

RAPPORT PRÉLIMINAIRE

**FERTILISATION DANS LE BLEUET SAUVAGE : DÉTERMINATION DES SEUILS DE RÉPONSE DE LA CULTURE SELON LES
CONCENTRATIONS DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS DANS LES FEUILLES**

SAISON 2012

JEAN LAFOND

CENTRE DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT SUR LES SOLS ET LES GRANDES CULTURES
FERME DE RECHERCHES DE NORMANDIN

Canada

Plusieurs travaux de recherches ont démontré que la culture du bleuet sauvage répondait très bien à la fertilisation malgré que cette culture ait des besoins en éléments nutritifs relativement faibles (Penney et McRae 2000; Gagnon et al. 2003; Lafond 2004; Starast et al. 2007; Lafond 2010; Lafond et Ziadi 2011). Comme la production de bleuet nain sauvage est localisée sur des sols sableux et acides (Hall 1978), le devenir des éléments nutritifs dans le sol et les végétaux demeure une situation préoccupante au point vue agronomique et environnemental. En effet, les risques de pertes d'azote par lessivage sont élevés (Lafond 2010) et l'efficacité du phosphore dans ces conditions acides est faible (Lafond et Ziadi 2013). Actuellement, le suivi du statut nutritif du bleuet se fait à l'aide de la détermination des concentrations en éléments nutritifs des feuilles et les résultats de ces analyses sont comparés à des valeurs de références (Lafond 2009). Les recommandations de fertilisants sont basées sur ces analyses foliaires et sur le potentiel de rendement du champ.

La fertilisation dans les bleuetières est appliquée uniformément sur l'ensemble des champs. Plusieurs études ont démontré que le bleuetier nain a répondu positivement à la fertilisation azotée tandis que la réponse à la fertilisation phosphatée et potassique était mitigée (Lafond 2010; Lafond et Ziadi 2011). Ces études ont toutefois été effectuées sans égard aux analyses initiales des feuilles de bleuet. Ainsi, l'ampleur de la réponse de la culture aux engrais azotés aurait pu être atténuée ou amplifiée selon la concentration initiale en N des feuilles à l'année de végétation. Au Maine, l'approche proposée pour ajuster la fertilisation est d'apporter les fertilisants en quantités suffisantes pour à atteindre les concentrations minimales de référence, sans égard, toutefois, à la concentration initiale en N et en P des feuilles.

Objectif

L'objectif de ce projet est de déterminer la réponse de la culture du bleuet sauvage à la fertilisation selon les concentrations en N et P des feuilles prélevées durant l'année de végétation.

Matériel et Méthodes

L'expérience a été réalisée sur 15 sites localisés dans des bleuetières au Saguenay-Lac-Saint-Jean en 2012. Les sites ont été sélectionnés en fonction des résultats des analyses chimiques des feuilles de l'année de végétation 2010. Le critère pour sélectionner un site est principalement la

concentration en N et P des feuilles. L'objectif est d'avoir la plus grande variation possible des concentrations en N et P des feuilles. L'identification des champs a été réalisée conjointement avec le Club Conseil Bleuet qui possède ces renseignements pour chacun de ces membres. Les traitements ont consisté à appliquer quatre doses de N (0, 30, 60 et 90 kg N ha⁻¹ de sulfate d'ammonium) et trois doses de P (0, 10 et 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ de super triple phosphate) au printemps de l'année de végétation. Toutes les parcelles ont reçu une dose de 20 kg ha⁻¹ de K (sulfate de potassium) et une dose de 0,7 kg ha⁻¹ de B granulaire (sous forme de borate) au printemps de l'année de végétation. Le dispositif expérimental utilisé est un dispositif en blocs complets aléatoires avec quatre répétitions. Les parcelles auront une dimension de 2 X 5 m (10 m²). Des allées de 1 m sépareront chaque parcelle. Au printemps de l'année de végétation, une application d'hexazinone (1,5 kg m. a. ha⁻¹) sera réalisée sur l'ensemble des parcelles pour lutter contre les mauvaises herbes (MAPAQ 2000).

Les parcelles expérimentales seront récoltées sur une superficie de 3,2 m² à l'aide d'une cueilleuse manuelle munie d'un peigne de 0,64 m de large afin de déterminer les rendements en fruits frais. Des échantillons de feuilles seront prélevés sur 25 tiges sélectionnées au hasard dans chacune des parcelles afin d'évaluer l'état nutritionnel de la culture à la fin juillet de l'année de végétation. Des analyses chimiques seront effectuées sur les échantillons de feuille qui seront été séchés à 55 °C et broyés sur un tamis de 1 mm. Les concentrations en N, en P, en K, en Ca et en Mg seront dosées après digestion humide (acide sulfurique-peroxyde- acide sélénieux) (Isaac et Johnson 1976). Les concentrations en N et en P des tissus végétaux seront déterminées par colorimétrie (Lachat Instruments, Quickchem Method 13-107-06-2-E ; 15-501-03). La concentration en K des tissus végétaux sera été déterminée par spectrophotométrie d'émission de flamme et les concentrations en Ca et en Mg par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer AAnalyst 300, Überlingen, Allemagne).

La hauteur des plants sera mesurée à l'année de végétation. Le nombre de bourgeons floraux par tige sera également déterminé au printemps de l'année de production.

En même temps que l'échantillonnage des feuilles, des mesures de chlorophylles seront réalisées à l'aide du SPAD. Vingt (20) feuilles seront sélectionnées pour effectuer les lectures avec le SPAD. La lecture de la chlorophylle sera faite sur la face supérieure de la feuille.

Un échantillon de sol composé d'un mélange de trois sous échantillons provenant des couches 0-5, 5-15 et 15-30 cm sera été prélevé dans toutes les parcelles à l'aide d'une sonde (20 mm de diamètre) avant l'application des engrais afin de caractériser les sites. Les échantillons de sol seront séchés et tamisés à 2 mm avant d'effectuer les analyses. Le pH du sol sera mesuré dans l'eau selon un rapport 1:2 (Hendershot et al. 2007). Le phosphore, le K, le Ca, le Al et le Mg du sol seront extraits avec la solution Mehlich 3 (Ziadi et Tran 2007). La teneur en P du sol sera déterminée par colorimétrie (Murphy et Riley 1962). La teneur en K du sol sera déterminée par spectrophotométrie d'émission de flamme et les teneurs en Ca et Mg par spectrophotométrie d'absorption atomique (Perkin Elmer AAnalyst 300, Überlingen, Allemagne). La matière organique totale du sol sera déterminée par oxydation par voie humide selon la méthode modifiée Walkley-Black (Conseil des productions végétales du Québec 1988).

Résultats

Les caractéristiques physico-chimiques des sites sont présentées au Tableau 1. Pour la majorité des sites, les sols sont des sables presque purs, soit plus de 85 % de sable selon l'analyse granulométrie. Toutefois, les sites situés à Albanel et un site situé à St-Thomas-Didyme ont des teneurs en sable de moins de 85 %, et qui se traduit par une portion plus élevée en limon. Cette caractéristique particulière pourra être en lien à la réponse de la culture à la fertilisation. Les analyses chimiques de sol ont indiqué que ces sols sont acides et pauvres en éléments nutritifs. Les sites de Normandin sont plus riches en P, probablement lié à l'historique de fertilisation tandis que les sites de la CAFN sont les plus pauvres, les bleuetières les plus récentes du groupe, ayant un historique de fertilisation limité. Les sites d'Albanel, de St-Thomas-Didyme et de la CAFN ont des teneurs en matière organique plus élevées que les autres sites. Le rapport molaire P/Fe+Al est supérieur à 0,028 pour l'ensemble des sites, suggérant que la réponse aux engrais phosphatés sera très limitée (Lafond et Ziadi 2013).

Mesure de la chlorophylle dans les feuilles

Des mesures indirectes de la chlorophylle ont été réalisées en même temps que les échantillonnages de feuilles de bleuet lors de l'aoûtement à l'aide d'un SPAD-502. Les mesures ont augmentées significativement avec l'accroissement de la dose de N (Figure 1). Toutefois, l'interaction N x P a été significative et elle s'est traduit par une plus grande augmentation des

lectures de SPAD avec la dose de 10 kg P₂O₅ ha⁻¹ comparativement à la dose de 20 kg P₂O₅ ha⁻¹. Il semblerait que la dose de P de 20 kg ha⁻¹ diminue les lectures de SPAD et nuise au prélèvement du N.

Analyse foliaire

L'analyse des feuilles à l'année de végétation a indiqué que la fertilisation azotée a augmenté significativement la concentration en N, P et K tandis que les concentrations en Ca et Mg ont diminué (Tableaux 2 à 16). Les concentrations des éléments nutritifs dans les feuilles sont demeurées dans les intervalles de suffisance proposés par Lafond (2009). La concentration en P des feuilles a uniquement augmenté avec l'accroissement de la dose de P. Néanmoins, l'effet des sites est significatif pour tous les éléments nutritifs, indiquant que l'ampleur de la réponse à la fertilisation azotée a été significativement différente.

Pour la concentration en N des feuilles, les accroissements ont été nettement plus élevés pour les sites de la CAFN tandis que pour le site Boréal, l'accroissement a été le plus faible, presque nul (Tableau 17). Dans ce même tableau (17), les sites sont présentés en fonction de leur réponse croissante à la fertilisation azotée. Le lien entre la réponse à la fertilisation azotée selon la concentration initiale en N des feuilles n'est pas clair pour l'instant. En effet pour le site ayant la concentration en N la plus faible (1,40%) (site 5, Albanel), la pente de la droite de régression n'a été seulement de 0,0012. À l'opposé, le site 13 (CAFN) avait la teneur en N la plus élevée (1,69%) et c'est à ce site que la réponse à la fertilisation a été la plus grande (0.0024).

La concentration en P des feuilles a été la plus faible au site de St-Méthode (8) avec des valeurs de 0,100 % pour les parcelles non fertilisées en P. À l'inverse, le site de la CAFN (13), les concentrations en P des feuilles ont varié de 0,134 à 0,143 %, soient les valeurs les plus élevées.

La concentration en K des feuilles a été la plus faible au site d'Albanel (4) avec des valeurs de 0,520 % tandis que pour un autre site d'Albanel (5), les concentrations en K ont varié de 0,601 à 0,639 %, soient les valeurs les plus élevées. Les concentrations moyennes en Ca et Mg des feuilles ont été de 0.509 et de 0.196 % respectivement.

Conclusions

Les résultats de la première année confirment la grande variabilité des sols des bleuetières ainsi que des plantes qui y sont produites. Les caractéristiques physico-chimiques dont la texture et le contenu en matière organique du sol pourraient potentiellement expliquer en partie les réponses obtenues à la suite de l'application des engrais. Les valeurs des lectures mesurées avec le SPAD ont indiqué qu'il était possible par des lectures optiques de suivre la concentration en N des feuilles, étant donné que les concentrations en N des feuilles étaient positivement corrélées aux lectures de SPAD. Les concentrations en N, P et K des feuilles ont augmenté significativement avec l'accroissement de la fertilisation azotée tandis que les concentrations en Ca et Mg ont diminué significativement, comme il a été observé dans des études antérieures (Lafond 2010; Lafond et Ziadi 2011). La fertilisation phosphatée a uniquement augmenté la concentration en P des feuilles. Le lien entre la concentration initiale des éléments nutritifs dans les feuilles et le rendement en fruits se fera l'an prochain, lors de l'année de production.

Références

- Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ). 1988.** Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des végétaux. AGDEX 533. Gouvernement du Québec, Québec, Canada.
- Gagnon, B., Simard, R. R., Lalande, R. et Lafond, J. 2003.** Improvement of soil properties and fruit yield of native lowbush blueberry by papermill sludge addition. *Can. J. Soil Sci.* **83**: 1-9.
- Hendershot, W. H., Lalande, H. et Duquette, M. 2007.** Soil reaction and exchangeable acidity. Pages 171-178 dans M.R. Carter et E.G. Gregorich (éd.). *Soil sampling and methods of analysis*. Deuxième édition. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Isaac, R. A. et Johnson, W. C. 1976.** Determination of total nitrogen in plant tissue, using a block digester. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* **59**: 98-100.
- Lafond, J. 2004.** Application of paper mill biosolids, wood ash and ground bark on wild lowbush blueberry production. *Small Fruit Review* **3 (1/2)**: 3-10.
- Lafond, J. 2009.** Optimum leaf nutrient concentrations of wild lowbush blueberry in Quebec. *Can. J. Plant Sci.* **89**: 341-347.
- Lafond, J. 2010.** Fractionnement de la fertilisation azotée dans la production du bleuets nain sauvage et suivi de l'azote du sol. *Can. J. Soil Sci.* **90** : 189-199.
- Lafond, J. et Ziadi, N. 2011.** Fertilisation azotée et phosphatée dans la production du bleuets nain sauvage au Québec. *Can. J. Plant Sci.* **91** : 535-544.

- Lafond, J. et Ziadi, N. 2013.** Biodisponibilité de l'azote et du phosphore dans les sols de bleuetières du Québec. *Can. J. Soil Sci.* **93** : 33-44
- Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec (MAPAQ). 2000.** Trousse d'information et de démarrage en production du bleuët nain semi cultivé. Publication 00-0050. Gouvernement du Québec, Qc, Canada.
- Murphy, J. et Riley, J. P. 1962.** A modified single solution method for the determination of phosphate in surface waters. *Anal. Chim. Acta* **27**: 31-36.
- Penney, B. G. et McRae, K. B. 2000.** Herbicidal weed control and crop-year NPK fertilization improves lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) production. *Can. J. Plant Sci.* **80**: 351-361.
- Starast, M., Karp, K., Vool, E., Paal, T. et Albert, T. 2007.** Effect of NPK fertilization and elemental sulfur on growth and yield of lowbush blueberry. *Agr. Food Sci.* **16**: 34-45.
- Ziadi, N. et Tran, T. S. 2007.** Mehlich III-Extractable elements. Pages 81-88 dans M.R. Carter et E.G. Gregorich (éd.). Deuxième édition. *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Tableau 1 Caractéristiques physico-chimiques des sites expérimentaux au printemps 2012

Site	Prof	pH		K Ppm	Ca ppm	Mg ppm	Fe ppm	Al ppm	P / (Fe+Al)	matière organique %	
		eau	P ppm								
1	Normandin	1	4.5	51	54	349	36	421	1111	0.047	9.99
	Normandin	2	4.8	45	15	50	7	283	2047	0.031	3.00
	Normandin	3	5.0	21	9	13	2	59	2165	0.017	1.37
2	Normandin	1	4.7	58	68	1009	112	351	820	0.067	13.05
	Normandin	2	5.1	100	39	84	10	340	1721	0.075	2.61
	Normandin	3	5.3	31	10	25	3	128	2086	0.024	1.47
3	Normandin	1	5.1	104	44	770	43	314	1069	0.109	10.70
	Normandin	2	5.4	78	15	111	7	239	1845	0.060	2.57
	Normandin	3	5.4	30	12	30	3	79	1954	0.026	1.22
4	Albanel	1	4.7	39	64	576	106	314	1345	0.035	14.69
	Albanel	2	5.0	13	11	55	10	172	1871	0.011	4.04
	Albanel	3	5.0	19	4	8	2	54	1835	0.018	1.44
5	Albanel	1	4.7	50	66	319	38	300	1467	0.043	10.33
	Albanel	2	5.0	12	33	38	6	138	2232	0.009	3.08
	Albanel	3	5.2	17	13	7	2	48	2162	0.014	1.25
6	Albanel	1	4.6	50	69	367	45	367	1389	0.042	10.26
	Albanel	2	5.0	20	16	36	6	162	2240	0.014	2.95
	Albanel	3	5.2	22	8	5	2	54	2230	0.017	1.12
7	St-Méthode	1	4.6	43	50	254	33	332	937	0.048	7.36
	St-Méthode	2	4.9	22	14	29	5	188	1835	0.018	2.15
	St-Méthode	3	5.0	18	5	4	2	57	1982	0.016	0.96
8	St-Méthode	1	4.5	29	48	338	28	232	683	0.046	6.85
	St-Méthode	2	4.9	29	16	50	5	173	1753	0.025	2.55
	St-Méthode	3	5.0	12	10	11	1	62	2155	0.010	1.36

Tableau 1 (suite) Caractéristiques physico-chimiques des sites expérimentaux au printemps 2012

Site	Prof	pH				P /					matière organique %
		eau	P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Fe ppm	Al ppm	(Fe+Al)		
9 St-Thomas-Didyme	1	4.5	57	95	660	66	339	1051	0.059	14.94	
	2	4.8	45	19	42	6	232	1988	0.033	3.34	
	3	4.9	31	8	8	2	54	2015	0.027	1.59	
10 St-Thomas-Didyme	1	4.2	52	124	893	85	373	875	0.057	13.54	
	2	4.7	40	23	67	10	334	1937	0.027	4.18	
	3	4.9	14	9	6	2	89	2029	0.012	1.66	
11 St-Thomas-Didyme	1	4.4	42	149	1059	123	368	929	0.045	16.46	
	2	4.7	35	25	94	16	428	1871	0.023	4.80	
	3	4.9	6	10	24	4	164	2167	0.005	2.90	
12 Bleuets Boréal	1	5.1	69	67	669	61	501	1510	0.049	9.40	
	2	5.2	21	20	137	13	326	2056	0.014	3.57	
	3	5.3	9	9	37	3	113	2148	0.007	1.86	
13 CAFN	1	4.4	30	90	522	64	237	868	0.039	10.74	
	2	4.6	24	27	74	11	264	1902	0.017	4.29	
	3	4.9	8	16	10	2	85	2307	0.005	1.51	
14 CAFN	1	4.5	21	85	456	79	267	734	0.029	14.55	
	2	4.8	16	20	158	11	313	1955	0.011	4.10	
	3	4.9	6	7	7	2	88	2369	0.005	1.76	
15 CAFN	1	4.6	33	69	447	40	279	984	0.038	9.06	
	2	4.9	20	21	71	8	237	1781	0.016	3.49	
	3	5.1	7	11	9	2	86	2110	0.005	1.06	

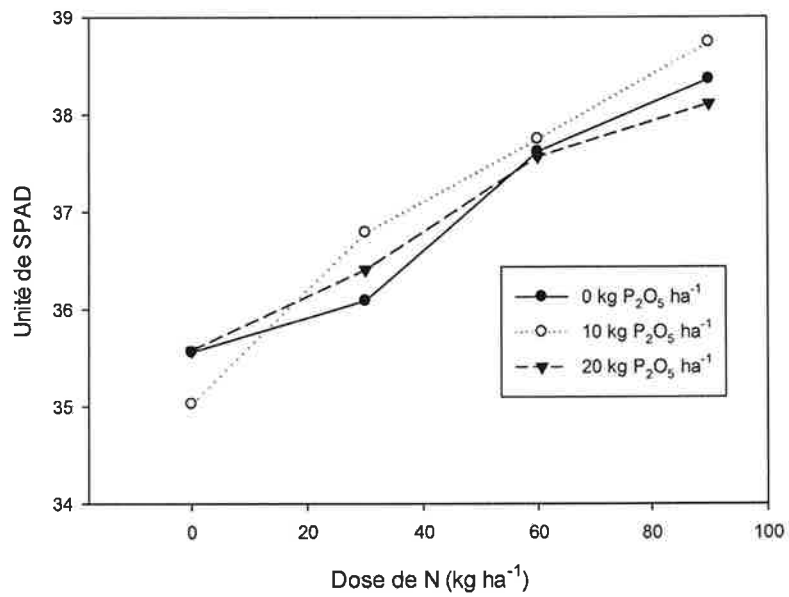


Figure 1 Effet des doses de N et de P sur les lectures de SPAD

Tableau 2 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
Normandin 1	0	0	1.50	0.105	0.555	0.518	0.195	
		10	1.48	0.110	0.568	0.503	0.203	
		20	1.54	0.113	0.553	0.540	0.210	
	30	0	1.58	0.113	0.575	0.485	0.200	
		10	1.58	0.113	0.563	0.588	0.203	
		20	1.53	0.110	0.550	0.578	0.190	
	60	0	1.58	0.110	0.543	0.538	0.180	
		10	1.63	0.110	0.575	0.510	0.183	
		20	1.66	0.113	0.540	0.583	0.208	
	90	0	1.58	0.108	0.575	0.483	0.188	
		10	1.69	0.110	0.555	0.558	0.180	
		20	1.65	0.115	0.543	0.595	0.205	
	0			1.51	0.109	0.558	0.520	0.203
		30		1.56	0.112	0.563	0.550	0.198
		60		1.62	0.111	0.553	0.543	0.190
		90		1.64	0.111	0.558	0.545	0.191
			0	1.56	0.109	0.562	0.506	0.191
			10	1.59	0.111	0.565	0.539	0.192
			20	1.60	0.113	0.546	0.574	0.203

Tableau 3 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg		
								(kg ha ⁻¹)	
Normandin	2	0	0	0	1.51	0.105	0.543	0.438	0.205
			10	1.53	0.108	0.520	0.453	0.228	
			20	1.51	0.110	0.535	0.455	0.223	
		30	0	1.55	0.108	0.573	0.413	0.210	
				10	1.56	0.113	0.583	0.490	0.210
				20	1.56	0.110	0.580	0.448	0.208
		60	0	1.52	0.110	0.560	0.423	0.208	
				10	1.68	0.118	0.570	0.500	0.205
				20	1.59	0.120	0.610	0.448	0.208
		90	0	1.67	0.115	0.570	0.465	0.200	
				10	1.68	0.120	0.583	0.423	0.203
				20	1.62	0.110	0.558	0.453	0.203
		0	0	1.52	0.11	0.53	0.45	0.22	
				30	1.56	0.11	0.58	0.45	0.21
				60	1.60	0.12	0.58	0.46	0.21
				90	1.66	0.12	0.57	0.45	0.20
				0	1.56	0.109	0.561	0.434	0.206
				10	1.61	0.114	0.564	0.466	0.211
				20	1.57	0.113	0.571	0.451	0.210

Tableau 4 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
Normandin	3	0	0	1.61	0.113	0.548	0.508	0.195
			10	1.59	0.110	0.525	0.480	0.163
			20	1.56	0.105	0.533	0.455	0.153
		30	0	1.60	0.113	0.595	0.493	0.178
			10	1.63	0.115	0.533	0.498	0.160
			20	1.71	0.120	0.598	0.498	0.185
		60	0	1.66	0.113	0.555	0.488	0.170
			10	1.67	0.118	0.540	0.440	0.165
			20	1.73	0.120	0.593	0.490	0.170
		90	0	1.76	0.113	0.593	0.480	0.178
			10	1.71	0.113	0.538	0.480	0.163
			20	1.73	0.120	0.563	0.453	0.168
		0		1.59	0.109	0.535	0.481	0.170
		30		1.64	0.116	0.575	0.496	0.174
		60		1.69	0.117	0.563	0.473	0.168
		90		1.73	0.115	0.564	0.471	0.169
			0	1.66	0.113	0.573	0.492	0.180
			10	1.65	0.114	0.534	0.474	0.163
			20	1.68	0.116	0.571	0.474	0.169

Tableau 5 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P		N	P	K	Ca	Mg	
		(kg ha ⁻¹)							(%)
Albanel	4	0	0	1.49	0.108	0.540	0.495	0.235	
			10	1.48	0.110	0.503	0.490	0.218	
			20	1.47	0.110	0.518	0.465	0.218	
		30	0	1.52	0.115	0.530	0.505	0.233	
			10	1.45	0.108	0.515	0.545	0.228	
			20	1.54	0.118	0.508	0.520	0.228	
		60	0	1.50	0.110	0.513	0.475	0.228	
			10	1.48	0.115	0.530	0.523	0.210	
			20	1.55	0.120	0.515	0.563	0.240	
		90	0	1.59	0.118	0.518	0.520	0.213	
			10	1.61	0.115	0.523	0.445	0.210	
			20	1.59	0.118	0.553	0.465	0.208	
		0	0	0	1.48	0.109	0.520	0.483	0.223
				30	1.50	0.113	0.518	0.523	0.229
				60	1.51	0.115	0.519	0.520	0.226
				90	1.60	0.117	0.531	0.477	0.210
				0	1.52	0.113	0.525	0.499	0.227
				10	1.50	0.112	0.518	0.501	0.216
				20	1.54	0.116	0.523	0.503	0.223

Tableau 6 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	(kg ha ⁻¹)		N	P	K	Ca	Mg	
		N	P						
				(%)					
Albanel	5	0	0	1.40	0.113	0.550	0.550	0.238	
			10	1.39	0.110	0.605	0.515	0.240	
			20	1.42	0.113	0.648	0.490	0.223	
		30	0	1.40	0.113	0.608	0.505	0.210	
			10	1.45	0.123	0.618	0.518	0.208	
			20	1.47	0.120	0.600	0.558	0.223	
		60	0	1.46	0.115	0.673	0.478	0.178	
			10	1.49	0.120	0.630	0.478	0.195	
			20	1.47	0.120	0.615	0.493	0.185	
		90	0	1.52	0.113	0.620	0.483	0.195	
			10	1.50	0.118	0.613	0.535	0.198	
			20	1.55	0.123	0.665	0.475	0.195	
		0	0	0	1.40	0.112	0.601	0.518	0.233
				30	1.44	0.118	0.608	0.527	0.213
				60	1.47	0.118	0.639	0.483	0.186
				90	1.52	0.118	0.633	0.498	0.196
				0	1.44	0.113	0.613	0.504	0.205
				10	1.46	0.118	0.616	0.511	0.210
				20	1.48	0.119	0.632	0.504	0.206

Tableau 7 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
Albanel	6	0	0	1.51	0.118	0.578	0.505	0.225
			10	1.43	0.113	0.595	0.510	0.220
			20	1.44	0.115	0.583	0.513	0.223
		30	0	1.41	0.115	0.633	0.483	0.195
			10	1.44	0.113	0.598	0.483	0.208
			20	1.47	0.118	0.598	0.510	0.218
		60	0	1.52	0.115	0.608	0.565	0.200
			10	1.52	0.115	0.583	0.483	0.205
			20	1.51	0.123	0.608	0.475	0.193
		90	0	1.53	0.115	0.595	0.508	0.210
			10	1.61	0.120	0.713	0.475	0.205
			20	1.59	0.123	0.653	0.508	0.205
			0	1.46	0.115	0.585	0.509	0.223
			30	1.44	0.115	0.609	0.492	0.207
			60	1.52	0.118	0.599	0.508	0.199
			90	1.57	0.119	0.653	0.497	0.207
			0	1.49	0.116	0.603	0.515	0.208
			10	1.50	0.115	0.622	0.488	0.209
			20	1.50	0.119	0.610	0.501	0.209

Tableau 8 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
St-Méthode 7	0	0	1.42	0.105	0.498	0.583	0.198	
		10	1.43	0.100	0.540	0.573	0.205	
		20	1.39	0.110	0.515	0.598	0.210	
	30	0	1.51	0.110	0.498	0.588	0.205	
		10	1.43	0.108	0.585	0.565	0.195	
		20	1.47	0.113	0.508	0.620	0.205	
	60	0	1.49	0.108	0.520	0.585	0.188	
		10	1.51	0.105	0.610	0.563	0.200	
		20	1.54	0.115	0.558	0.625	0.210	
	90	0	1.50	0.110	0.518	0.548	0.188	
		10	1.59	0.110	0.585	0.543	0.195	
		20	1.60	0.115	0.558	0.513	0.178	
	0			1.42	0.105	0.518	0.584	0.204
		30		1.47	0.110	0.530	0.591	0.202
		60		1.51	0.109	0.563	0.591	0.199
		90		1.56	0.112	0.553	0.534	0.187
			0	1.48	0.108	0.508	0.576	0.194
			10	1.49	0.106	0.580	0.561	0.199
			20	1.50	0.113	0.534	0.589	0.201

Tableau 9 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
St-Méthode 8	0	0	1.39	0.098	0.585	0.490	0.175	
		10	1.45	0.103	0.650	0.540	0.185	
		20	1.39	0.095	0.615	0.518	0.183	
	30	0	1.42	0.098	0.583	0.443	0.163	
		10	1.49	0.103	0.653	0.483	0.170	
		20	1.45	0.105	0.598	0.505	0.173	
	60	0	1.59	0.100	0.623	0.465	0.165	
		10	1.52	0.108	0.615	0.498	0.173	
		20	1.54	0.100	0.603	0.470	0.158	
	90	0	1.60	0.105	0.593	0.478	0.170	
		10	1.58	0.103	0.588	0.455	0.155	
		20	1.60	0.115	0.653	0.510	0.158	
	0	0		1.41	0.098	0.617	0.516	0.181
			30	1.46	0.102	0.611	0.477	0.168
			60	1.55	0.103	0.613	0.478	0.165
		30	0	1.50	0.100	0.596	0.469	0.168
			10	1.51	0.104	0.626	0.494	0.171
			20	1.50	0.104	0.617	0.501	0.168

Tableau 10 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P	N	P	K	Ca	Mg	
								(kg ha ⁻¹)
St-Thomas-Dydime	9	0	0	1.43	0.103	0.545	0.540	0.185
			10	1.45	0.103	0.525	0.525	0.205
			20	1.42	0.105	0.533	0.525	0.208
	30	0	0	1.51	0.108	0.535	0.528	0.200
			10	1.45	0.103	0.570	0.485	0.210
			20	1.46	0.110	0.555	0.533	0.188
	60	0	0	1.52	0.103	0.613	0.515	0.185
			10	1.59	0.115	0.588	0.508	0.185
			20	1.55	0.110	0.548	0.520	0.193
	90	0	0	1.54	0.113	0.570	0.515	0.180
			10	1.54	0.110	0.598	0.485	0.180
			20	1.54	0.113	0.553	0.480	0.175
		0		1.43	0.103	0.534	0.530	0.199
		30		1.47	0.107	0.553	0.515	0.199
		60		1.55	0.109	0.583	0.514	0.188
		90		1.54	0.112	0.573	0.493	0.178
			0	1.50	0.106	0.566	0.524	0.188
			10	1.51	0.108	0.570	0.501	0.195
			20	1.49	0.109	0.547	0.514	0.191

Tableau 11 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N		P		K	Ca	Mg	
	(kg ha ⁻¹)		N					P
St-Thomas-Dydime	10	0	0	1.56	0.118	0.548	0.535	0.193
			10	1.58	0.120	0.558	0.540	0.200
			20	1.52	0.118	0.588	0.493	0.183
	30	0	1.54	0.115	0.605	0.538	0.195	
			10	1.51	0.115	0.628	0.503	0.178
			20	1.57	0.123	0.610	0.533	0.193
	60	0	1.62	0.118	0.630	0.483	0.195	
			10	1.60	0.118	0.618	0.505	0.193
			20	1.60	0.125	0.590	0.485	0.180
	90	0	1.73	0.130	0.680	0.503	0.190	
			10	1.67	0.120	0.640	0.505	0.185
			20	1.62	0.120	0.563	0.500	0.185
		0	1.55	0.118	0.564	0.523	0.192	
		30	1.54	0.118	0.614	0.524	0.188	
		60	1.61	0.120	0.613	0.491	0.189	
		90	1.67	0.123	0.628	0.503	0.187	
			0	1.61	0.120	0.616	0.514	0.193
			10	1.59	0.118	0.611	0.513	0.189
			20	1.58	0.121	0.588	0.503	0.185

Tableau 12 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N		P		K	Ca	Mg		
	(kg ha ⁻¹)		N					P	
St-Thomas-Dydime	11	0	0	1.37	0.113	0.603	0.590	0.253	
			10	1.42	0.123	0.630	0.515	0.238	
			20	1.41	0.123	0.610	0.570	0.263	
	30	0	0	1.48	0.125	0.640	0.513	0.215	
			10	1.45	0.115	0.638	0.530	0.238	
			20	1.48	0.120	0.613	0.510	0.225	
	60	0	0	1.53	0.125	0.620	0.468	0.203	
			10	1.48	0.115	0.648	0.473	0.205	
			20	1.44	0.118	0.653	0.488	0.210	
	90	0	0	1.49	0.123	0.710	0.568	0.203	
			10	1.60	0.128	0.655	0.495	0.223	
			20	1.56	0.130	0.630	0.503	0.213	
	0			0	1.40	0.119	0.614	0.558	0.251
				30	1.47	0.120	0.630	0.518	0.226
				60	1.49	0.119	0.640	0.476	0.206
	90			0	1.55	0.127	0.665	0.522	0.213
				0	1.47	0.121	0.643	0.534	0.218
				10	1.49	0.120	0.643	0.503	0.226
				0	1.47	0.121	0.643	0.534	0.218
				10	1.49	0.120	0.643	0.503	0.226
				20	1.47	0.123	0.626	0.518	0.228

Tableau 13 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P		N	P	K	Ca	Mg
		(kg ha ⁻¹)						
Boréal	12	0	0	1.57	0.118	0.573	0.530	0.185
			10	1.56	0.120	0.590	0.603	0.193
	20		1.51	0.115	0.543	0.570	0.200	
	30	0	0	1.51	0.113	0.563	0.500	0.188
			10	1.61	0.123	0.570	0.615	0.208
			20	1.62	0.118	0.535	0.560	0.180
	60	0	0	1.51	0.110	0.540	0.530	0.190
			10	1.61	0.125	0.600	0.560	0.193
			20	1.56	0.120	0.563	0.545	0.173
	90	0	0	1.61	0.113	0.628	0.515	0.180
			10	1.54	0.113	0.595	0.485	0.173
			20	1.57	0.115	0.588	0.530	0.175
	0	0	0	1.55	0.118	0.568	0.568	0.193
			10	1.58	0.118	0.556	0.558	0.192
			20	1.56	0.118	0.568	0.545	0.185
			30	1.56	0.118	0.568	0.545	0.185
			45	1.57	0.113	0.603	0.510	0.176
			60	1.57	0.113	0.603	0.510	0.176
			75	1.55	0.113	0.576	0.519	0.186
			90	1.58	0.120	0.589	0.566	0.191
			105	1.56	0.117	0.557	0.551	0.182
			120	1.56	0.117	0.557	0.551	0.182
			135	1.56	0.117	0.557	0.551	0.182
			150	1.56	0.117	0.557	0.551	0.182

Tableau 14 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P		N	P	K	Ca	Mg	
		(kg ha ⁻¹)							(%)
CAFN	13	0	0	1.75	0.130	0.575	0.523	0.198	
			10	1.63	0.123	0.565	0.605	0.198	
			20	1.70	0.138	0.558	0.560	0.188	
		30	0	1.87	0.143	0.645	0.525	0.175	
			10	1.71	0.130	0.610	0.558	0.175	
			20	1.84	0.143	0.613	0.500	0.170	
		60	0	1.83	0.128	0.613	0.498	0.175	
			10	1.83	0.133	0.590	0.505	0.168	
			20	1.88	0.150	0.613	0.528	0.163	
		90	0	1.93	0.135	0.605	0.470	0.168	
			10	1.96	0.138	0.640	0.478	0.165	
			20	1.85	0.140	0.605	0.523	0.173	
		0	0	0	1.69	0.130	0.566	0.563	0.194
				30	1.80	0.138	0.623	0.528	0.173
				60	1.85	0.137	0.605	0.510	0.168
				90	1.92	0.138	0.617	0.490	0.168
				0	1.84	0.134	0.609	0.504	0.179
				10	1.78	0.131	0.601	0.536	0.176
				20	1.82	0.143	0.597	0.528	0.173

Tableau 15 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P		N	P	K	Ca	Mg	
		(kg ha ⁻¹)							(%)
CAFN	14	0	0	1.66	0.120	0.617	0.470	0.197	
			10	1.67	0.125	0.570	0.503	0.205	
			20	1.66	0.128	0.603	0.475	0.203	
		30	0	1.71	0.123	0.593	0.450	0.190	
			10	1.74	0.128	0.595	0.453	0.195	
			20	1.79	0.135	0.638	0.425	0.190	
		60	0	1.75	0.128	0.610	0.450	0.193	
			10	1.84	0.135	0.625	0.420	0.178	
			20	1.80	0.133	0.605	0.448	0.188	
		90	0	1.80	0.125	0.635	0.418	0.173	
			10	1.91	0.138	0.596	0.482	0.190	
			20	1.85	0.135	0.575	0.480	0.183	
		0	0	0	1.66	0.124	0.596	0.483	0.201
				30	1.75	0.128	0.608	0.443	0.192
				60	1.79	0.132	0.613	0.439	0.186
				90	1.85	0.133	0.602	0.460	0.182
				0	1.73	0.124	0.614	0.447	0.188
				10	1.79	0.131	0.597	0.464	0.192
				20	1.78	0.133	0.605	0.457	0.191

Tableau 16 Effet de la fertilisation azotée et phosphatée sur les concentrations en éléments nutritifs des feuilles

Site	N	P		N	P	K	Ca	Mg	
		(kg ha ⁻¹)							(%)
CAFN	15	0	0	1.55	0.120	0.603	0.545	0.205	
			10	1.60	0.123	0.580	0.508	0.218	
			20	1.57	0.123	0.603	0.575	0.215	
		30	0	1.65	0.123	0.588	0.540	0.213	
			10	1.60	0.128	0.628	0.543	0.200	
			20	1.56	0.123	0.633	0.543	0.203	
		60	0	1.70	0.130	0.635	0.510	0.203	
			10	1.72	0.133	0.613	0.503	0.205	
			20	1.69	0.123	0.580	0.573	0.203	
		90	0	1.70	0.120	0.610	0.490	0.183	
			10	1.68	0.125	0.615	0.488	0.188	
			20	1.82	0.133	0.645	0.528	0.180	
		0	15	0	1.57	0.122	0.595	0.543	0.213
					1.60	0.124	0.616	0.542	0.205
					1.70	0.128	0.609	0.528	0.203
					1.74	0.126	0.623	0.502	0.183
					1.65	0.123	0.609	0.521	0.201
					1.65	0.127	0.609	0.510	0.203
					1.66	0.125	0.615	0.554	0.200

Tableau 17 Équations de régression entre la concentration en N des feuilles et les doses de N

Site		Équation
Boréal	12	$y = 0.0002x + 1.5538$
Albanel	4	$y = 0.0012x + 1.4664$
Albanel	5	$y = 0.0013x + 1.4005$
St-Thomas	9	$y = 0.0013x + 1.4385$
St-Thomas	10	$y = 0.0014x + 1.5303$
Albanel	6	$y = 0.0014x + 1.4329$
St-Thomas	11	$y = 0.0015x + 1.4077$
Normandin	1	$y = 0.0015x + 1.5153$
Normandin	2	$y = 0.0015x + 1.5118$
St-Méthode	7	$y = 0.0016x + 1.4177$
Normandin	3	$y = 0.0016x + 1.5894$
St-Méthode	8	$y = 0.0021x + 1.404$
CAFN	15	$y = 0.002x + 1.5631$
CAFN	14	$y = 0.0021x + 1.6712$
CAFN	13	$y = 0.0024x + 1.7079$