

Nutrition minérale des plants forestiers

Suivis de culture et analyses de laboratoire

Benoit-Marie Gingras, DGPS

15 avril 2009



Plan de la présentation

- Pourquoi réaliser des suivis de culture ?
- Choix des cultures pour les suivis
- Variables à mesurer et fréquence des récoltes
- Types d'échantillonnage
- Taille de l'échantillon
- Analyses de laboratoire et kits d'évaluation par colorimétrie
- Utilisation des données des suivis de culture
- Est-ce rentable d'effectuer des suivis de culture ?
- Conclusion et période de questions



Pourquoi réaliser des suivis de culture ?

Le suivi de culture est un outil indispensable pour le producteur de plants forestiers. Il permet :

- De connaître en tout temps la valeur des variables morphologiques et physiologiques
- D'intervenir rapidement et d'apporter les correctifs requis
- De bâtir des courbes de références fiables pour chaque variable
- De détecter des insectes, des maladies ou d'autres problématiques



Date récolte	# Échantillon	Hauteur (cm)	Diamètre (mm)
2008/10/09	1	24,0	3,00
2008/10/09	2	20,0	2,80
2008/10/09	3	23,0	3,70
2008/10/09	4	26,0	3,10
2008/10/09	5	26,0	3,60
2008/10/09	6	15,0	2,60
2008/10/09	7	22,0	3,30
2008/10/09	8	25,0	3,50
2008/10/09	9	28,0	3,50
2008/10/09	10	27,0	3,50
2008/10/09	11	21,0	3,20
2008/10/09	12	27,0	3,60
2008/10/09	13	25,0	3,80
2008/10/09	14	23,0	3,90
2008/10/09	15	27,0	3,30
2008/10/09	16	25,0	3,50
2008/10/09	17	23,0	3,00
2008/10/09	18	23,0	3,40
2008/10/09	19	24,0	3,90
2008/10/09	20	29,0	4,70

Choix des cultures pour les suivis

- Critères de sélection :
- Historique de la pépinière (cultures réussies et problématiques)
- Les nouvelles cultures
- Type plant - essence et source → (1 / x cultures)
- Contraintes budgétaires

Calendrier de suivis et de récoltes

Matricule	Div. terr.	Type plant	Ess.	Source / clone	Âge	Récipient
XY11EPB06-F99-D	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-AUB-2-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G01-D	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-AUB-3-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G02-D	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G03-D	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G33-F	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G04-D	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-DRO-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-G34-E	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-DRO-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY11EPB06-F98-F	B640L	45-110	EPB	EPB-V1-FAL-1-0	2,0+0,0L	45-110
XY35EPB06-G11-I	B325L	REC-PFD	EPB	EPB-C2-CTO-3-2	2,0+0,0L	15-320
XY35EPB07-B30-E	B320L	REC-PFD	EPB	EPB-C2-CTO-3-6	2,0+0,0	15-320
XY35EPB07-D71-A	B640L	REC-PFD	EPB	EPB-N0-046-1-0	2,0+0,0	15-320
XY35EPB07-D70-E	B320L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0	25-310
XY35EPB06-H59-F	B325L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	25-310
XY35EPB06-H59-G	B150L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	25-310
XY35EPB06-H59-H	B150E	REC-PFD	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	25-310
XY35EPB06-G06-D	B150L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-BAB-1-0	2,0+0,0L	25-310
XY35EPB07-D72-A	B640L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-FON-1-0	2,0+0,0	15-320
XY35EPB07-D72-B	B320L	REC-PFD	EPB	EPB-V1-FON-1-0	2,0+0,0	25-310

Variables à mesurer et fréquence des récoltes

- 1+0

Récolte	Semaine	Type de récolte				Plants à récolter	
		Substrats	H & D	Masses	Tissus	Substrats	H&D, Ma et Ti
-	05-04	Mise des plants sous tunnels					
-	06-01	Première fertilisation					
1	06-16	X				24	72
2	06-30	X	O	O	O	24	72
3	07-14	X	O			24	72
4	07-28	X	X	X	X	24	72
5	08-11	X	O			24	72
6	08-25	X	X	X	X	24	72
7	09-08	X	O			24	72
8	09-22	X	X	X	X	24	72
9	10-06	X	O			24	72
10	10-20	O	X	X	X	24	72

- Réaliser des suivis complets pour bâtir des courbes de référence

Variables à mesurer et fréquence des récoltes

- 2+0

Récolte	Semaine	Type de récolte				Plants à récolter	
		Substrats	H & D	Masses	Tissus	Substrats	H&D, Ma et Ti
-	05-01	Première fertilisation					
1	04-24	X	X	X	X	24	72
2	05-08	X	O			24	72
3	05-22	X	X	X	X	24	72
4	06-05	O	O			24	72
5	06-19	X	X	X	X	24	72
6	07-03	O	O			24	72
7	07-17	X	X	X	X	24	72
8	07-31	O	O			24	72
9	08-14	X	X	X	X	24	72
10	08-28	O	O			24	72
11	09-11	X	X	X	X	24	72
12	09-25	O	O			24	72
13	10-09	X	X	X	X	24	72
14	10-23	X	X	X	X	24	72

- Réaliser des suivis complets pour bâtir des courbes de référence

Type d'échantillonnage

- L'échantillon doit être représentatif de la population. Il doit refléter fidèlement sa composition et sa complexité.
- Chaque plant doit avoir la même probabilité de faire partie de l'échantillon et il ne doit pas être choisi.



- **Échantillonnage aléatoire simple**
Chaque membre d'une population a une chance égale d'être inclus à l'intérieur de l'échantillon
Les échantillons ne sont pas nécessairement répartis sur toute la surface de culture
- **Échantillonnage systématique**
L'*échantillonnage systématique* signifie qu'il existe un écart, ou un intervalle, entre chaque unité sélectionnée qui est incluse dans l'échantillon
Les échantillons sont répartis uniformément sur toute la surface de culture
- **Échantillonnage par grappes**
L'échantillonnage par grappes est une méthode qui consiste à choisir un échantillon aléatoire d'unités qui sont elles-mêmes des sous-ensembles de la population (grappes)
Cette méthode suppose que les unités de chaque grappe sont représentatives. Elle possède l'avantage d'être souvent plus économique

Type d'échantillonnage

- Échantillonnage aléatoire simple (ex.: 25-310)
 - Population de 13 125 plants (525 récipients)
 - 48 plants échantillons
 - Sélection aléatoire de 48 récipients (un plant par récipient déterminé au hasard)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345
346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435
436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465
466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525

Type d'échantillonnage

- Échantillonnage systématique
(ex.: 25-310)
 - Population de 13 125 plants (525 réipients)
 - 48 plants échantillons (un plant par réipient déterminé au hasard)
 - Calcul de $p = N / n = 525 / 48 = 11$
 - Calcul de $i =$ nombre aléatoire de 1 à 11 = 4
 - Récolte d'un plant dans les réipients $i, i + p, i + 2p, i + 3p, \dots = 4, 15, 26, 37, \dots$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345
346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435
436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465
466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525

Type d'échantillonnage

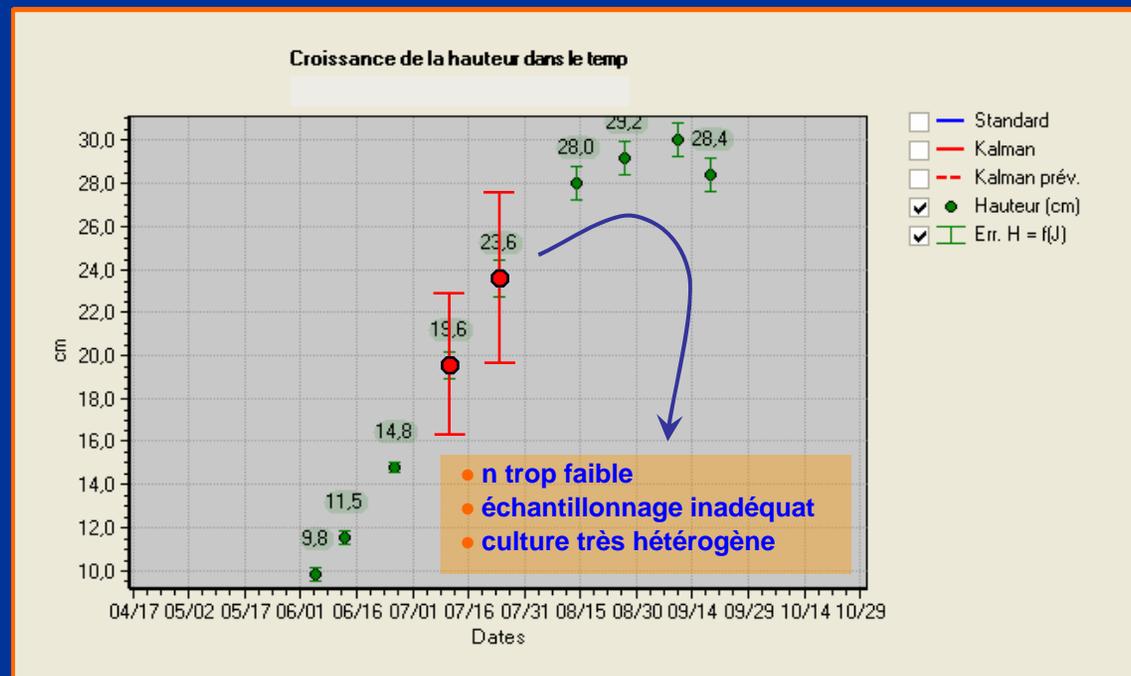
- Échantillonnage par grappes (ex.: 25-310)
 - Population de 13 125 plants (525 récipients)
 - Sélection aléatoire de 8 points d'échantillonnage (grappes). Il est également possible de répartir les grappes en fonction de position des buses du pulvérisateur et de la position des gicleurs afin d'assurer la meilleure uniformité d'échantillonnage possible.
 - Sélection aléatoire de 6 récipients (un plant par récipient déterminé au hasard) par grappes

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135
136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195
196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315
316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345
346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405
406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435
436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465
466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495
496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525

Taille de l'échantillon

La taille de l'échantillon est déterminée par la précision que l'on désire obtenir. Elle repose sur deux notions fondamentales :

- Dispersion des données (variation autour de la moyenne)
- Distribution des données (distribution normale)



Taille de l'échantillon

- **Moyenne (mean)**

La moyenne arithmétique est une mesure de tendance centrale qui marque le point d'équilibre, le centre de gravité, d'une série. C'est la mesure la plus connue et la plus couramment utilisée

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad 37,0 \text{ cm} \quad n = 72 \text{ (hauteur)}$$

- **Variance (variance)**

La variance est une mesure servant à caractériser la dispersion d'une distribution ou d'un échantillon

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad 41,0 \text{ cm}^2$$

- **Écart type (standard deviation)**

L'écart type mesure la dispersion d'une série de valeurs autour de leur moyenne
 $\pm s_x = 68 \%$ des observations et $\pm 2s_x = 95 \%$ des observations

$$s_x = \sqrt{s_x^2} \quad 6,4 \text{ cm}$$

Taille de l'échantillon

- **Coefficient de variation** (coefficient of variation)

Le coefficient de variation est une mesure de la dispersion relative : il se calcule comme le rapport entre l'écart type et la moyenne

$$\text{C.V. (\%)} = \frac{100 s_x}{\bar{x}} \quad 17,3 \%$$

- **Erreur type** (standard error)

L'erreur type est une estimation de l'écart type de la distribution d'échantillonnage de la moyenne

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad 0,8 \text{ cm}$$

- **Intervalle de confiance** (confidence interval)

On parle d'intervalle de confiance lorsque l'on donne un intervalle qui contient, avec un certain degré de confiance (ex. : 95%), la valeur à estimer

$$[\bar{x} - 1,96 s_{\bar{x}} ; \bar{x} + 1,96 s_{\bar{x}}] \quad [35,5 \text{ cm} ; 38,5 \text{ cm}]$$

Taille de l'échantillon

- Un inventaire doit au moins comprendre 30 plants
- Calcul du nombre de plants requis pour une précision donnée
À un niveau de confiance de 95%

$$n = \frac{1,96^2 S_x^2}{d^2}$$

1,0 cm → n = 158 plants

1,5 cm → n = 70 plants

2,0 cm → n = 39 plants

- Voir fichier *Excel* en annexe

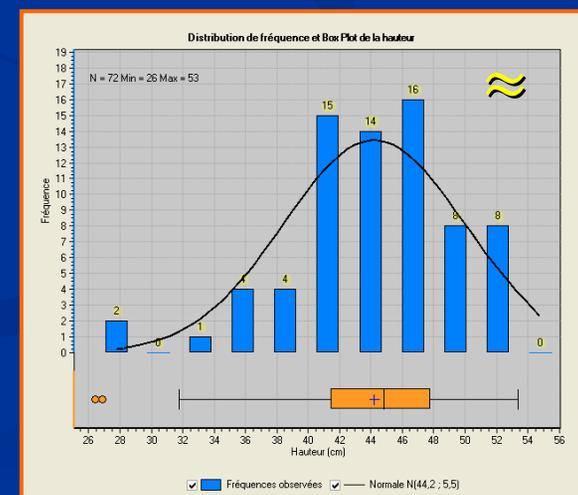
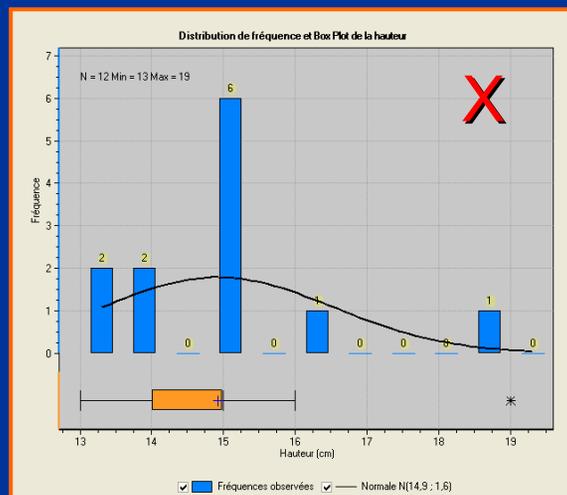
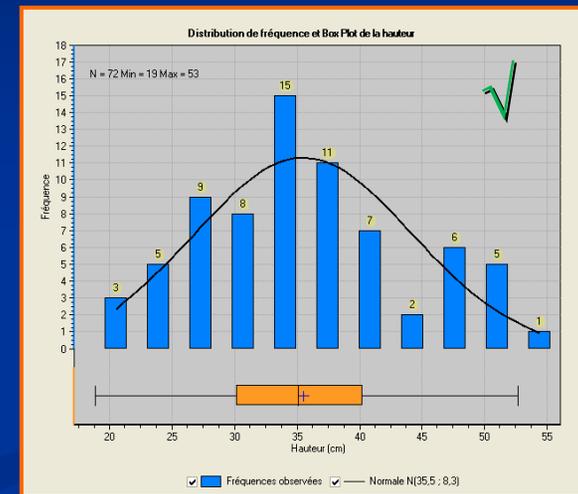
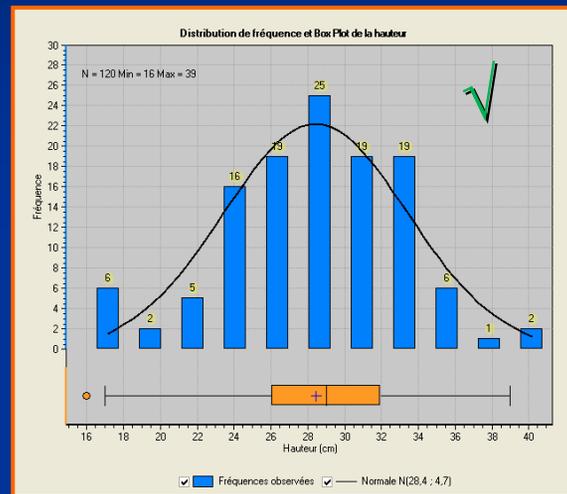
Taille de l'échantillon

Exemples de distribution :

✓ Adéquate

X Inadéquate

≈ Passable



Analyses laboratoire

- Laboratoire de chimie organique et inorganique de la DRF

TARIFICATION 2008-2009 COÛT/ÉCHANTILLON

(Valide du 1^{er} avril 2008 au 31 mars 2009)

A. TABLEAU DES GROUPES DE PARAMÈTRES : NOTEZ QUE LES COÛTS DE PRÉPARATION NE SONT PAS INCLUS.

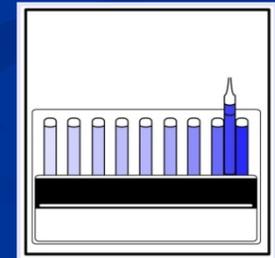
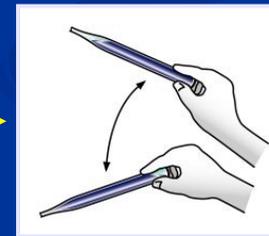
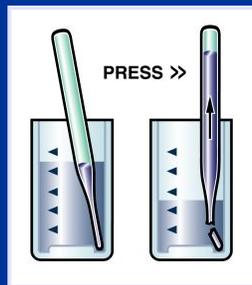
Suivi de croissance	Fertilité d'un sol	Caractérisation d'un sol
12,50 \$ Tissus : Azote (kjeldahl)	49,50 \$	105,50 \$
25,50 \$ Tissus : Azote (kjeldahl), [P K Ca Mg] (H ₂ SO ₄)	Azote minéral (KCl), Carbone total, pH (CaCl ₂), [P K Ca Mg] (Mehlich-3)	Azote minéral (KCl), carbone total, pH (CaCl ₂), [P K Ca Mg] (Mehlich-3), azote (kjeldahl), conductivité, granulométrie (2 hres) et classes texturales, C.E.C. et S.B. (Mehlich-3)
26,50 \$ Sols : Azote minéral (KCl), [P K Ca Mg] (Mehlich-3)		
21,50 \$ Filtrats : Azote minéral, [P K Ca Mg]		

- Autres laboratoires (s'assurer que les mêmes méthodes d'analyse sont utilisées)
- Kits d'évaluation par colorimétrie

Kits d'évaluation par colorimétrie

Extraction par compression

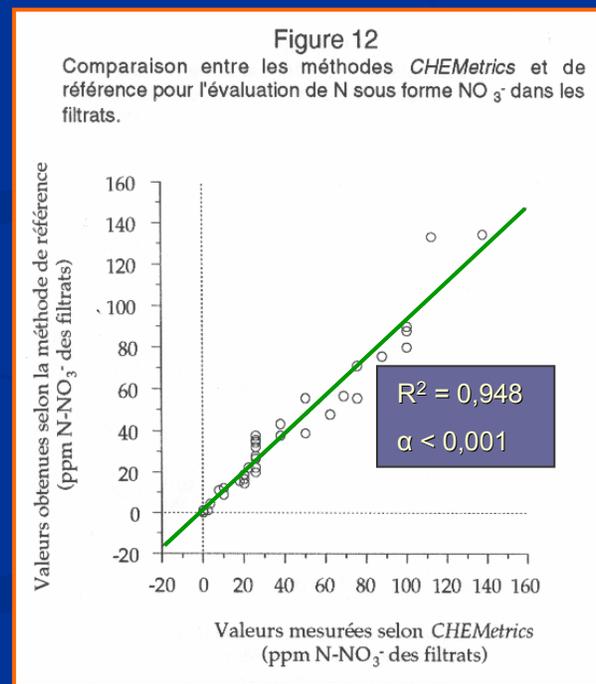
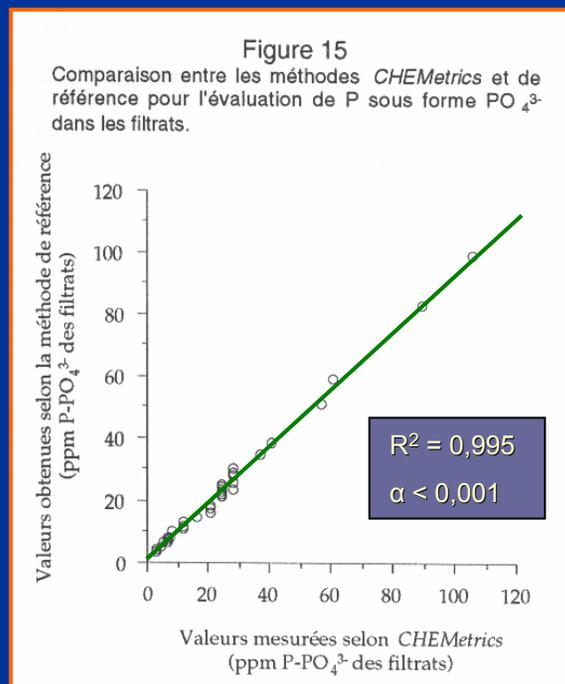
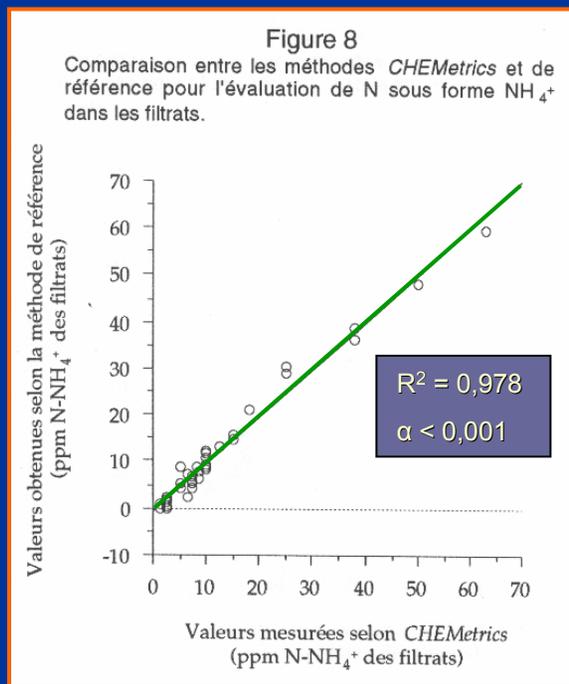
Dosage par colorimétrie



Présentation Guy Potvin
4e atelier (15-16 mars 2006)

Kits d'évaluation par colorimétrie

Exemples de corrélation entre les résultats des méthodes par colorimétrie et celles de référence du laboratoire de la Direction de la recherche forestière :



Kits d'évaluation par colorimétrie

- Coûts (2001) des analyses à la pépinière de Sainte-Luce

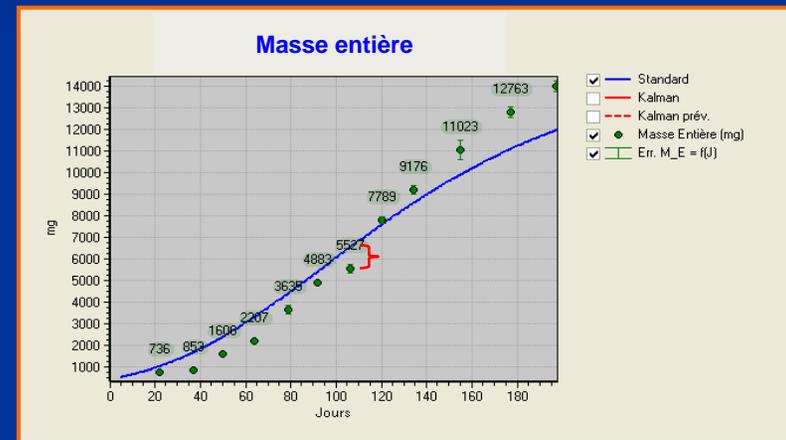
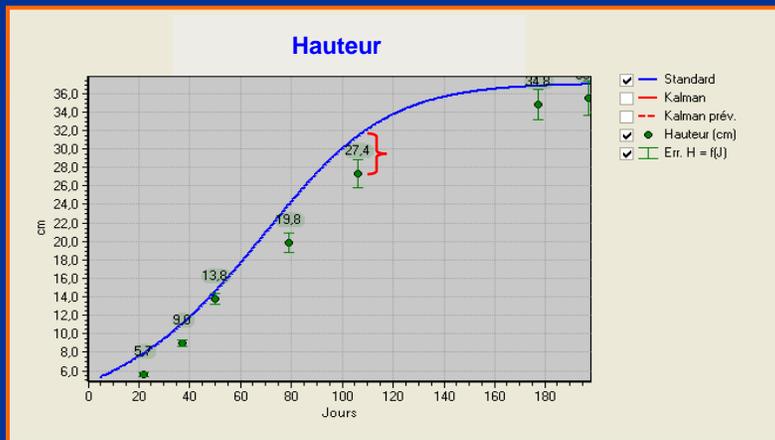
Type	Paramètres	Temps d'analyse	Coût pour un échantillon (1)
Substrat	NH_4^+ et NO_3^-	9,6 min	4,55 \$ \approx (5,25 \$)

(1) Le temps de préparation d'un échantillon n'est pas inclus.

Pour 10 échantillons, le temps d'analyse est d'environ 47 minutes

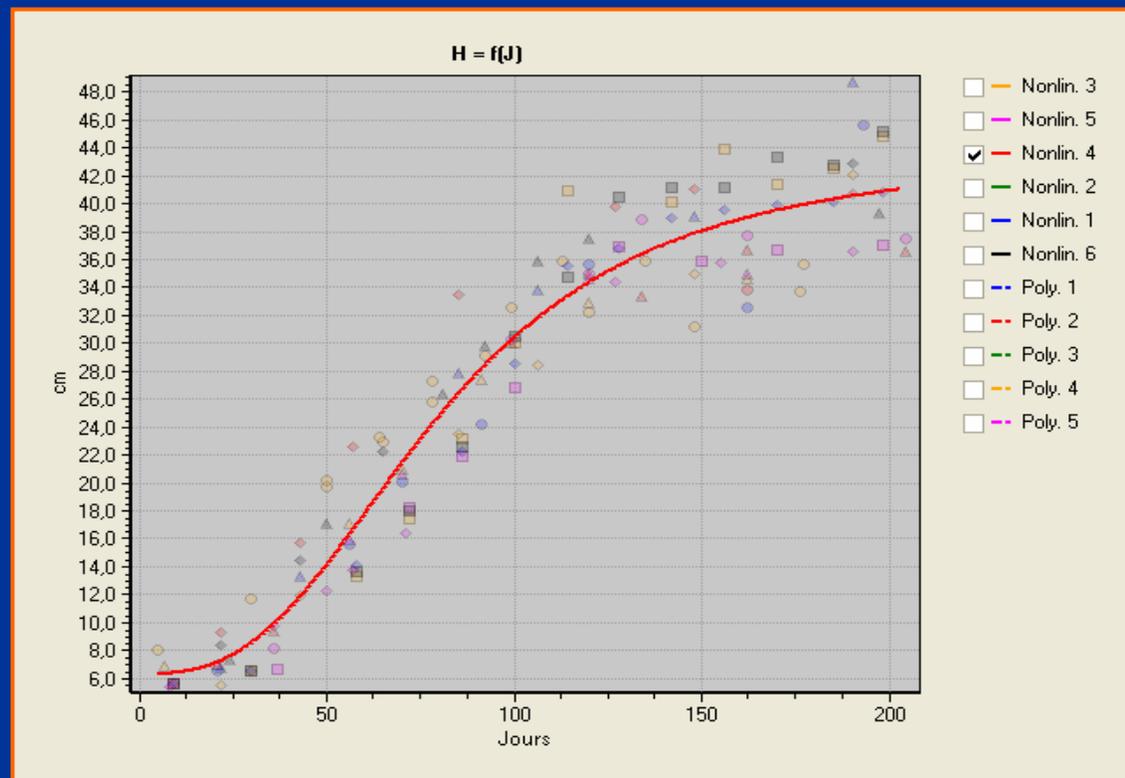
Utilisation des données des suivis de culture

Le pépiniériste base ses décisions (fertilisations) sur l'analyse des écarts entre les données des suivis de culture et les courbes de référence



Utilisation des données des suivis de culture

- Importance d'un bon standard de croissance (ex. : hauteur)



Est-ce rentable d'effectuer des suivis de culture ?

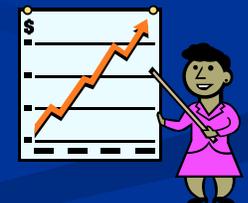
Type de plant	Prix unitaire moyen / k plants
PFD	405 \$
200	230 \$
110	145 \$
50	115 \$

Prenons une culture de PFD de 350 000 plants

- $\Sigma = 141\,750 \$$

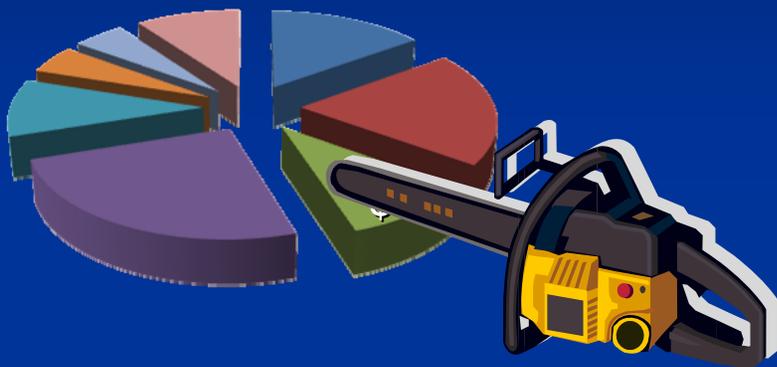
- Si le contrat est livré à

90 %	127 575 \$	Pertes de :
80 %	113 400 \$	14 175 \$
70 %	99 225 \$	28 350 \$
60 %	85 050 \$	42 525 \$



Investir une partie de ces sommes « perdues » dans les suivis de culture peut être très rentable

Conclusion



La proportion d'argent allouée aux suivis de culture semble avoir tendance à diminuer...



Le suivi de culture et les analyses de laboratoire sont des outils essentiels et constituent un investissement rentable pour le pépiniériste

