

<b>Titre :</b>	<b>Détermination des écarts maximaux acceptables entre les quatre répétitions d'un test de germination, lorsque la taille de l'échantillon est inférieure à 100 graines</b>
<b>Responsables :</b>	Fabienne Colas et Josianne DeBlois
<b>Date :</b>	2014

### 1- Contexte

Le Centre de semences forestières de Berthier (CSFB), unique centre de semences forestières du Québec, entrepose tous les lots de graines destinés à la production de plants pour le reboisement.

Le pourcentage de germination des lots de graines est déterminé au moment de leur entrée dans la banque du CSFB. Il est évalué de nouveau, périodiquement au cours de la conservation, selon une grille de fréquence spécifique à chaque essence.

Le CSFB utilise les normes de l'Association internationale pour les essais de semences (ISTA 2009) pour certifier la qualité des tests qu'il effectue. Pour le test de germination, la norme stipule que le résultat doit être la moyenne de la germination de 4 répétitions de 100 graines. Pour que le test soit valide, il faut déterminer l'écart le plus important, ou maximal, acceptable entre les répétitions, c'est-à-dire la différence entre les valeurs limites (supérieure et inférieure) du pourcentage de germination. Cet écart maximal toléré entre les répétitions varie selon le pourcentage de germination moyen calculé (voir tableau 1, tiré de ISTA [2009]).

Si l'écart entre les répétitions est inférieur à l'écart maximal accepté, le pourcentage de germination est validé. Si l'écart est supérieur à l'écart maximal accepté, le test doit être repris et le pourcentage de germination sera alors calculé comme la moyenne des 8 répétitions.

La plupart des tests de germination effectués au CSFB le sont avec 4 répétitions de 100 graines. Or, pour les lots dont les graines sont plus rares et chères, comme ceux de croisements dirigés ou de mélèze hybride, et qui ne font pas l'objet d'un contrat de production de plants avec des pépiniéristes privés, il n'est pas justifiable d'utiliser 400 graines pour un test de germination. Le nombre de graines par répétition est alors inférieur à 100 (de 10 à 90), mais il y a toujours 4 répétitions. Or, la norme ISTA définit seulement des écarts maximaux acceptables entre les répétitions dans le cas de tests de germination

---

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence  
© Gouvernement du Québec

effectués avec 4 répétitions de 100 graines. Actuellement, le CSFB utilise la même table d'écart maximal pour tous les tests de germination, peu importe la taille de l'échantillon de graines. Il faut donc établir des tables de validation pour les différents cas pouvant se présenter au CSFB, afin de garantir la fiabilité des résultats des tests de germination.

**Tableau 1** : Écarts maximaux acceptés entre 4 répétitions de 100 graines dans un essai de germination selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage moyen de germination		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)
99	ou	2
98		3
97		4
96		5
95		6
93 à 94		7 à 8
91 à 92		9 à 10
89 à 90		11 à 12
87 à 88		13 à 14
84 à 86		15 à 17
81 à 83		18 à 20
78 à 80		21 à 23
73 à 77		24 à 28
67 à 72		29 à 34
56 à 66		35 à 45
51 à 55		46 à 50

## 2- Calculs statistiques utilisés pour le calcul des écarts maximaux acceptables entre les répétitions de la norme ISTA

Le tableau de tolérance recommandé par l'ISTA (Tableau 1) a été établi à partir des équations développées par Miles (1963). Celles-ci ont été utilisées pour calculer l'écart maximal acceptable, en tenant compte d'une variation due uniquement à l'échantillonnage aléatoire. La formule utilise, entre autres, l'écart-type de la distribution binomiale ( $\sigma$ ) qui est défini par l'équation (1) :

$$\sigma = \sqrt{\frac{PG_{moy} \times (100 - PG_{moy})}{n}} \quad (1)$$

où  $\sigma$  est l'écart-type de la distribution binomiale,

$PG_{moy}$  est la moyenne des pourcentages de germination des  $k$  répétitions de  $n$  graines chacune (%), et

$n$  est le nombre de graines par répétition.

À l'aide de l'écart-type  $\sigma$ , il est possible de calculer l'étendue significative  $S$ , c'est-à-dire la valeur limite à partir de laquelle on considère que l'écart maximal entre les répétitions est trop grand pour que le test de germination soit valide :

$$S = q_{1-\alpha/2}(k, \nu) \times \sigma \quad (2)$$

où  $q_{1-\alpha/2}(k, \nu)$  est la valeur critique de la distribution de l'étendue studentisée<sup>1</sup> au seuil  $\alpha$  pour  $k$  répétitions, en supposant un nombre infini de degrés de liberté  $\nu$  (test bilatéral), et  $\sigma$  est l'écart-type de la distribution binomiale.

Le tableau 2 présente les valeurs critiques de l'étendue studentisée pour 2 à 10 répétitions, en supposant un nombre infini de degrés de liberté et un test bilatéral avec un seuil de signification de 5 % (Pearson et Hartley 1954). Ces valeurs peuvent aussi être obtenues en utilisant la fonction *probsc* de SAS (2011).

**Tableau 2** : Valeurs critiques de l'étendue studentisée pour 2 à 10 répétitions, en supposant un nombre infini de degrés de liberté et un test bilatéral avec un seuil de signification de 5 % (Pearson et Hartley 1954).

Nombre de répétitions ( $k$ )	$q_{0,975}(k, \infty)$
2	3,17
3	3,68
4	3,98
5	4,20
6	4,36
7	4,49
8	4,60
9	4,70
10	4,78

Pour déterminer les écarts maximaux acceptables entre les répétitions, il est nécessaire de déterminer l'étendue tolérée,  $R$ . Celle-ci est plus petite que l'étendue significative,  $S$ . L'étendue tolérée devrait correspondre à la valeur de la vraie étendue significative, arrondie au nombre entier inférieur. Toutefois, les valeurs  $S$  calculées avec l'équation (2) ne sont pas tout à fait exactes, puisque les valeurs critiques de l'étendue studentisée sont déterminées sur la base d'une distribution normale. Or, dans le calcul de  $S$ , on retrouve  $\sigma$ , qui est l'écart-type d'une distribution binomiale. Pour être conservateur et tenir compte d'une possible erreur dans les valeurs de  $S$ , Miles (1963) a utilisé la règle arbitraire suivante : « L'étendue

<sup>1</sup> L'étendue studentisée se définit comme la différence entre la plus grande ( $X_{\max}$ ) et la plus petite valeur ( $X_{\min}$ ) d'un échantillon provenant d'une distribution normale. Cette différence est mesurée en unités d'écart-type de l'échantillon, c'est-à-dire  $(X_{\max} - X_{\min})/\sigma$ .

tolérée  $R$  correspond à la valeur de  $S$  arrondie au nombre entier supérieur lorsque la partie décimale de  $S$  est supérieure ou égale à 0,8, et à la valeur de  $S$  arrondie au nombre entier inférieur lorsque la partie décimale de  $S$  est inférieure à 0,8. ». Pour appliquer cette règle, la valeur 0,2 est ajoutée dans l'équation (3) ci-dessous.

De plus, puisque la règle de l'ISTA statue que le pourcentage de germination moyen reporté doit être arrondi au nombre entier le plus proche, les calculs des écarts maximaux sont faits en remplaçant  $PG$  par  $(PG - 0,5 \%)$ . Par exemple, pour un pourcentage de germination de 95 %, la tolérance est calculée avec une valeur  $PG$  de 94,5 %.

L'équation utilisée pour le calcul des écarts maximaux est donc :

$$R = q_{0,975}(k, \infty) \times \sqrt{\frac{(PG_{moy} - 0,5) \times (100 - (PG_{moy} - 0,5))}{n}} + 0,2 \quad (3)$$

où  $q_{0,975}(k, \infty)$  est le 97,5<sup>e</sup> quantile de la distribution de l'étendue studentisée pour  $k$  répétitions, en supposant un nombre infini de degrés de liberté (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %),

$PG_{moy}$  est la moyenne des pourcentages de germination des  $k$  répétitions de  $n$  graines chacune (%), et

$n$  est le nombre de graines par répétition.

La valeur de  $R$  obtenue par l'équation (3) est arrondie à la deuxième décimale, puis au nombre entier inférieur. La valeur résultante correspond à l'écart maximal acceptable.

Il faut souligner que l'ISTA met à la disposition des utilisateurs un fichier ([Germination-ISTARules5-82\[1\].xls](#)) qui permet de calculer les pourcentages de germination et de vérifier la validité de ceux-ci lorsque 4 répétitions de 100 graines sont utilisées. L'équation utilisée dans ce fichier pour les calculs est la même que l'équation (3).

### 3- Tableaux des écarts maximaux acceptables

Les tableaux 3 à 12 présentent les écarts maximaux acceptables entre les répétitions d'un test de germination, à un seuil de signification de 5 %, lorsqu'on considère 4 répétitions de 10 à 90 graines. À noter que dans ces tables, les écarts acceptables correspondent à des différences de pourcentage de germination entre les répétitions. Ainsi, avant de déterminer l'écart maximal entre les répétitions, il faut calculer, pour chaque répétition, le pourcentage de germination. Cette nuance est à souligner, car avec le

test ayant 4 répétitions de 100 graines, le nombre de graines germées correspond au pourcentage de germination. Or, avec un nombre de graines inférieur à 100 par répétition, ceci n'est plus vrai.

**Tableau 3** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 10 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)
99	ou	2
98		3
97		4
96		5
95		6
94		7
93		8
92		9
91		10
90		11
89		12
88		13
87		14
86		15
85		16
84		17
83		18
82		19
81		20
79-80		21-22
78		23
77		24
76		25
74-75		26-27
73		28
71-72		29-30
69-70		31-32
67-68		33-34
64-66		35-37
60-63		38-41
54-59		42-47
51-53		48-50

**Tableau 4** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 20 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen	Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)
99 ou 2	11
98 3	14
97 4	16
96 5	18
95 6	20
94 7	22
93 8	23
92 9	25
91 10	26
90 11	27
89 12	28
88 13	29
87 14	30
86 15	31
85 16	32
84 17	33
82-83 18-19	34
81 20	35
79-80 21-22	36
77-78 23-24	37
75-76 25-26	38
73-74 27-28	39
71-72 29-30	40
68-70 31-33	41
65-67 34-36	42
60-64 37-41	43
51-59 42-50	44

**Tableau 5** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 25 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	9
98		3	12
97		4	14
96		5	16
95		6	18
94		7	19
93		8	21
92		9	22
91		10	23
90		11	24
89		12	25
88		13	26
87		14	27
86		15	28
84-85		16-17	29
83		18	30
81-82		19-20	31
79-80		21-22	32
77-78		23-24	33
75-76		25-26	34
73-74		27-28	35
70-72		29-31	36
67-69		32-34	37
62-66		35-39	38
52-61		40-49	39
51		50	40

**Tableau 6** : Écart maximal accepté (%) entre 4 répétitions de 30 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	9
98		3	11
97		4	13
96		5	15
95		6	16
94		7	18
93		8	19
92		9	20
91		10	21
90		11	22
89		12	23
88		13	24
86-87		14-15	25
85		16	26
83-84		17-18	27
81-82		19-20	28
80		21	29
78-79		22-23	30
75-77		24-26	31
73-74		27-28	32
69-72		29-32	33
65-68		33-36	34
60-64		37-41	35
51-59		42-50	36

**Tableau 7** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 40 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	7
98		3	10
97		4	11
96		5	13
95		6	14
94		7	15
93		8	16
92		9	17
91		10	18
90		11	19
89		12	20
87-88		13-14	21
85-86		15-16	22
84		17	23
82-83		18-19	24
80-81		20-21	25
77-79		22-24	26
74-76		25-27	27
71-73		28-30	28
67-70		31-34	29
61-66		35-40	30
51-60		41-50	31

**Tableau 8** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 50 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	7
98		3	8
97		4	10
96		5	11
95		6	13
94		7	14
92-93		8-9	15
91		10	16
90		11	17
88-89		12-13	18
87		14	19
85-86		15-16	20
83-84		17-18	21
80-82		19-21	22
78-79		22-23	23
75-77		24-26	24
71-74		27-30	25
66-70		31-35	26
59-65		36-42	27
51-58		43-50	28

**Tableau 9** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 60 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	6
98		3	8
97		4	9
96		5	10
95		6	11
94		7	12
93		8	13
92		9	14
90-91		10-11	15
89		12	16
87-88		13-14	17
85-86		15-16	18
83-84		17-18	19
80-82		19-21	20
77-79		22-24	21
74-76		25-27	22
70-73		28-31	23
64-69		32-37	24
51-63		38-50	25

**Tableau 10** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 70 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	ou	2	5
98		3	7
97		4	8
96		5	10
94-95		6-7	11
93		8	12
92		9	13
90-91		10-11	14
88-89		12-13	15
86-87		14-15	16
84-85		16-17	17
82-83		18-19	18
79-81		20-22	19
75-78		23-26	20
71-74		27-30	21
65-70		31-36	22
51-64		37-50	23

**Tableau 11** : Écarts maximaux acceptés (%) entre 4 répétitions de 80 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen		Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99		2	5
98		3	7
97		4	8
96		5	9
95		6	10
93-94		7-8	11
92		9	12
90-91		10-11	13
88-89		12-13	14
86-87		14-15	15
84-85		16-17	16
81-83		18-20	17
78-80		21-23	18
74-77		24-27	19
69-73		28-32	20
61-68		33-40	21
51-60		41-50	22

**Tableau 12:** Écart maximum acceptable (%) entre 4 répétitions de 90 graines dans un test de germination, selon le pourcentage moyen de germination obtenu (test bilatéral avec un seuil de signification de 5 %).

Pourcentage de germination moyen	Écart maximal acceptable entre les répétitions (%)	
99	2	5
98	3	6
97	4	7
96	5	8
95	6	9
94	7	10
92-93	8-9	11
91	10	12
89-90	11-12	13
86-88	13-15	14
84-85	16-17	15
81-83	18-20	16
77-80	21-24	17
73-76	25-28	18
68-72	29-33	19
58-67	34-43	20
51-57	44-50	21

#### 4- Conclusion

La norme de l'ISTA pour la réalisation des tests de germination requiert d'utiliser 4 répétitions de 100 graines. Si, pour des raisons comme la rareté et le prix des graines, le nombre de graines par répétition est inférieur à 100, il faut considérer que la précision du résultat sera plus faible, puisque les écarts maximaux tolérés entre les répétitions augmentent significativement lorsque le nombre de graines par répétition diminue. Par exemple, si le pourcentage de germination moyen obtenu pour un test de germination est de 98 %, l'écart maximal toléré sera de 6 % avec des répétitions de 100 graines, mais augmentera à 19 % avec des répétitions de 10 graines.

#### 5- Recommandation

Actuellement, le Système SEMENCES contient seulement la table d'écart maximal pour les tests de germination effectués avec 4 répétitions de 100 graines. Les tables d'écart maximal pour des tests de germination effectués avec 4 répétitions de moins de 100 graines (de 10 à 90) devraient être intégrées au Système SEMENCES, afin d'assurer la validité des résultats de tous les tests de germination réalisés au CSFB.

## 6- Références

ISTA, 2009. *Règles internationales pour les essais de semences 2009*. Édité par l'Association internationale d'essais de semences. Bassersdorf (Suisse).

Miles, S.R., 1963. *Handbook of tolerances and measures of precision for seed testing*, Proceedings of the International Seed Testing Association 28(3): 525-686.

Pearson, E.S. and H.O. Hartley, 1954. *Biometrika Tables for Statisticians, Vol. I*. The University Press, Cambridge (Royaume-Uni). 238 p.

SAS Institute Inc., 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Fabienne Colas, biol., DESS

Équipe production de semences et plants  
Service génétique, reproduction et écologie

Josianne DeBlois, M. Sc. , stat. ASSQ

Équipe de biométrie  
Service du soutien scientifique