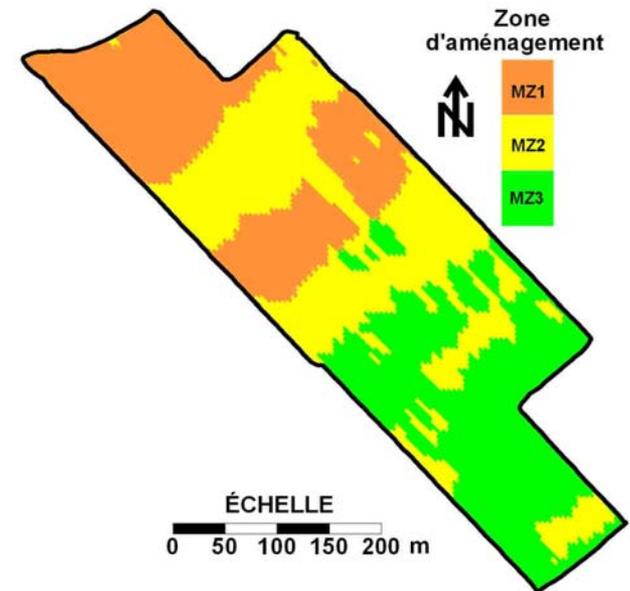


20

Conductivité électrique apparente (CEA) des sols mesurée avec le Geonics EM-38



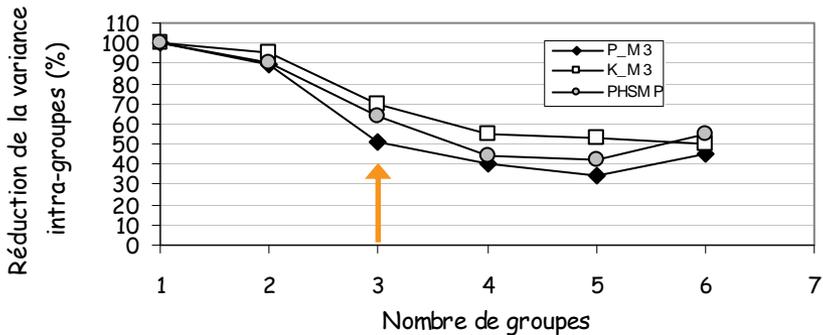
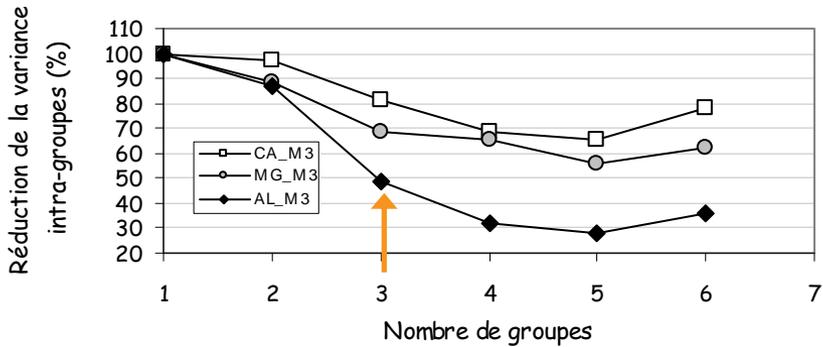
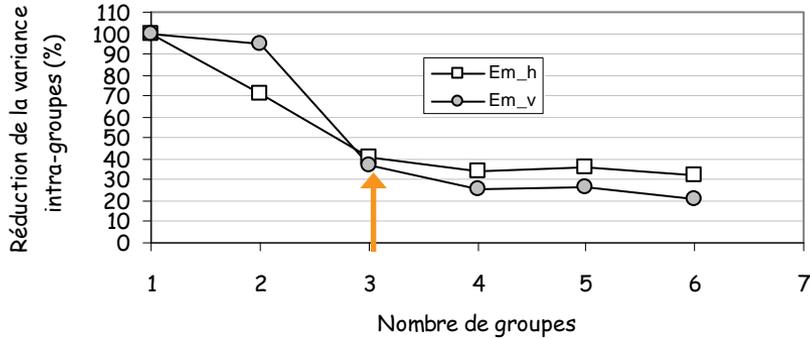
Délimitation de zones d'aménagement (3) à partir de la CEA des sols mesurée avec le Geonics EM-38 et de l'algorithme de classification floue à k-moyennes



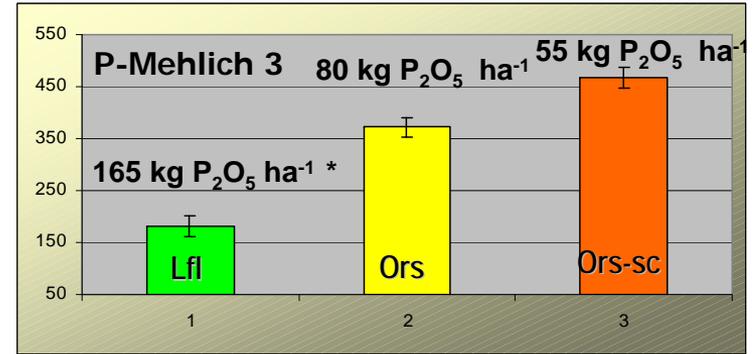


Comparaison des zones d'aménagement (ANOVA)

Réduction de la variance intra-groupes

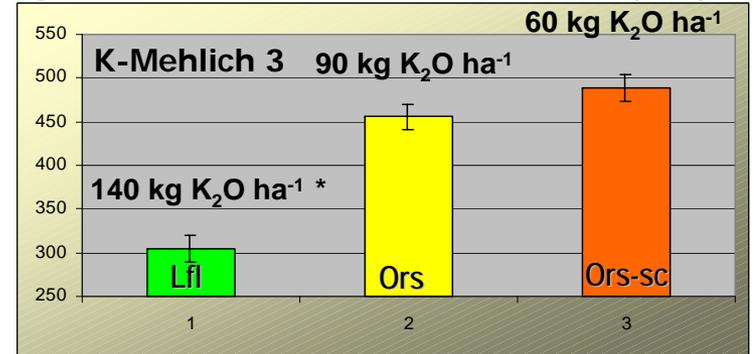


kg P ha⁻¹



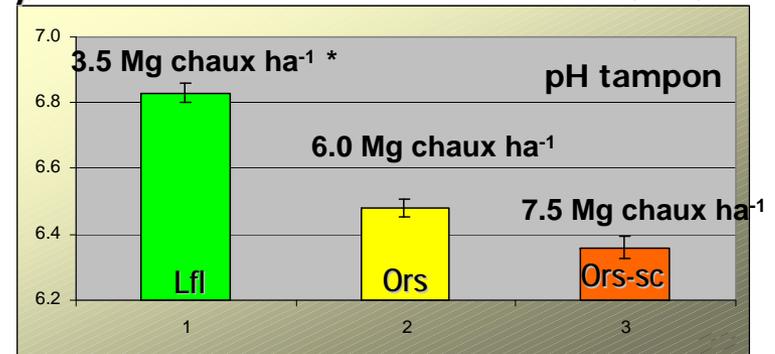
kg K ha⁻¹

* CPVQ (1996)



pH

* CPVQ (1996)

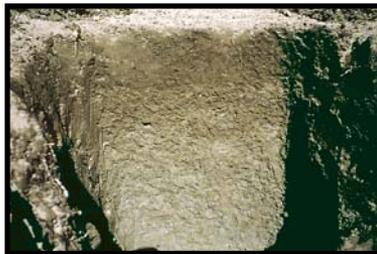


* OMAF (1998)

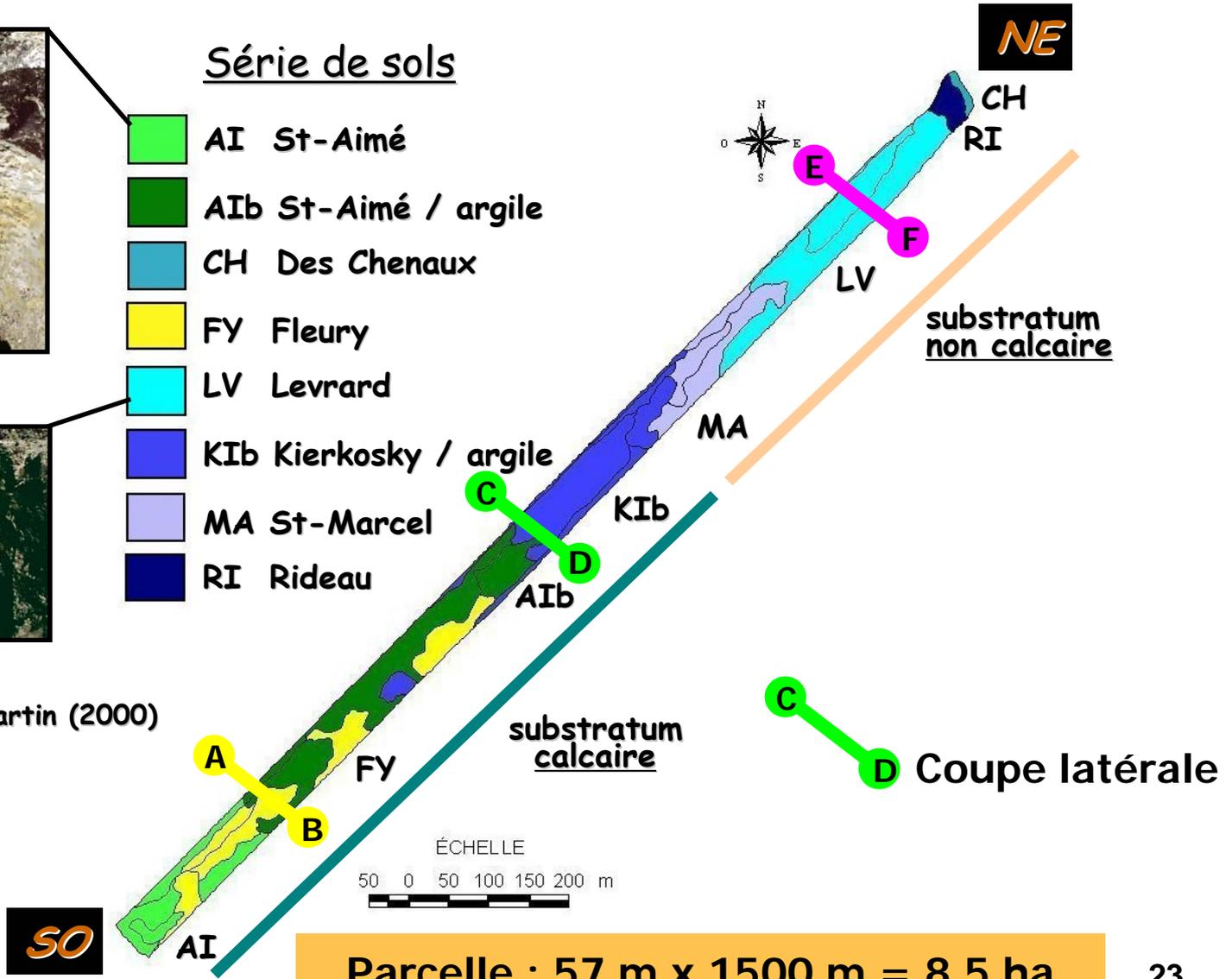
Ferme Lamothe, St-Célestin (Nicolet)

Série de sols

- AI St-Aimé
- AIb St-Aimé / argile
- CH Des Chenaux
- FY Fleury
- LV Levrard
- KIb Kierkosky / argile
- MA St-Marcel
- RI Rideau



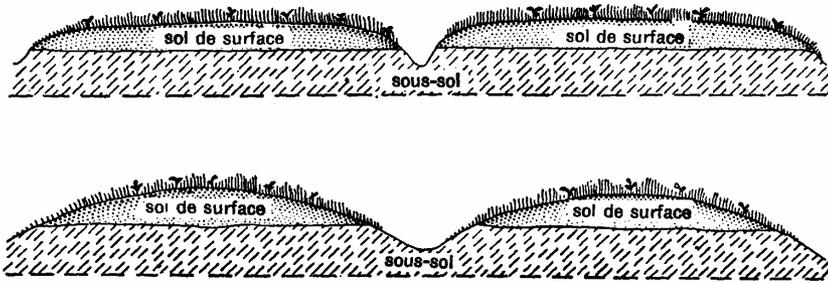
Pédologie: André Martin (2000)



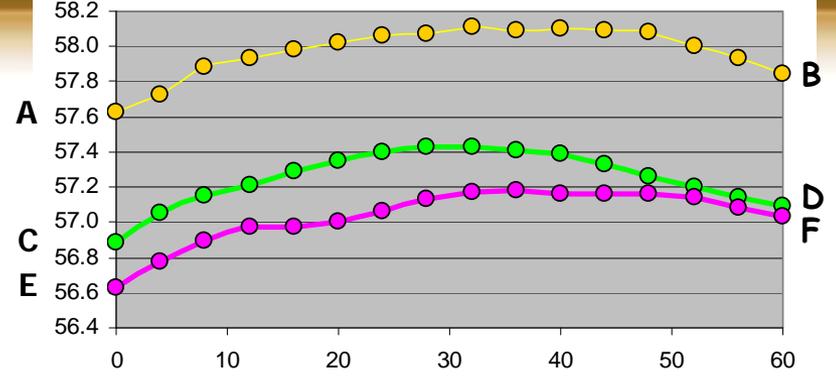
SO

Parcelle : 57 m x 1500 m = 8,5 ha
Rotation Mais-soya

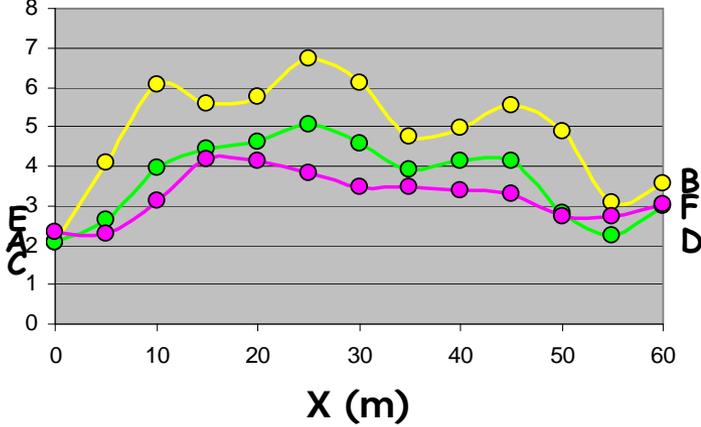
Coupe latérale



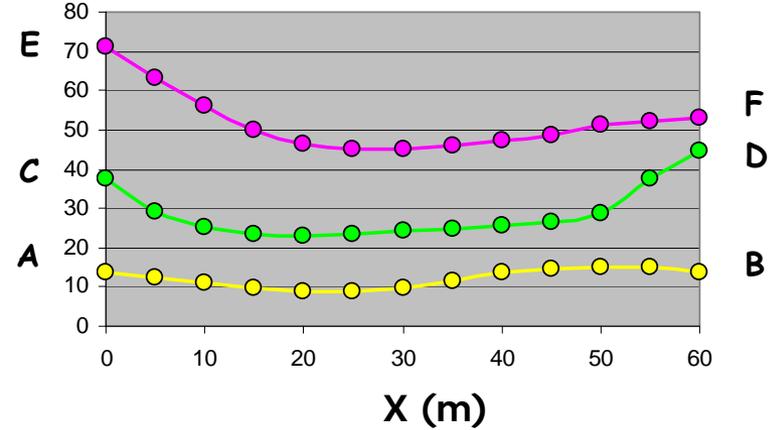
Altitude (m)



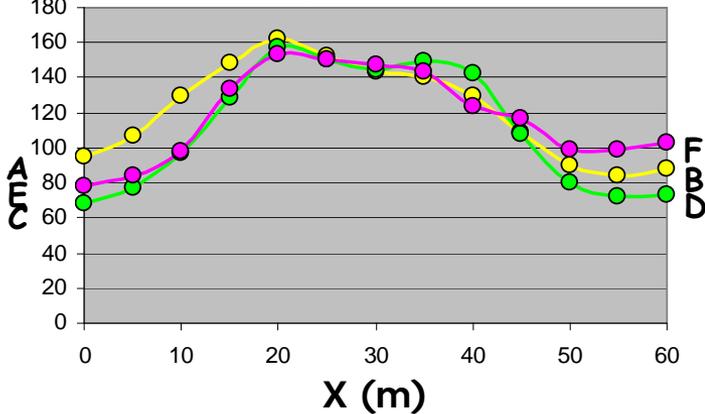
M.O. (%)



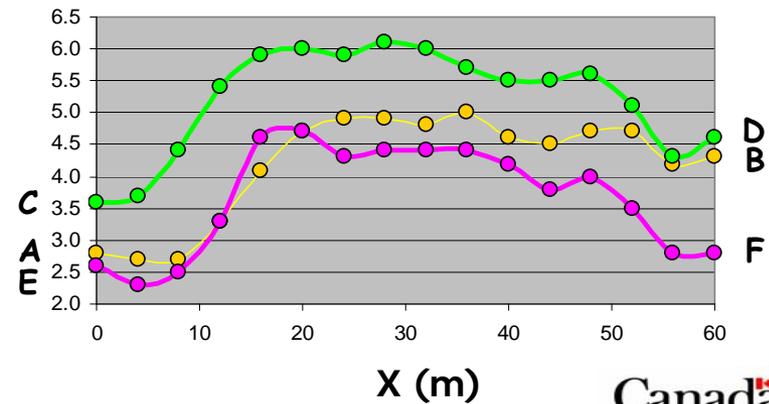
Argile (%)



P-Mehlich3 (kg ha⁻¹)



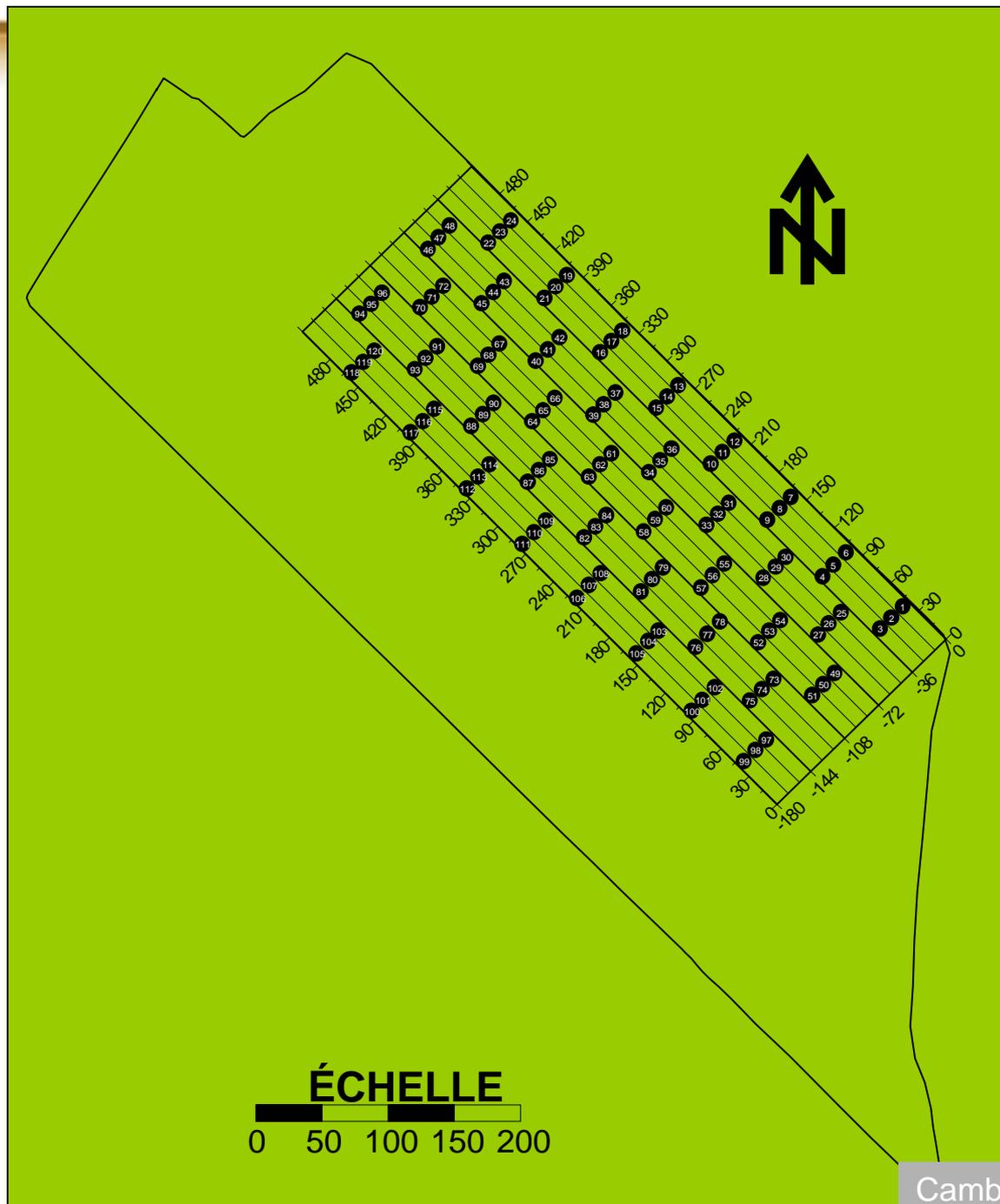
Maïs 2000 (Mg ha⁻¹)



Influence de l'historique du champ

- ◆ disponibilité du P
- ◆ calibration en P
- ◆ perte de phosphore

CAS # 2



P - Mehlich-III

CV 41%

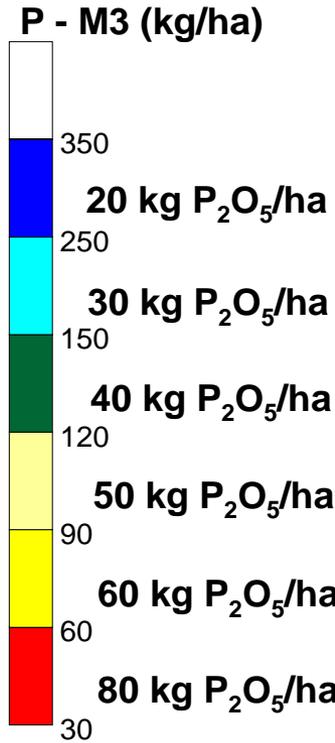
min 45 kg/ha

max 350 kg/ha

Moy. 131 kg/ha

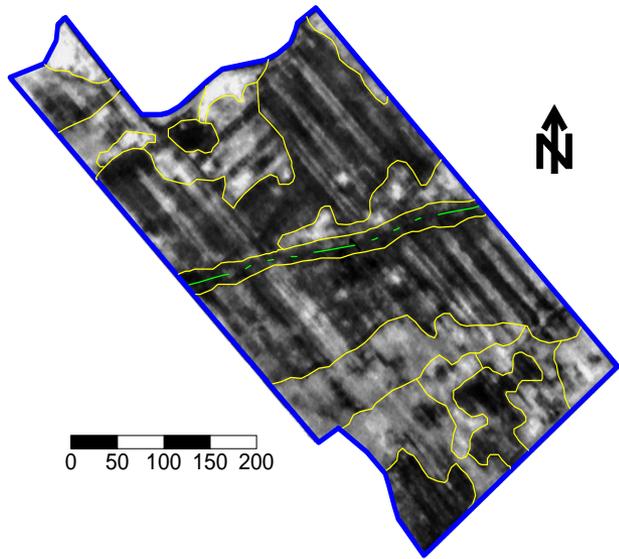


(interpolation par krigeage par bloc - modèle exponentiel)

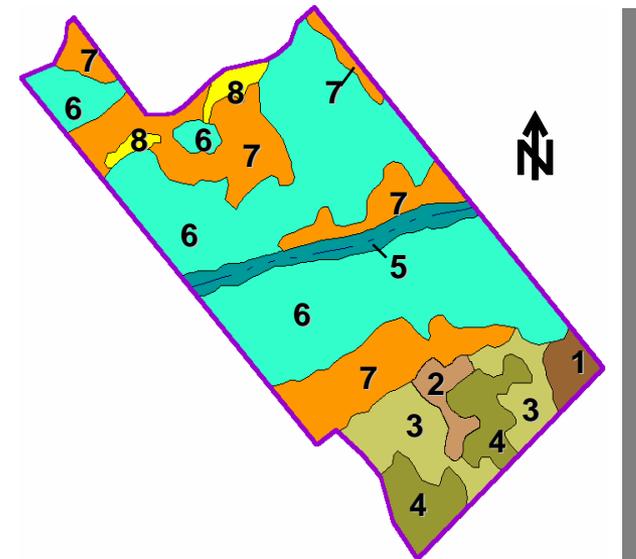


Influence de la complexité pédologique

Lyster (Mégantic)



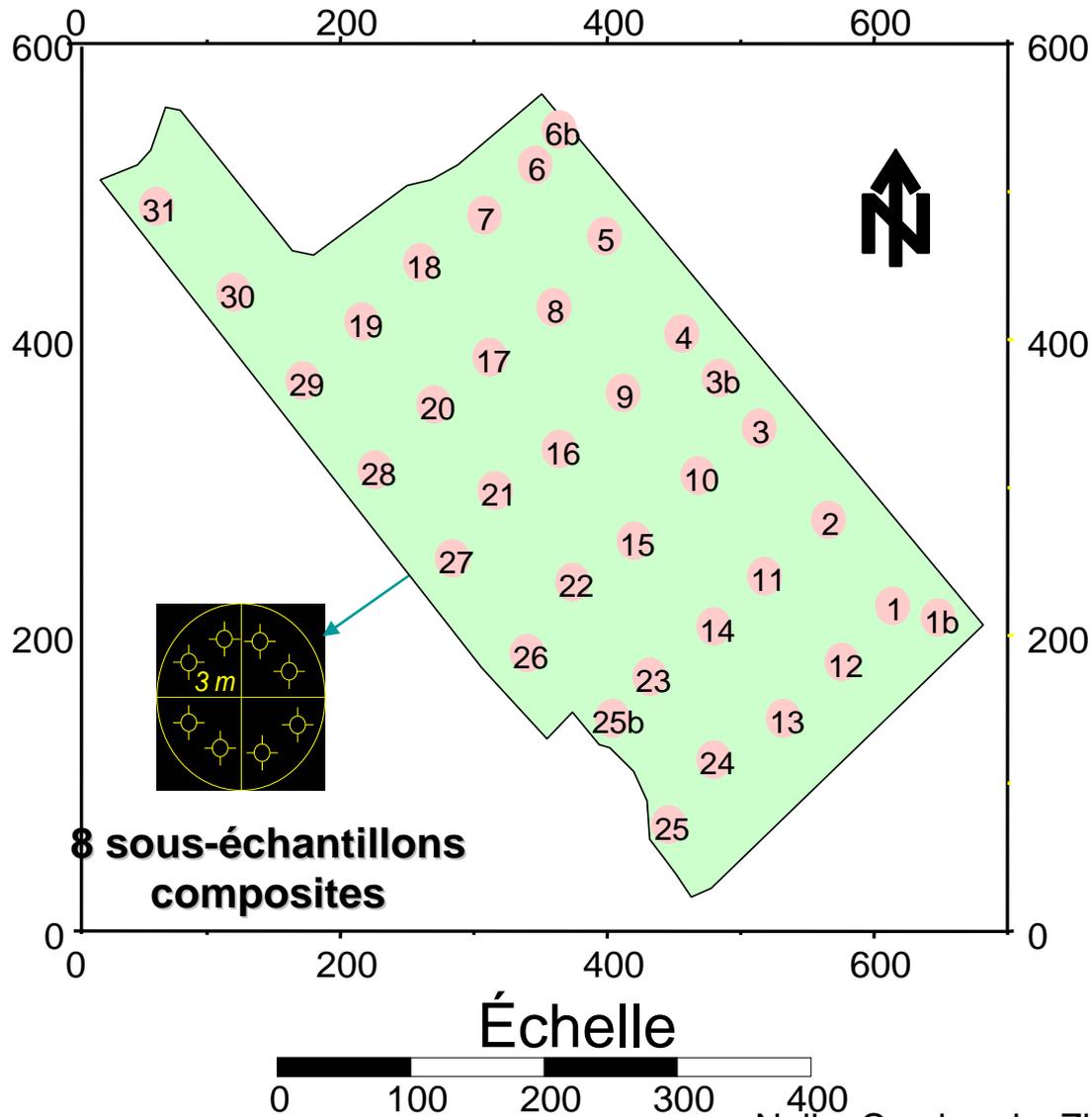
Champ : 15 ha



LÉGENDE

	Série	Texture de surface	Pente	Drainage
1	Saint-Sylvère	loam sableux fin	5 - 9 %	Imparfait à modéré
2	Saint-Sylvère	loam sableux fin	2 - 5 %	Imparfait à modéré
3	Raimbault	loam sableux fin	0 - 2 %	Mauvais à imparfait
4	Raimbault	loam sableux fin humifère	0 - 2 %	Mauvais à très mauvais
5	Séraphine	loam à loam limoneux	0 - 2 %	Mauvais à très mauvais
6	Séraphine	loam à loam limoneux	2 - 5 %	Mauvais
7	Valère	loam sableux très fin	2 - 5 %	Imparfait à modéré
8	Saint-Jude	sable loameux	5 - 9 %	Imparfait à modéré

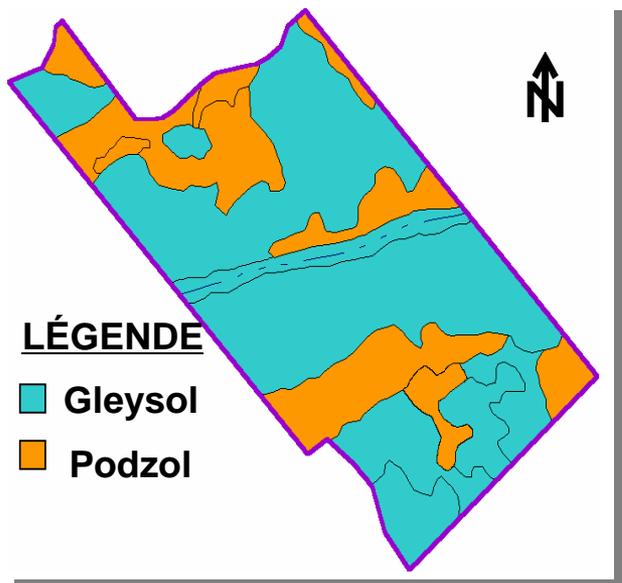
Stratégie d'échantillonnage : 1 échantillon par ha



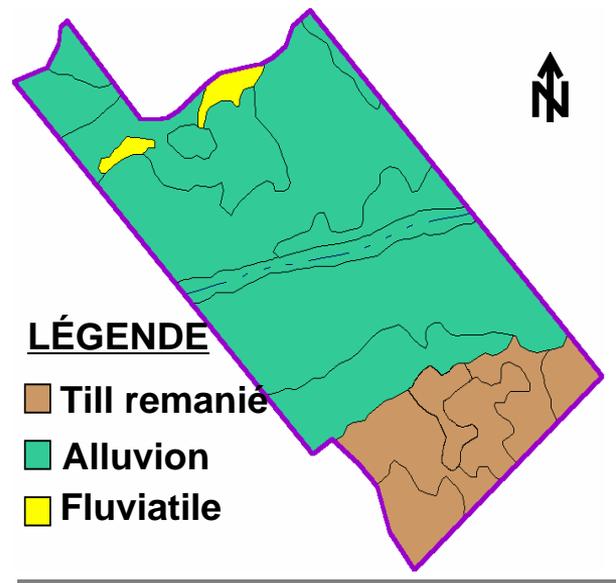
Identifier les causes des baisses de rendement

Exemple: Lyster (Mégantic)

Taxonomie (Ordre)



Matériau originel

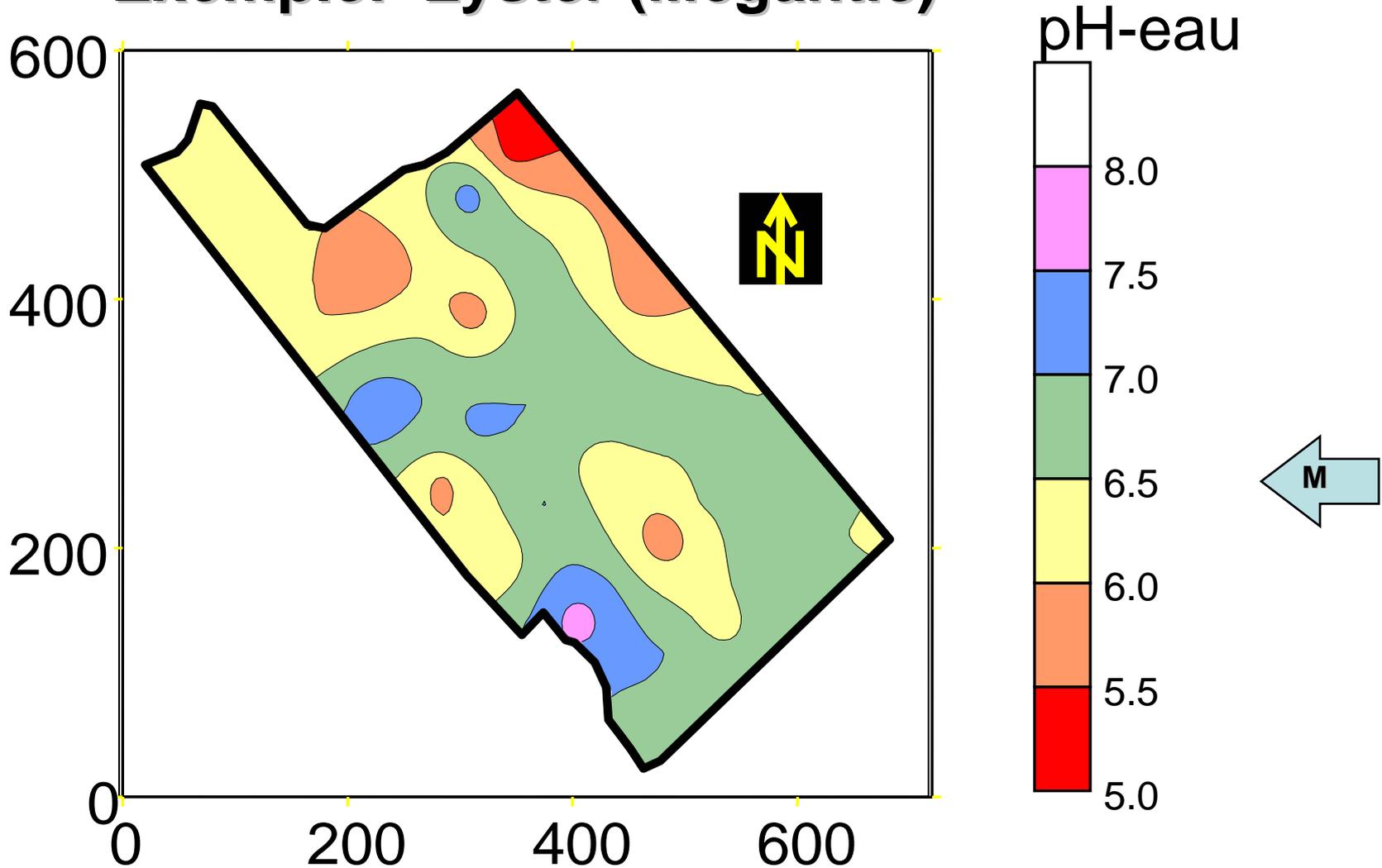


LÉGENDE

Code	Série	Sous-groupe	Matériau
Sy	Saint-Sylvère	Podzol humo-ferrique gleyifié	Till remanié
Rb	Raimbault	Gleysol humique orthique	Till remanié
Sri	Séraphine	Gleysol humique orthique	Alluvion
VI	Valère	Podzol humo-ferrique gleyifié	Alluvion
Ju	Saint-Jude	Podzol humo-ferrique gleyifié	Sable fluvatile

Interprétation des données

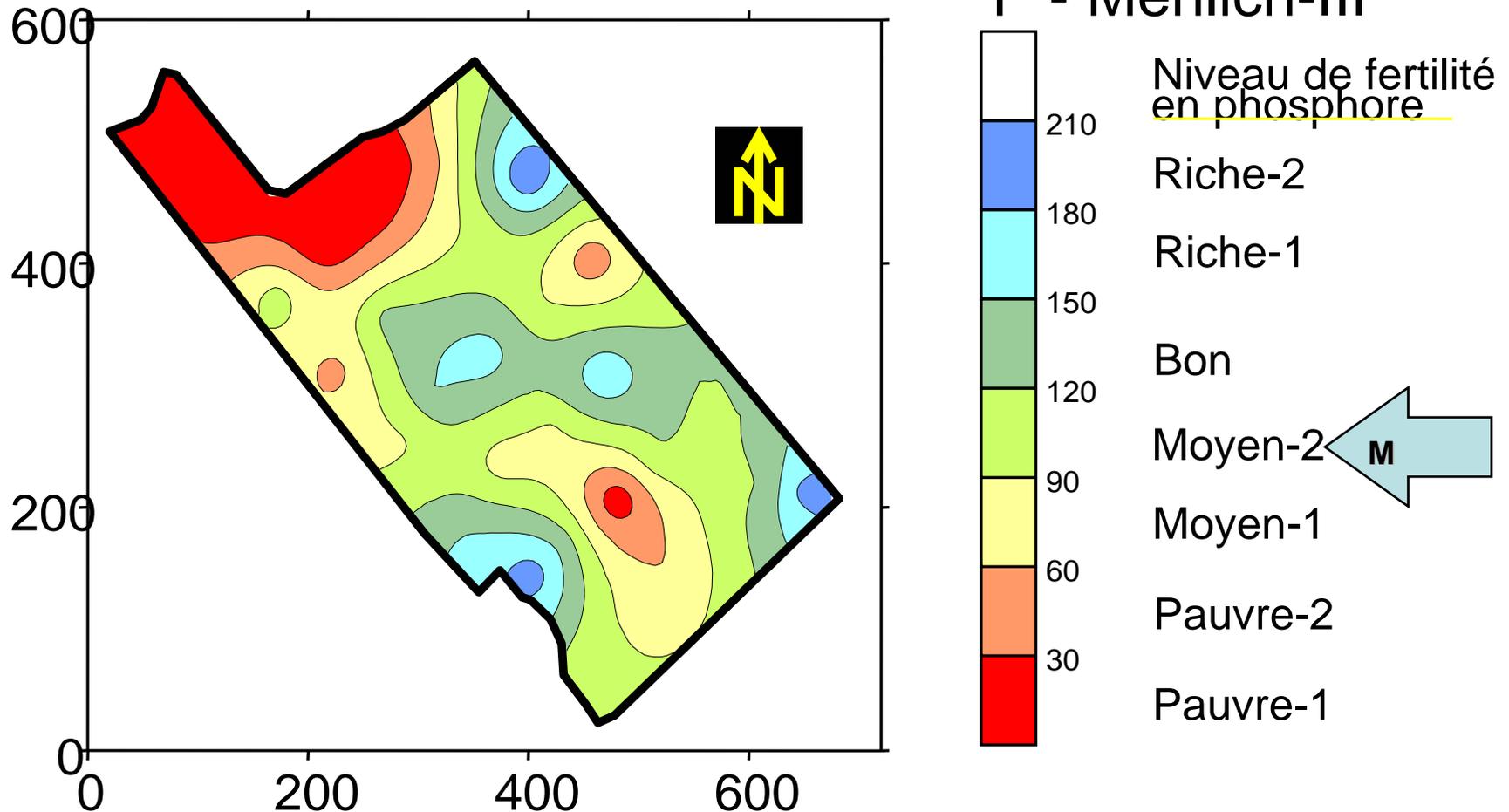
Exemple: Lyster (Mégantic)



Moyenne = 6.53 Étendue = 5.26 - 7.74 ³¹

Interprétation des données

Exemple: Lyster (Mégantic)



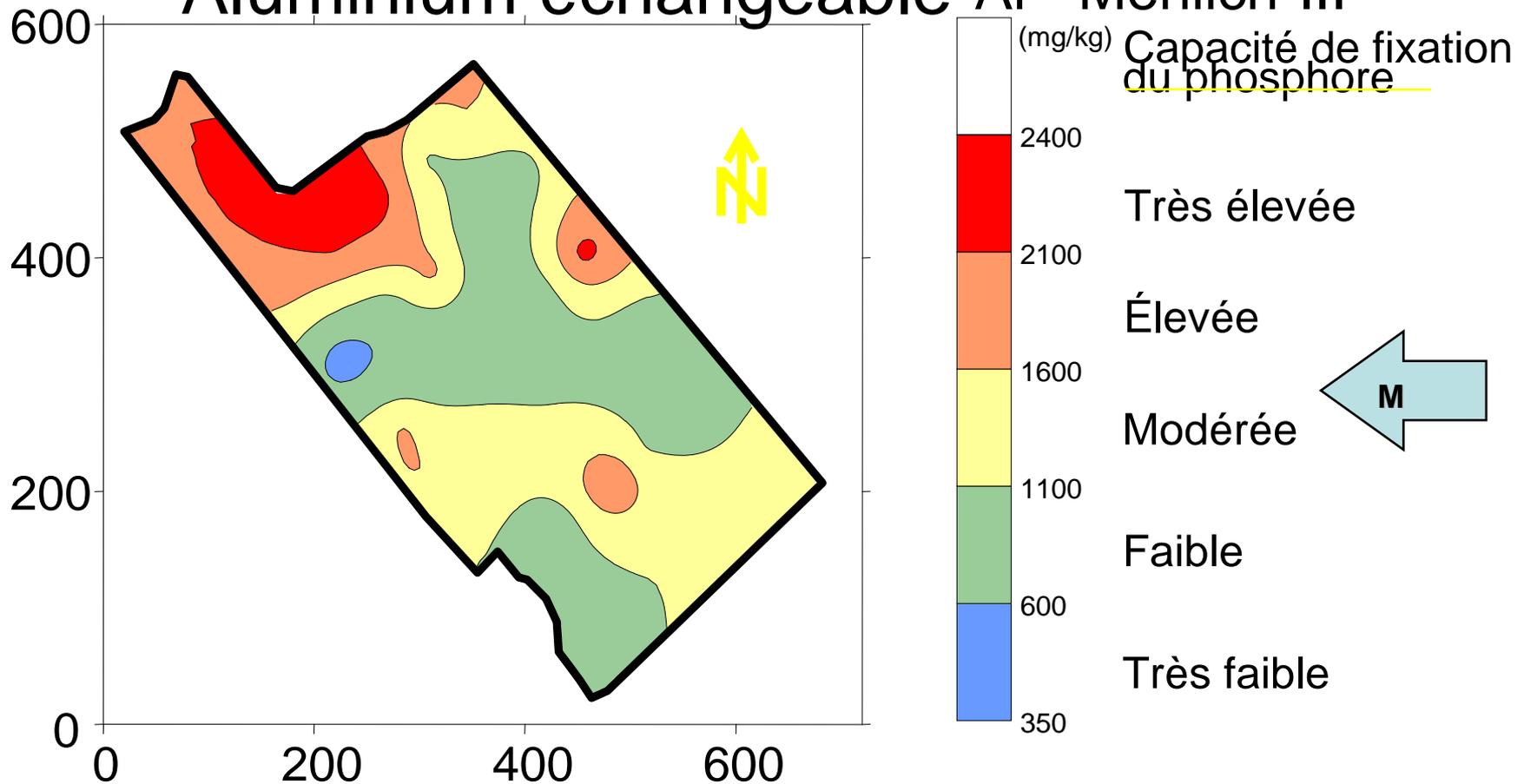
Moyenne: 99 kg/ha (Moyen-2)

Étendue: 3 - 211 kg/ha

Interprétation des données

Exemple: Lyster (Mégantic)

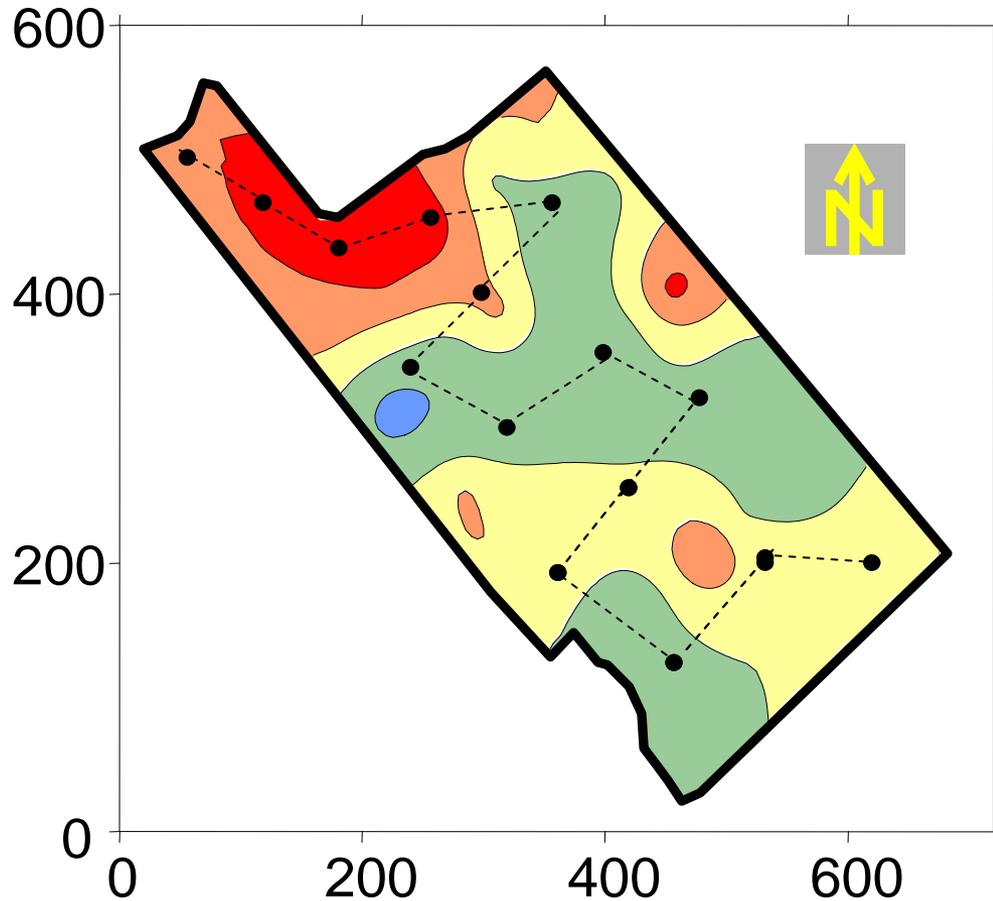
Aluminium échangeable Al - Mehlich-III



Moyenne: 1272 mg/kg (Modérée)

Étendue: 350 - 2340 mg/kg

Al - Mehlich-III



(mg/kg) Capacité de fixation du phosphore

2400

Très élevée

2100

Élevée

1600

Modérée

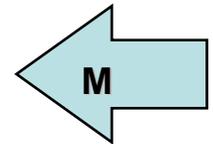
1100

Faible

600

Très faible

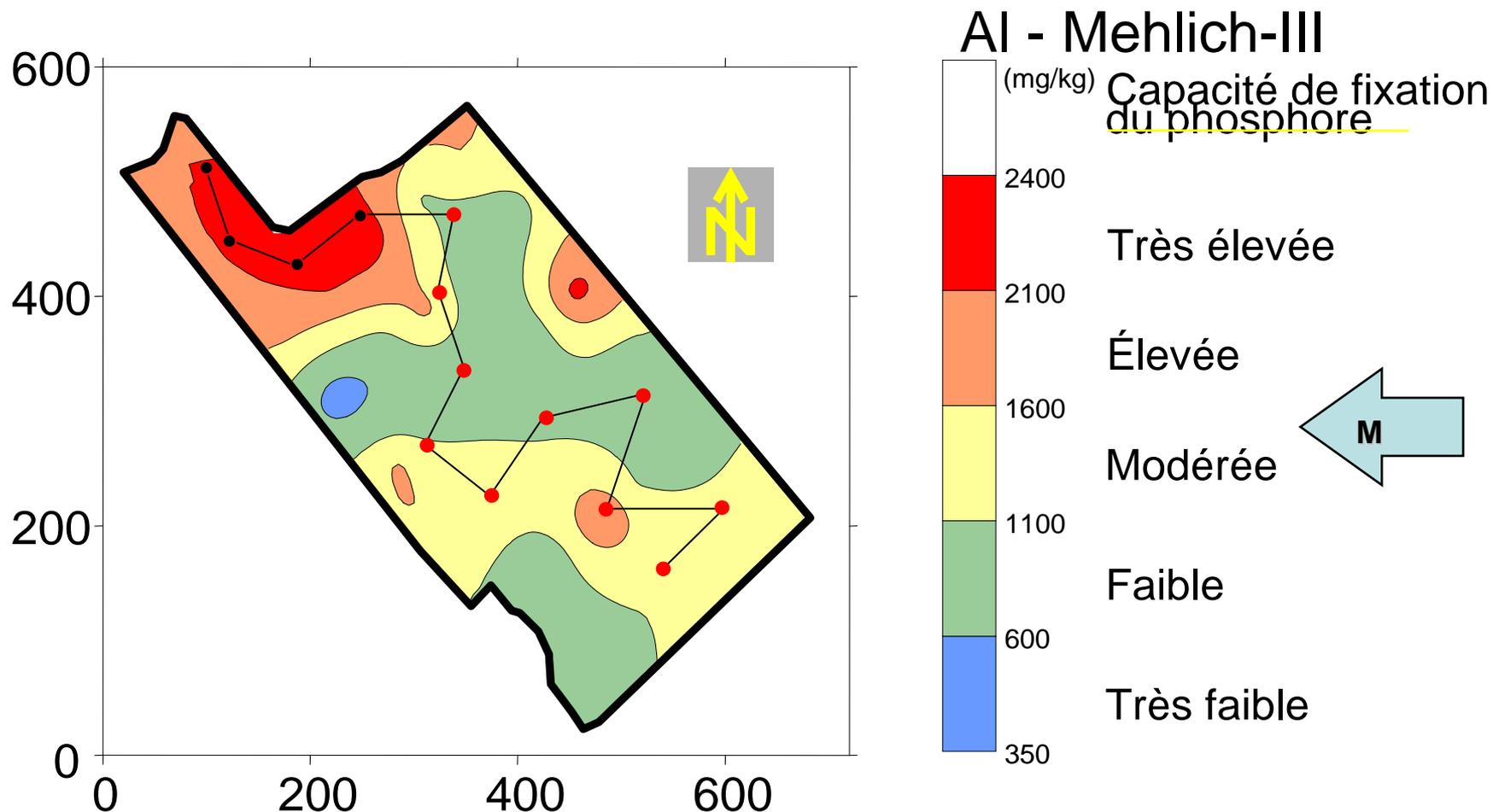
350



Moyenne: 1397 mg/kg (Modérée n =15)

Étendue: 850 - 2250 mg/kg

Interprétation des données



Moyenne: 1323 mg/kg (Modérée n=15)

Étendue: 850 - 2250 mg/kg

Comparaison des champs

Description agropédologique des quatre champs étudiés.

Descripteur*	Champ #1	Champ #2	Champ #3	Champ #4
Superficie (ha)	12	24	6	2
Nombre de séries de sols	3	2	3	4
Nombre d'unités de sols	7	4	6	8
Nombre de polygones	11	7	14	8
Taxonomie	G	P	G+B+P	G+B+P
Drainage	Ma	I + B	Ma + I + B	Ma + I + Mo
Texture de surface	LSA+A+ALi	SF+SFL+LSTF	LSGg+Lg+LA	LSF+LLi+LSA
Pente (%)	0-5	0-5	0-5	0-5
Hétérogénéité pédologique	Modérée	Modérée	Élevée	Très élevée

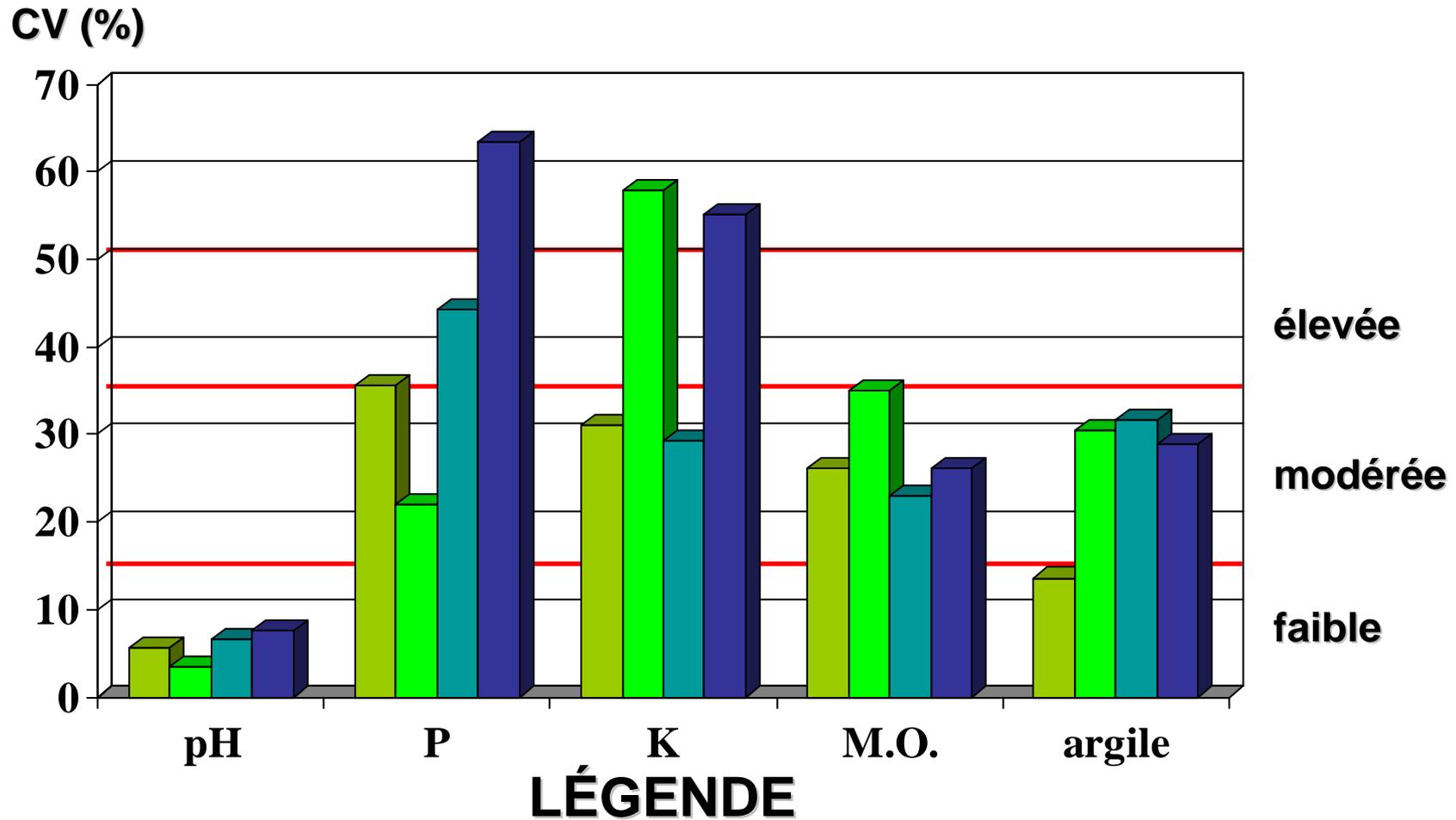
* Taxonomie : G = Gleysol; B = Brunisol; P = Podzol.

Drainage : Ma = mal drainé; I = imparfaitement drainé; Mo = modérément bien drainé; B = bien drainé.

Texture : LSA = loam sablo-argileux; A = argile; ALi = argile limoneuse; LSF = loam sableux fin; LLi = loam limoneux; SF = sable fin; SFL :sable fin loameux; LSTF = loam sableux très fin; LSGg = loam sableux grossier graveleux; Lg = loam graveleux; LA = loam argileux.

Comparaison des champs

coefficient de variation (CV)



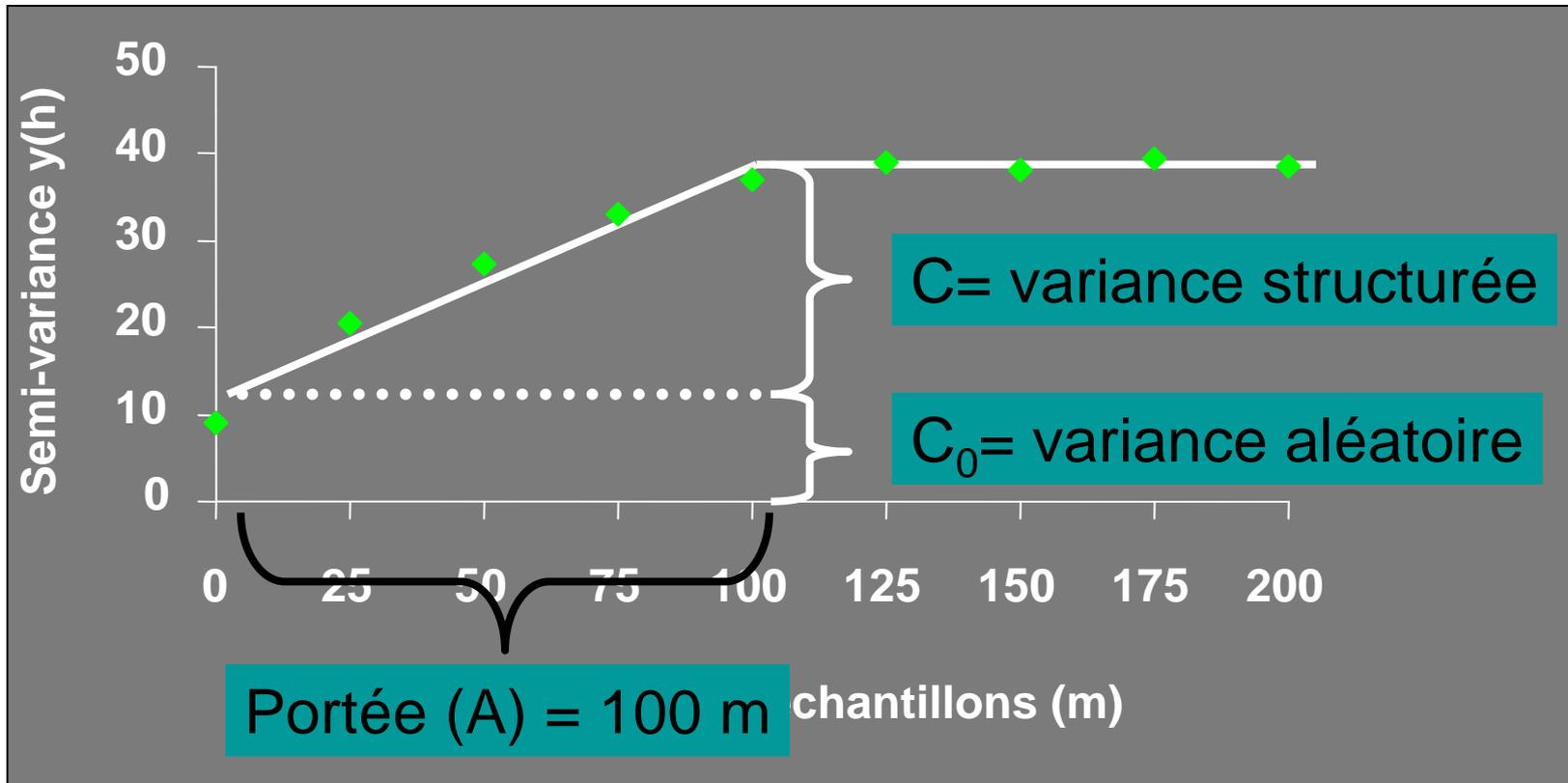
Champ #1
St-Antoine

Champ #2
St-Ubalde

Champ #3
St-Laurent

Champ #4
Ste-Croix

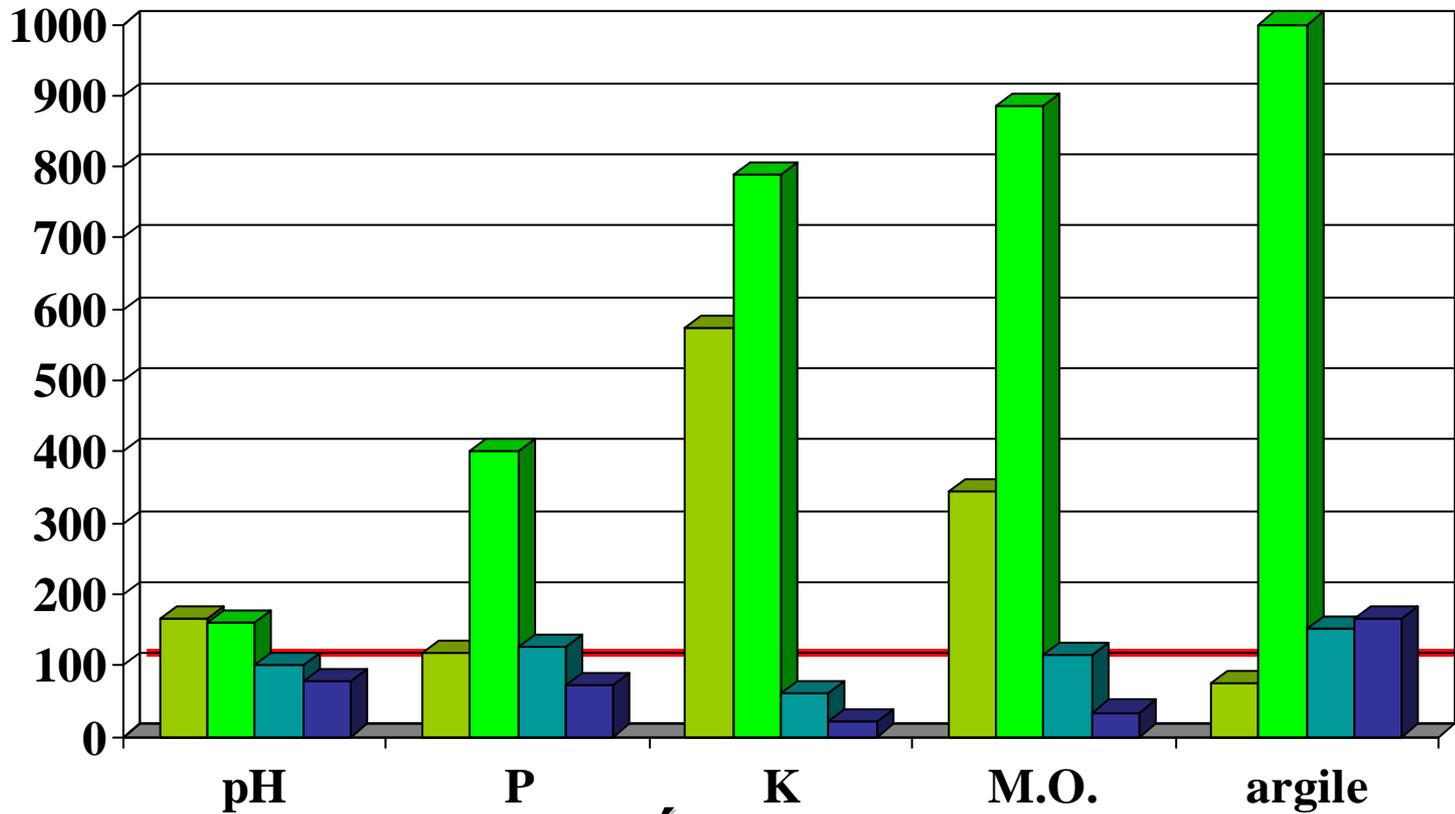
Composante du semi-variogramme



Comparaison des champs

portée (A)

portée (m)



LÉGENDE

Champ #1
St-Antoine

Champ #2
St-Ubalde

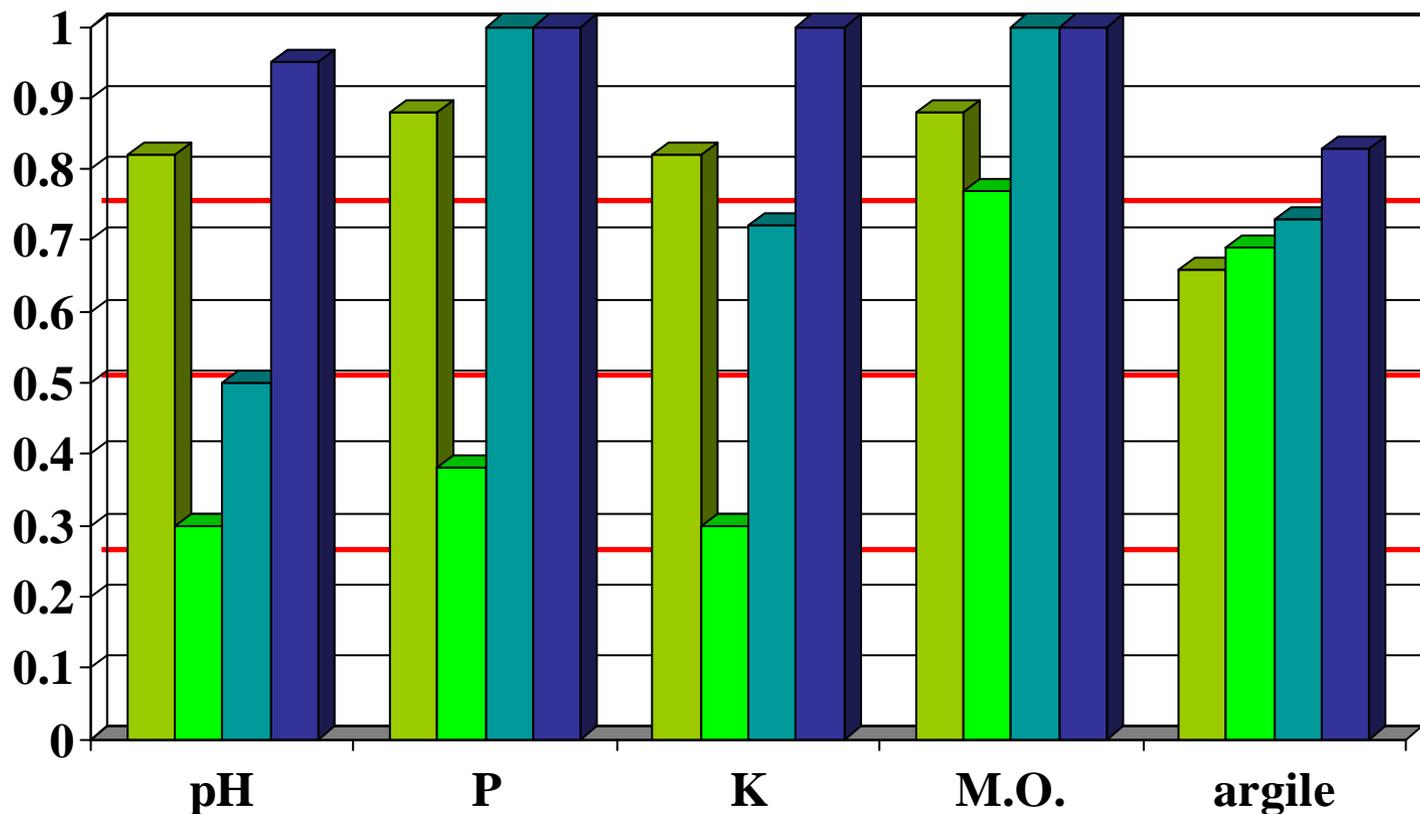
Champ #3
St-Laurent

Champ #4
Ste-Croix

Comparaison des champs

Ratio ($C / C_0 + C$)

$C / C_0 + C$



LÉGENDE

Champ #1
St-Antoine
30 m

Champ #2
St-Ubalde
45 m

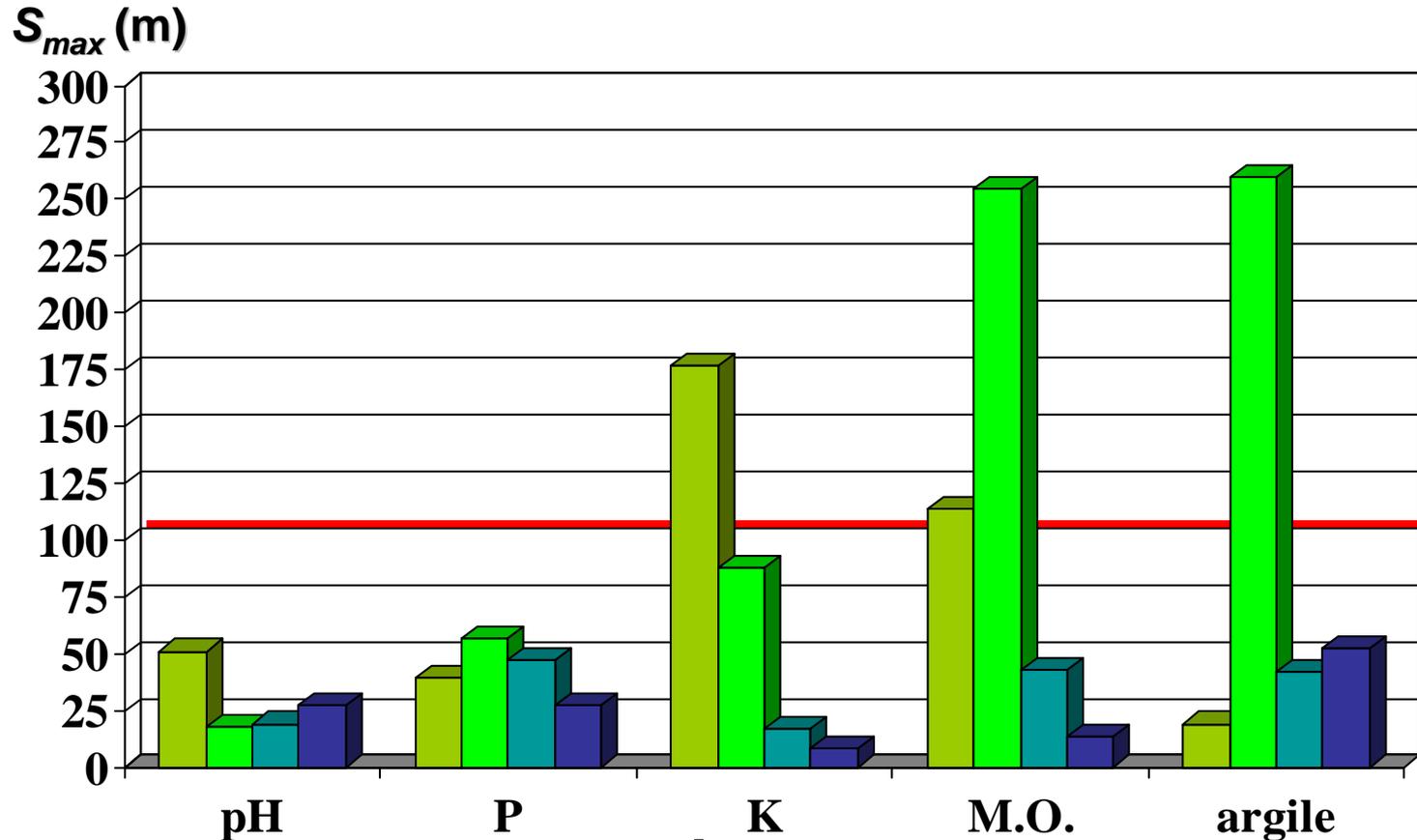
Champ #3
St-Laurent
30 m

Champ #4
Ste-Croix
15 m

40

Comparaison des champs

$$S_{max} = 3/8 A (C / C_0 + C)$$



LÉGENDE

Champ #1
St-Antoine

Champ #2
St-Ubalde

Champ #3
St-Laurent

Champ #4
Ste-Croix

Variabilité spatio-temporelle de N à courte distance

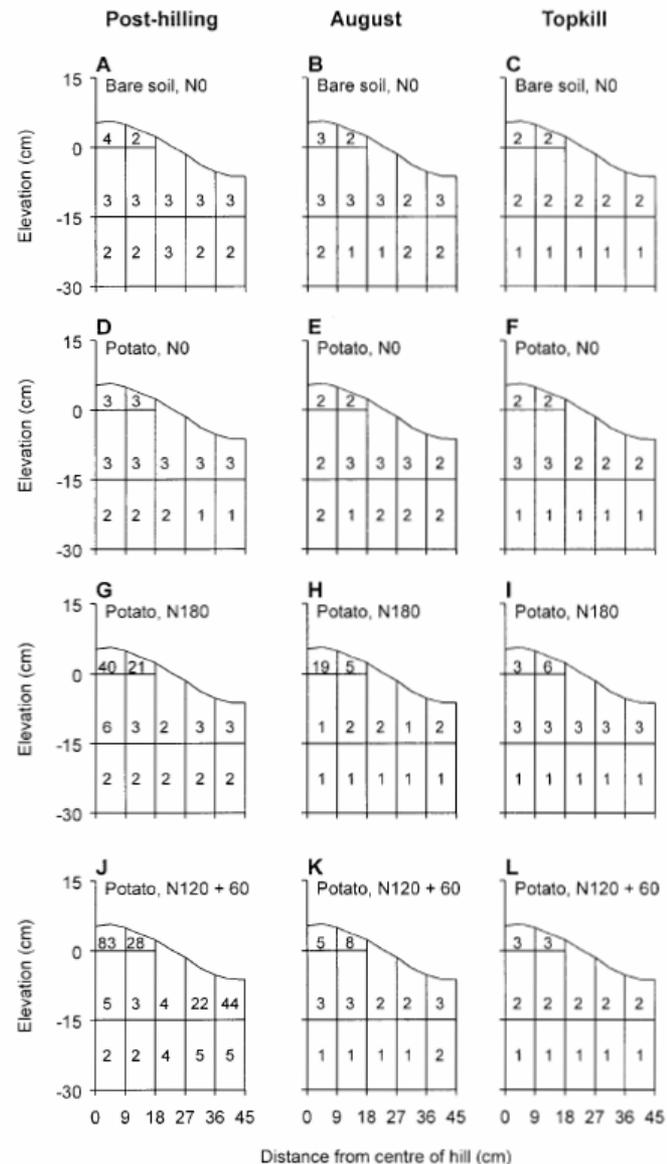


Fig. 6. Soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations (mg N kg^{-1}), measured using location sampling, for 12 sampling locations as defined in Fig. 1b, for four treatments on three sampling dates in 1999 (N0, 0 kg N ha^{-1} ; N180, 180 kg N ha^{-1} at planting; N120 + 60, 120 kg N ha^{-1} at planting plus 60 kg N ha^{-1} at hilling).

Variabilité spatio-temporelle de N à courte distance

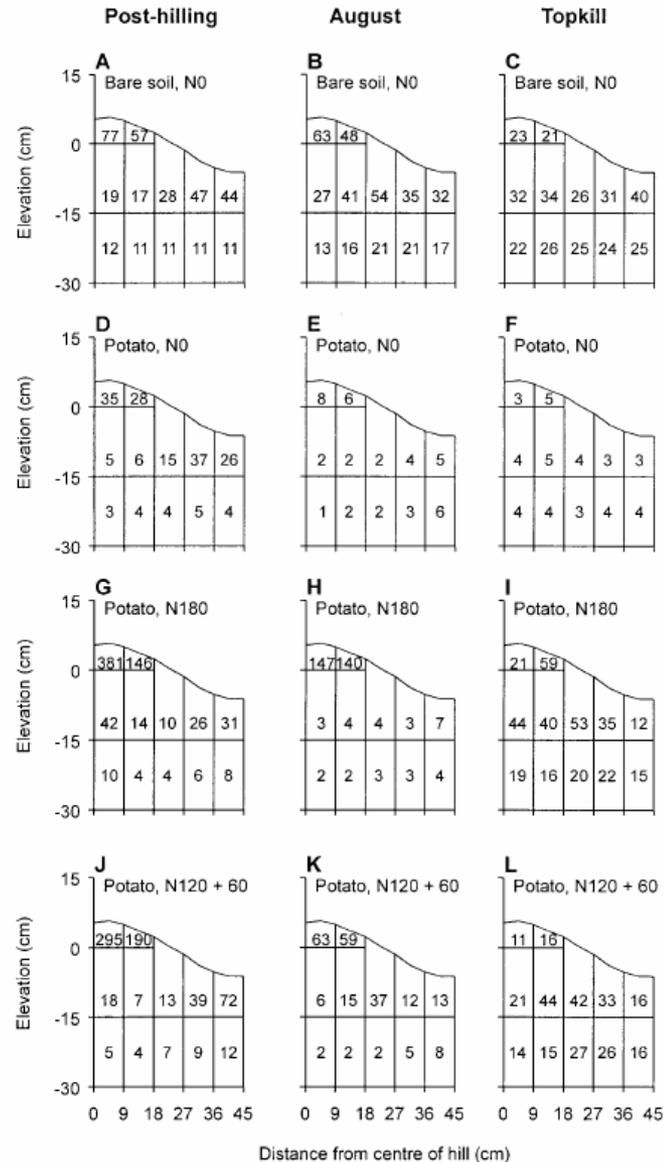
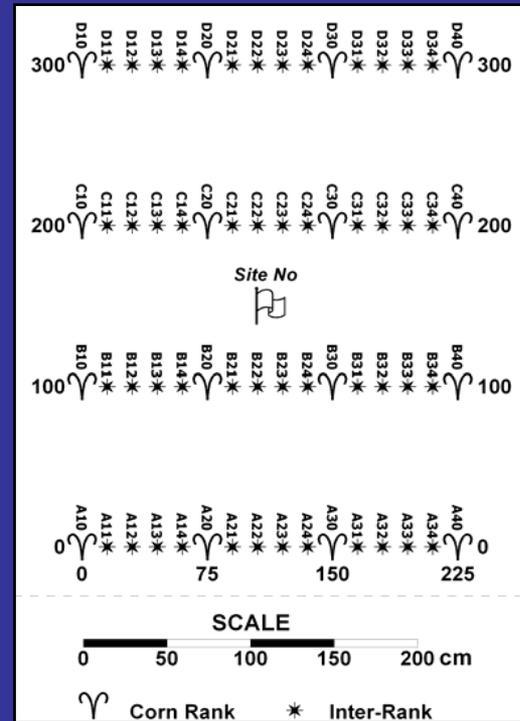


Fig. 7. Soil NO₃-N concentrations (mg N kg⁻¹), measured using location sampling, for 12 sampling locations as defined in Fig. 1b, for four treatments on three sampling dates in 1999 (N0, 0 kg N ha⁻¹; N180, 180 kg N ha⁻¹ at planting; N120 + 60, 120 kg N ha⁻¹ at planting plus 60 kg N ha⁻¹ at hilling).

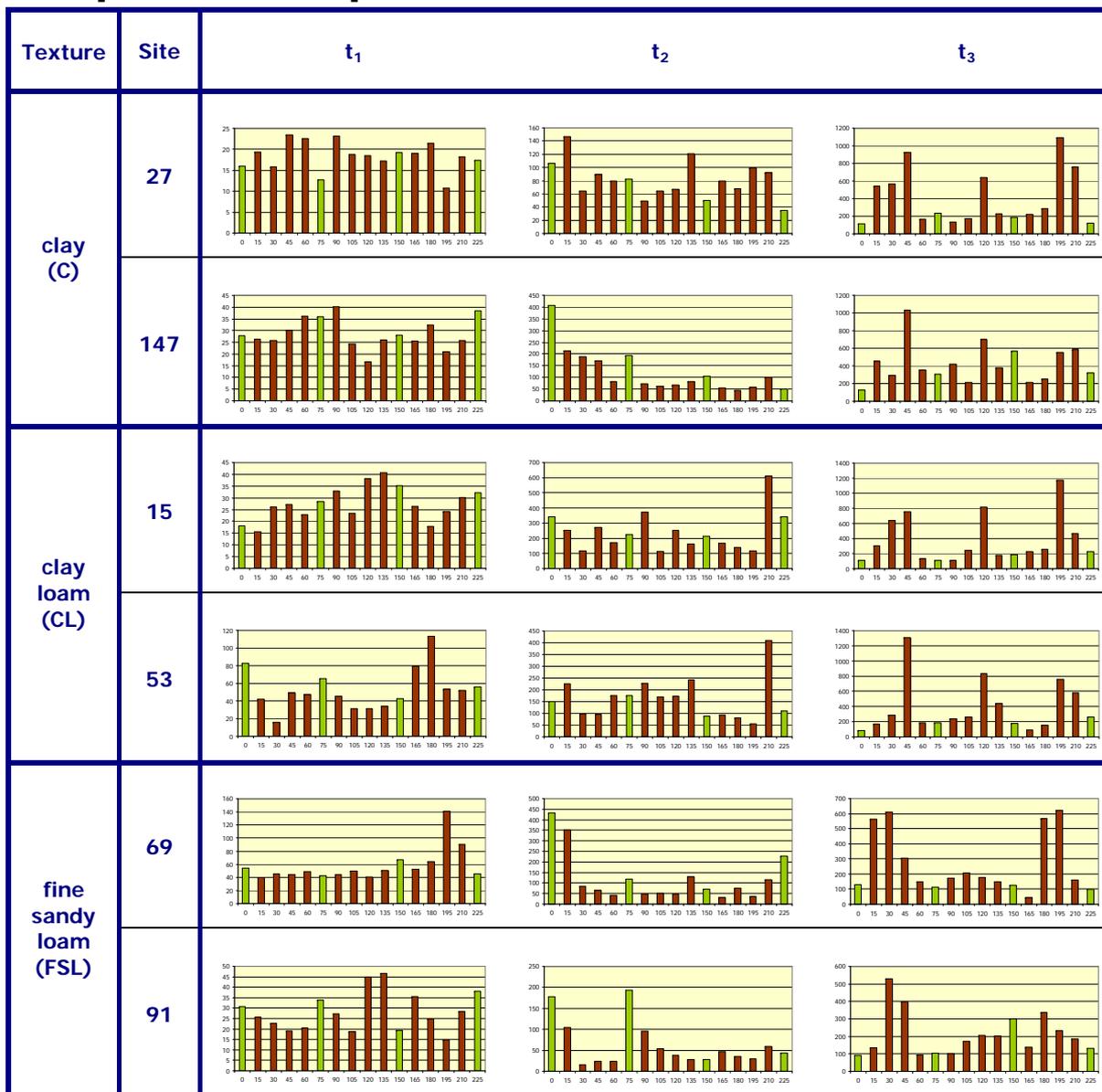
Variabilité spatiale et temporelle de N et P à courte distance



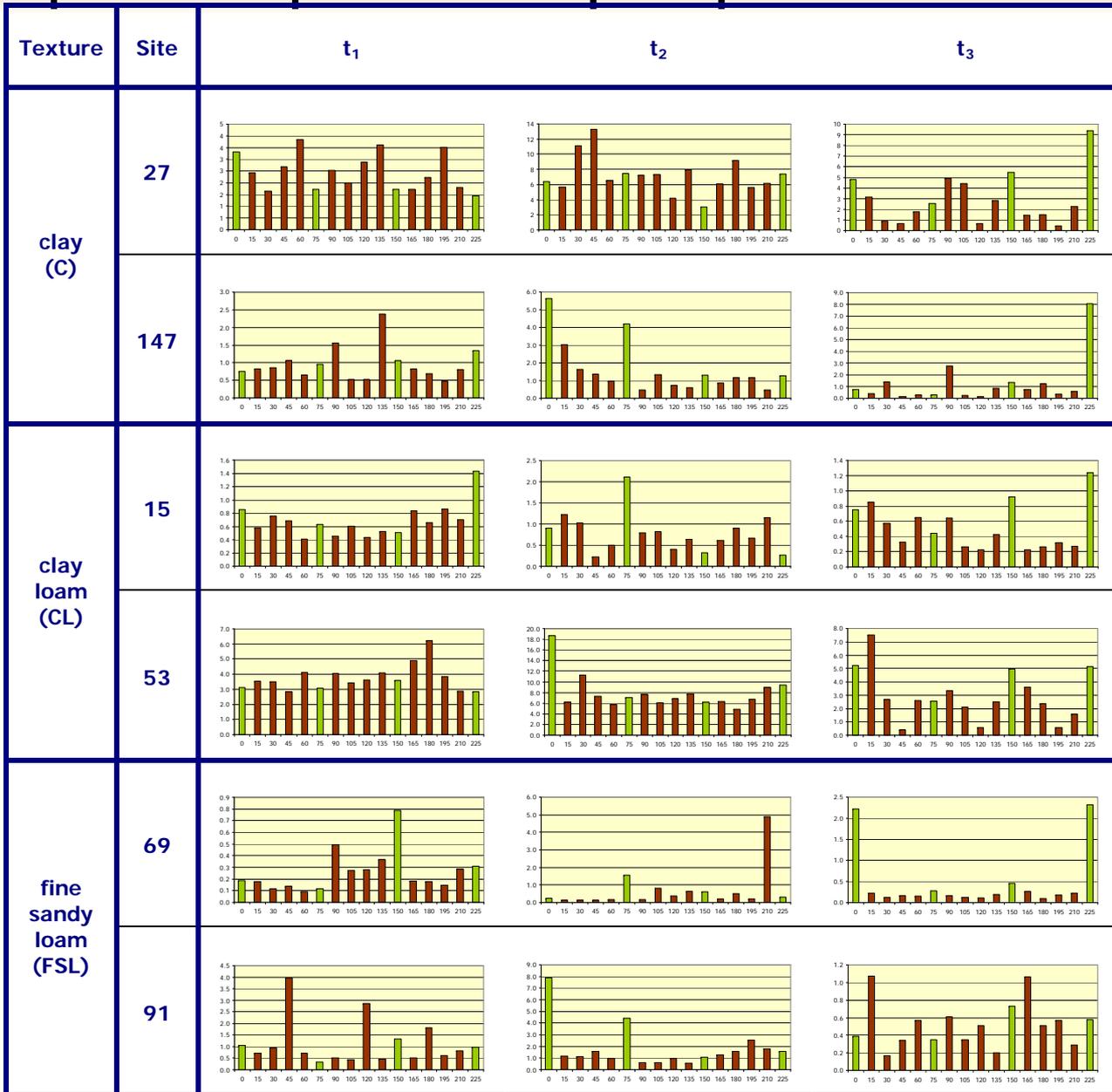
Sampling design used for studying the short-range variability of AEM-P and AEM-N at each sampling point.



Variabilité spatio-temporelle des nitrates à courte distance



Variabilité spatio-temporelle des phosphates à courte distance



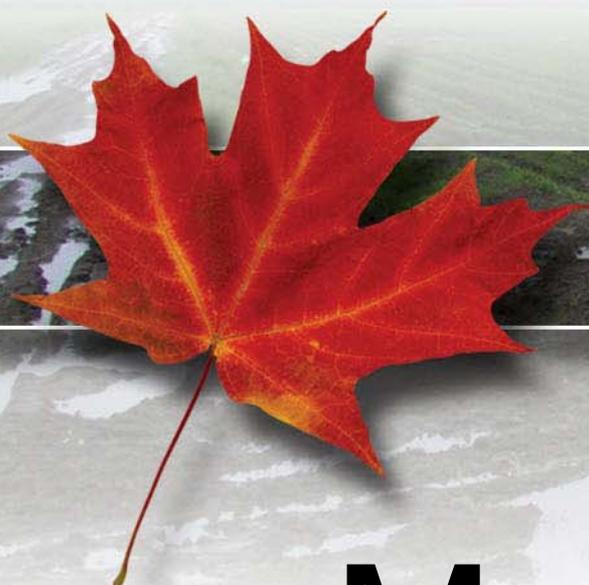
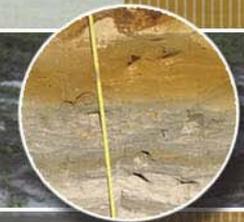
Recommandations

- Prendre des échantillons de sol représentatif
 - Faire une planification avant de se rendre au champ
 - Si possible toujours fait par la même personne
 - Toujours à la même période
 - L'état du champ doit être semblable d'année en année (humidité, travail du sol)
 - Utilisation d'un GPS ou bien point de repère
 - Conserver toujours le même patron d'échantillonnage
 - Bien s'équiper (tarière hollandaise)
- Faire des unités d'aménagement
- Faire de l'échantillonnage intensif



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada



Merci de votre attention!

Canada 