



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté des sciences de l'agriculture
et de l'alimentation

« Élaboration de normes nutritives pour la canneberge au Québec »

Chedzer-Clarc CLÉMENT

Directeur de recherche: Léon-Étienne PARENT

Journée INPACQ 2016, Victoriaville

INTRODUCTION

❖ Importance des analyses foliaires

- Adéquation entre les éléments minéraux prélevés par la plante et ses besoins nutritifs;
- Diagnostic d'éventuels problèmes de nutrition de la plante;
- Ajuster un programme de fertilisation d'une plante pérenne comme la canneberge; (Davenport et al.,1995)

ANALYSES FOLIAIRES ET FERTILISATION

❖ Fertilisation azotée

- ✓ Augmentation de la concentration en azote avec la fertilisation azotée dans la culture de canneberge (Davenport et Prevost, 1994; Eaton, 1971; Eaton et Meehan, 1973; Eck, 1971);
- ✓ Augmentation de la concentration du P et du K et diminution de celle du Fe (Davenport et Prevost, 1994);

❖ Ajout de P

- ✓ Augmentation linéaire ($P_{\text{foliaire}} = 0,0058 P_{\text{ajouté}} + 0,93$) de la concentration de P dans les sols ayant un ratio molaire $P/(Al+Fe)_{\text{MIII}}$ entre 0,024 et 0,044 (Parent et Marchand, 2006).

** P_{foliaire} en g/kg et $P_{\text{ajouté}}$ en mg/kg

NORMES FOLIAIRES

Tableau 1a. Intervalles critiques de suffisance nutritive dans les tissus de canneberge

Éléments	Intervalle de suffisance		
	Roper, 2001 (Wisconsin)	Yarborough et al., 1993 (Maine)	Marchand et al., 2013 (Québec)
	%		
Azote (N)	0.90-1.10	0.95-1.05	1.09-1.24
Phosphore (P)	0.10-0.20	0.11-0.14	0.11-0.13
Potassium (K)	0.40-0.75	0.40-0.65	0.50-0.56
Calcium (Ca)	0.30-0.80	0.60-0.80	0.84-1.00
Magnésium (Mg)	0.15-0.25	0.20-0.25	0.17-0.20
Soufre (S)	0.08-0.25	ND	ND

NORMES FOLIAIRES

Tableau 1b. Intervalles critiques de suffisance nutritive dans les tissus de canneberge (suite)

Éléments	Intervalle de suffisance		
	Roper, 2001 (Wisconsin)	Yarborough et al., 1993 (Maine)	Marchand et al., 2013 (Québec)
	mg/kg		
Bore (B)	15-60	30-50	30-39
Fer (Fe)	>20	40-80	60-69
Manganèse (Mn)	>10	150-250	493-711
Zinc (Zn)	15-30	15-30	22-26
Cuivre (Cu)	4-10	4-7	4-5

Tableau 2. Recommandations en N, P et K (Parent et Gagné, 2010)

Azote (N foliaire visé 0,90 à 1,10 %)		
Temps et mode d'apport	Recommandation (kg N/ha)	
Dose répartie en 4 applications (début de floraison, 50 % floraison, 50 % nouaison, grossissement du fruit)	20-65	
Phosphore		
Analyse (P/(Al+Fe)) (%)	Recommandation selon le P foliaire visé (kg P ₂ O ₅ /ha)	
	0.10 %	0.11 %
0-3.5	40	80
3.6-7.0	20	65
7.1-14.0	0	0
14.1 et plus	0	0
Potassium (K foliaire visé 0,40 à 0,75 %)		
Analyse (kg K _{M-3} /ha)	Recommandation (kg K ₂ O/ha)	
0-115	65-110	
116-230	0-65	
231 et plus	0	

OBJECTIFS

Réévaluer les normes nutritives foliaires de la canneberge au Québec en utilisant de nouvelles méthodes d'analyse des données et de nouveaux essais au champ.

HYPOTHÈSE

La fertilisation N, P, K, Mg, Cu, et B de la canneberge permet d'élaborer des 'normes nutritives' foliaires caractéristiques de rendements élevés.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Sites expérimentaux

- Essais de fertilisation réalisés sur quatre (4) sites localisés à Laurierville (S10), Notre-Dame-Lourdes (9 et 45) et à Saint-Louis de Blandford (A9 - Production biologique).
- Cultivar 'Stevens', le cultivar le plus populaire au Québec.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Traitements et dispositif expérimental

- Traitements :

- 5 doses de N (0-15-30-45-60 kg N/ha) sous forme de sulfate d'ammonium (21-0-0) et du 8-0-0 (engrais liquide bio)
- 3 doses de P (0-15-30 kg P/ha) sous forme de TSP (0-46-0) et de l'os fossile moulu (bio) (0-13-0)
- 4 doses de K (0-40-80-120 kg K/ha) sous forme de sulfate de potassium (0-0-50) ou de SULPOMAG (0-0-22)

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Traitements et dispositif expérimental

○ Traitements :

- 2 doses de Mg (0-12 kg Mg/ha) sous forme de sulpomag (11% Mg) ou de sel d'Epsom (9 %)
- 2 doses de Cu (0 et 2 kg Cu/ha) sous forme de sulfate de cuivre (25 %)
- 2 doses de B (0 et 1 kg B/ha) sous forme de solubor (21 %)
- Ajout des autres éléments nutritifs dans chaque traitement à la dose recommandée par **Parent et Gagné (2010)**

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Traitements et dispositif expérimental

- Dispositif en blocs complets aléatoires:
 - 2 blocs pour un total de 36 unités expérimentales de 12 m² (3m* 4 m) par site
 - Espacement d'un mètre entre les parcelles expérimentales d'un même bloc et entre les blocs
- Application d'engrais manuellement et à la volée selon le stade de développement de la plante (Roper, 2004)

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Tableau 3.-Structure des traitements utilisés

Traitement	Composantes (kg/ha)					
	N	P	K	Mg	Cu	B
N0	0	15	80	12	2	1
N15	15	15	80	12	2	1
N30	30	15	80	12	2	1
N45	45	15	80	12	2	1
N60	60	15	80	12	2	1
P0	45	0	80	12	2	1
P15	45	15	80	12	2	1
P30	45	30	80	12	2	1
K0	45	15	0	12	2	1
K40	45	15	40	12	2	1
K80	45	15	80	12	2	1
K120	45	15	120	12	2	1
Mg0	45	15	80	0	2	1
Mg12	45	15	80	12	2	1
Cu0	45	15	80	12	0	1
Cu2	45	15	80	12	2	1
B0	45	15	80	12	2	0
B1	45	15	80	12	2	1

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Dispositif expérimental

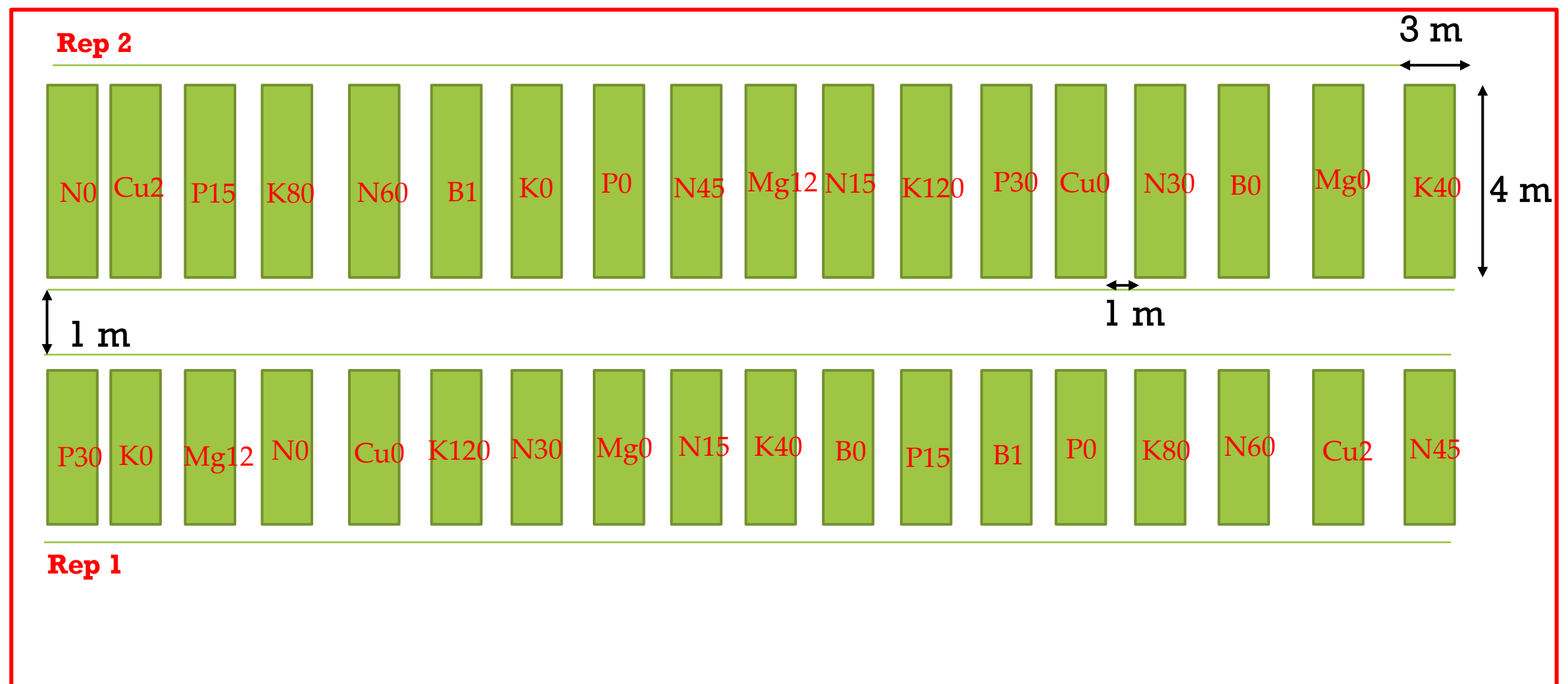


Fig. 1 : Disposition des parcelles expérimentales : Exemple d'un site

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ **Rendement:**

- ❖ Fruits récoltés dans 4 quadrats (1 m²) par parcelle

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Analyses foliaires

- Échantillon foliaire de 200 tiges verticales par parcelle selon la méthode décrite par **Davenport (1995)**:
 - ✓ Échantillons composés d'un mélange de tiges fructifères et de tiges non fructifères.
 - ✓ 10 sous-échantillons de 20 tiges verticales

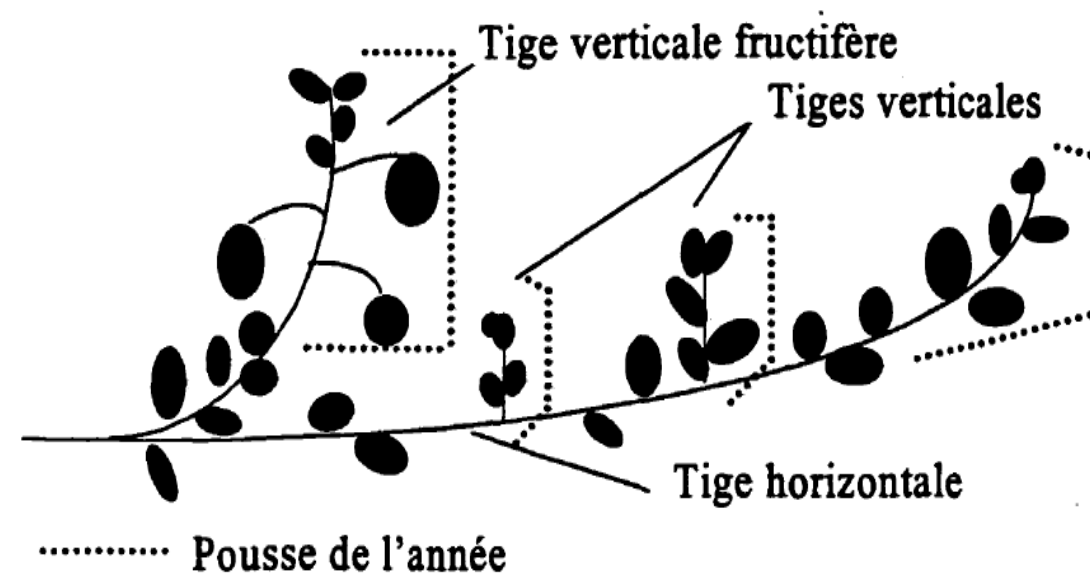


Figure 2.-Développement du plant de canneberge

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Analyses foliaires

- Échantillonnage effectué entre la mi-août à la mi-septembre quand la concentration des éléments dans les tissus est relativement stable.

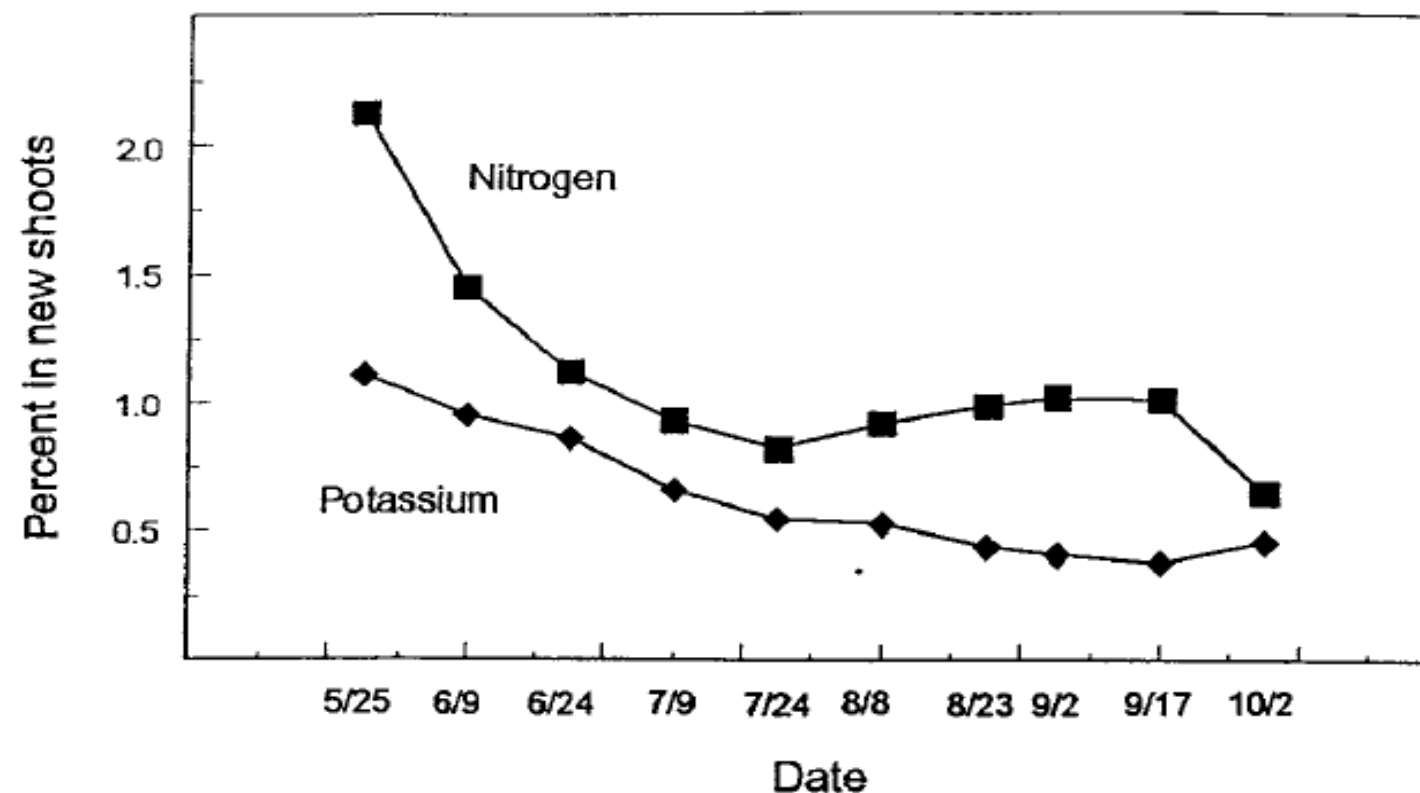


Figure 3.- Contenus saisonniers en azote et en potassium dans les tissus de canneberge au Massachusetts (DeMoranville, 1992)

MATÉRIELS ET MÉTHODES

❖ Analyses foliaires

○ Analyse:

- ✓ azote total: analysé par Kjeldahl
- ✓ digestion à l'acide perchlorique (P-K-Ca-Mg-Al-Cu-Mn-Zn-Fe) (Barnhisel and Bertsch, 1982),
- ✓ digestion à l'eau chaude pour le chlore (Wheal et Palmer, 2010)
- ✓ calcination pour le bore
- ✓ dosage par ICP-OES

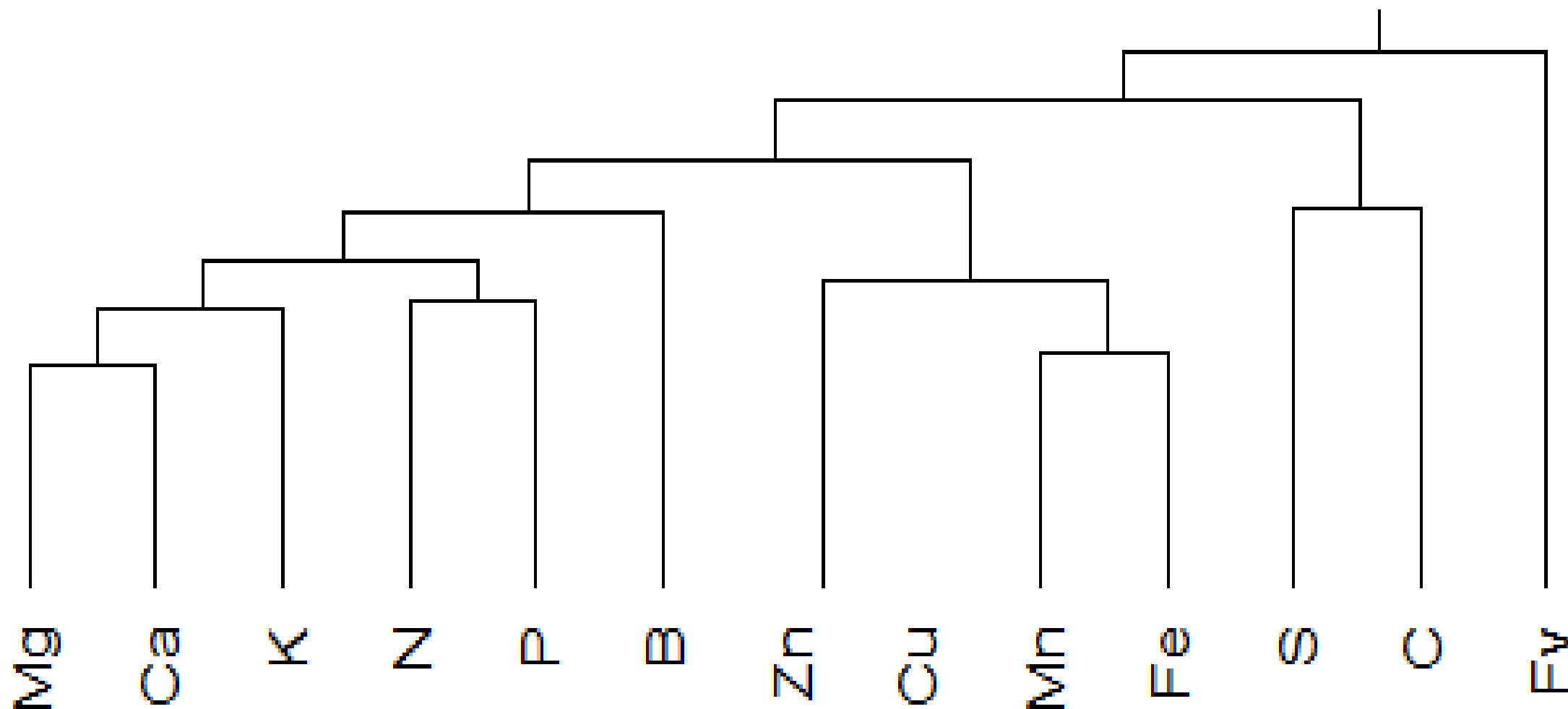
ANALYSES DES DONNÉES FOLIAIRES

❖ Simplex compositionnel

- Données foliaires => données compositionnelles
- Soit le tissu foliaire composé des éléments suivants:
 - ✓ $N + P + K + Ca + Mg + Cu + Fe + Mn + Zn + B + C + S + Fv = 10^6$ mg/kg
ou 100 %
 - Avec $N > 0; P > 0; K > 0; Ca > 0; Mg > 0; Cu > 0; Fe > 0; Mn > 0; Zn > 0; B > 0;$
 $C > 0; S > 0;$ (Parent et al., 2009)
 - Fv : valeur de remplissage ('filling value' en anglais) jusqu'à 10^6
mg/kg ou 100%

ANALYSES DES DONNÉES FOLIAIRES

❖ Définition des balances nutritives



ANALYSES DES DONNÉES FOLIAIRES

❖ Définition des balances nutritives

- Transformation des données en ratios logarithmiques isométriques (ilr)

- $$ilr_j = \sqrt{\frac{n_j^+ n_j^-}{n_j^+ + n_j^-}} \ln \frac{g(c_j^+)}{g(c_j^-)}$$
 (Egozcue and Pawlowsky-Glahn, 2005)

- n_j^+ est le nombre de composantes au numérateur,
- n_j^- est le nombre de composantes au dénominateur,
- $g(c_j^+)$ est la moyenne géométrique des composantes au numérateur ,
- $g(c_j^-)$ est la moyenne géométrique des composantes au dénominateur.

ANALYSES DES DONNÉES FOLIAIRES

❖ Intégration des balances dans une distance multivariée

- **Distance de Mahalanobis \mathcal{M}^2** : indice de diagnostic nutritif utilisé

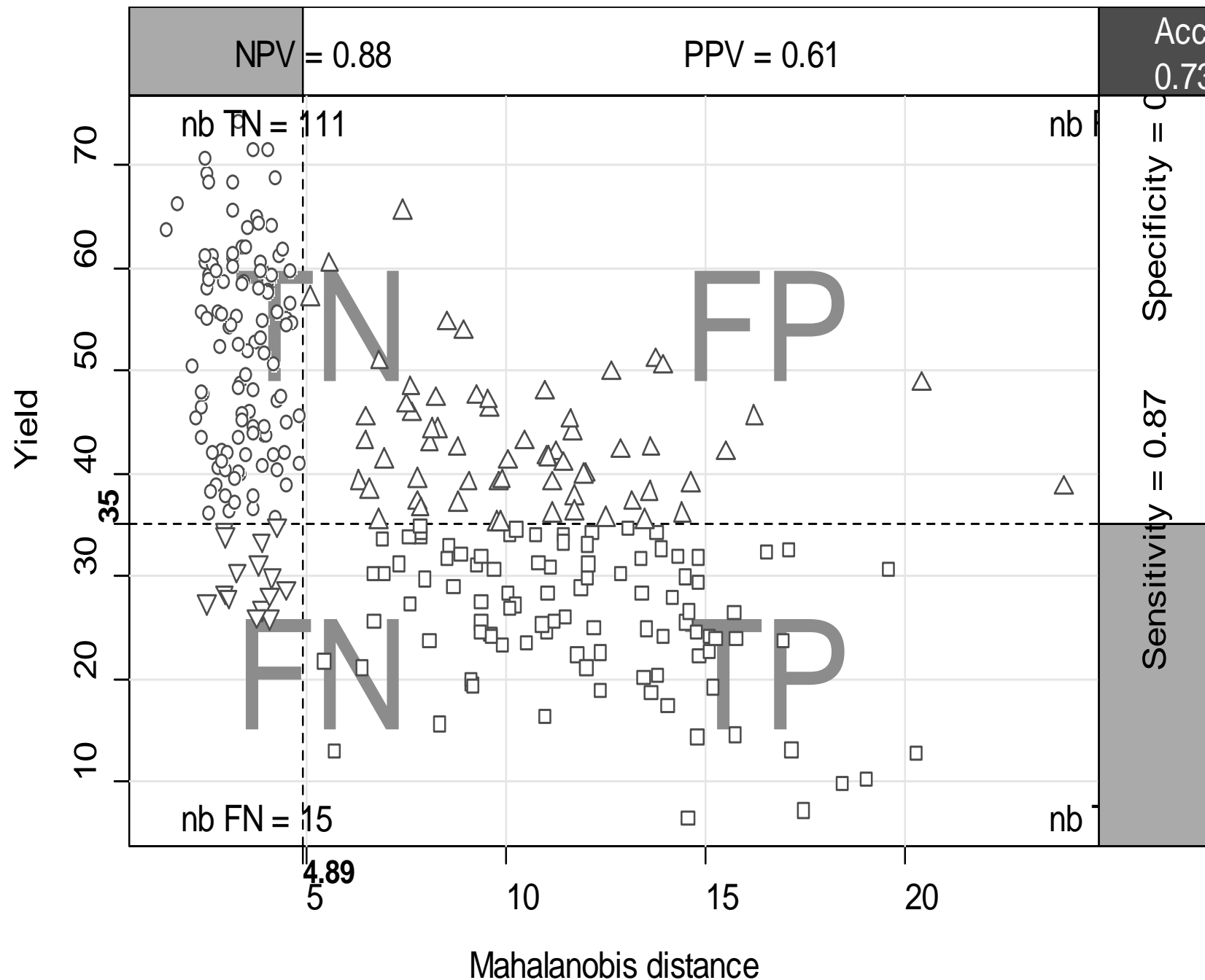
- ✓ $\mathcal{M}^2 = (ilr_j - ilr_j^*)^T COV^{-1} (ilr_j - ilr_j^*)$ (Parent et al., 2013)

- ✓ ilr_j^* est l'ilr de la composition de la population de référence et COV est la matrice de covariance.

RENDEMENT

- 288 observations au total
- Variation du rendement moyen : de 6 à 74 t/ha
 - 13 à 74 t/ha en 2014 et
 - 6 à 51 t/ha en 2015

CLASSEMENT DES OBSERVATIONS



Seuil de rendement: 35 Mg.ha⁻¹

$\mathcal{M}^2_{\text{critique}} = 4,89$

TN: Spécimens à haut rendement et équilibrés;

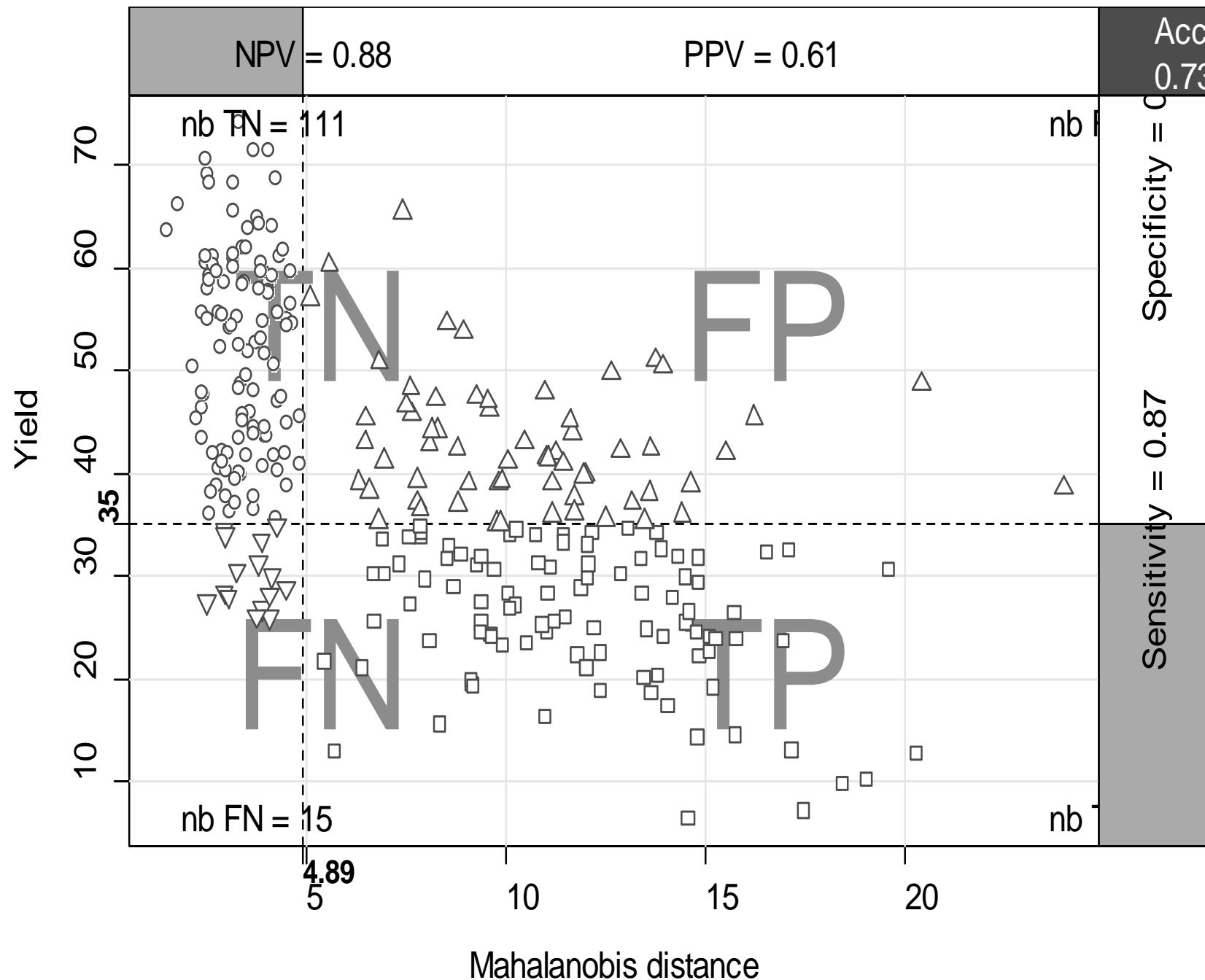
TP: Spécimens à faible rendement non équilibrés;

FN: Spécimens à faible rendement incorrectement diagnostiqués équilibrés (Au moins un facteur autre que ceux quantifiés ici a été limitant);

FP: Spécimens à haut rendement incorrectement diagnostiqués non équilibrés (consommation de luxe (K) et/ou contamination (Cu, Zn, Mn des fongicides) (Parent et al., 2009; Marchand et al., 2013))

Figure 4.-Partition de Cate-Nelson entre la distance de Mahalanobis et le rendement des specimens

CLASSEMENT DES OBSERVATIONS



Seuil de rendement: 35 Mg.ha⁻¹

$\mathcal{M}^2_{\text{critique}} = 4,89$

Précision du test: 73 % (Probabilité pour qu'une observation soit correctement diagnostiquée (TN+TP/(TN+TP+FP+FN))

Sensibilité du test: 87 % (Probabilité pour qu'un faible rendement soit diagnostiqué déséquilibré TP/(TP+FN))

Spécificité du test: 64 % (Probabilité pour qu'un haut rendement soit correctement diagnostiqué balancé TN/(TN+FP))

Figure 4.-Partition de Cate-Nelson entre la distance de Mahalanobis et le rendement des spécimens

NORMES NUTRITIVES

❖ Vrais négatifs:

- Population de spécimens à hauts rendements et bien balancés
- les interactions affectent peu les résultats des calculs statistiques.
- Ainsi, on peut calculer un intervalle de confiance pour chaque élément nutritif dans la population des vrais négatifs afin d'établir des 'normes nutritives' pour l'obtention de hauts rendements.

NORMES FOLIAIRES

Tableau 4a. Intervalles de suffisance nutritive des tissus de canneberge

Éléments	Intervalle de suffisance			
	Roper, 2001 (Wisconsin)	Yarborough et al., 1993 (Maine)	Marchand et al., 2013 (Québec)	Québec (2014-2015)
	%			
Azote (N)	0.90-1.10	0.95-1.05	1.09-1.24	1.03-1.07
Phosphore (P)	0.10-0.20	0.11-0.14	0.11-0.13	0.09-0.10
Potassium (K)	0.40-0.75	0.40-0.65	0.50-0.56	0.48-0.51
Calcium (Ca)	0.30-0.80	0.60-0.80	0.84-1.00	0.81-0.86
Magnésium (Mg)	0.15-0.25	0.20-0.25	0.17-0.20	0.19-0.21
Soufre (S)	0.08-0.25	ND	ND	0.08-0.09

Intervalle de confiance à $\alpha=0,01$

NORMES FOLIAIRES

Tableau 4b. Intervalles de suffisance nutritive des tissus de canneberge (suite)

Éléments	Intervalle de suffisance			
	Roper, 2001 (Wisconsin)	Yarborough et al., 1993 (Maine)	Marchand et al., 2013 (Québec)	Québec (2014-2015)
	mg.kg ⁻¹			
Fer (Fe)	>20	40-80	60-69	110-129*
Manganèse (Mn)	>10	150-250	493-711	207-243
Zinc (Zn)	15-30	15-30	22-26	14-18
Cuivre (Cu)	4-10	4-7	4-5	2.6-3

CONCLUSION

- ✓ Ilr: permet d'établir un diagnostic des balances nutritives
- ✓ Toutefois, l'étape de recommandation des doses d'engrais nécessite une étude additionnelle de sensibilité des balances à la fertilisation
=> deuxième étape du projet

Remerciements:

- Atocas de l'Érable
- Atocas Blandford
- Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en
Génie du Canada (CRSNG)

Merci de votre attention!!!