



Quelques facteurs méconnus influencent le temps de chute et la germination sur pied du blé

S. GASSER¹, P. STAMP² et D. FOSSATI, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CP 1012, 1260 Nyon

@ E-mail: dario.fossati@acw.admin.ch
Tél. (+41) 22 36 34 729.

Résumé

Le temps frais et humide de l'été 2007 a favorisé la germination sur pied des céréales et a conduit à une perte de la récolte de blé panifiable de 21%. Le taux de germination d'un lot de céréales est mesuré indirectement par la méthode du «temps de chute». Une transformation trop importante de l'amidon en sucres solubles, provoquée par une forte activité α -amylasique, est le problème principal du blé germé. Pour le sélectionneur de céréales, la résistance à la germination sur pied est un objectif difficile à améliorer, par manque de méthodes d'évaluation applicables à un nombre élevé de lignées.

Sur la base de sources de la littérature et d'observations selon lesquelles la grêle peut provoquer des temps de chute bas, l'étude présentée ici se propose de vérifier l'influence de perturbations de la relation puits-source des hydrates de carbone sur le temps de chute et d'estimer l'utilité de cette mesure pour la sélection.

Différents essais au champ ont été effectués sur blé et triticale, avec trois traitements visant à perturber la relation puits-source. Les résultats obtenus montrent que les différents traitements ont des effets significatifs sur le poids de mille grains et le temps de chute. Ces effets sont fortement dépendants de l'environnement et de la variété. Toutefois, les fortes interactions observées entre environnement et variétés rendent l'utilisation de ces traitements inopérante pour déterminer la sensibilité des lignées en sélection à la germination sur pied.

Introduction

La germination sur pied est principalement provoquée par des conditions climatiques fraîches et pluvieuses avant la récolte, comme par exemple en été 2007. Au début du processus de germination, les enzymes formées, en particulier l' α -amylase, dégradent l'amidon mais aussi des protéines. La farine issue de blé germé absorbe moins d'eau, la pâte formée devient collante, rendant le pétrissage mécanique difficile. Les pains obtenus ont un volume réduit. Ils peuvent s'affaisser lors de la cuisson et présentent une croûte plus rouge, plus foncée. La fabrication de bière ou de pâtes alimentaires à partir de céréales germées est également perturbée. La germination sur pied est fréquente dans toutes les régions céréalières caractérisées par des pluies estivales importantes ou un climat maritime (Derera, 1989).

¹Greithstrasse 31, 8640 Rapperswil.

²EPF-Zentrum, case postale, 8092 Zurich.



Fig. 1. Pliage des tiges trois semaines après épiaison.

En Suisse, la germination sur pied a provoqué le déclassement annuel de 44 000 t de blé panifiable entre 2001 et 2007, ce qui représente environ 8,5% de la production de blé (source swissgranum).

La méthode internationale standard d'évaluation de la germination sur pied est appelée le «temps de chute» (TC). Dans un échantillon, plus l'activité α -amylasique est forte, plus l'amidon sera rapidement dégradé. La quantité d'amidon gélatinisé lors de l'échauffement du mélange de farine et d'eau est alors réduite et offre moins de résistance à la chute d'un piston à travers le mélange. Le TC mesure ainsi de manière indirecte l'activité α -amylasique de la farine (Perten Instruments, 1993; Barnes et Blakeney, 1974). En Suisse, pour être reconnu comme panifiable, un lot de blé doit avoir un TC d'au moins 220 secondes et de 160 secondes pour le seigle (swissgranum). Pour le triticale, cette méthode n'est que partiellement utilisable. En effet, même en l'absence de germination, le triticale montre souvent une forte activité α -amylasique et, en général, les TC mesurés sont inférieurs à 200 secondes.

Une des causes est la présence d' α -amylases «de pré-récolte» (*pre-maturity α -amylase*), qui sont normalement détruites avant maturité complète. Ces α -amylases peuvent toutefois causer des problèmes si une variété de triticale (ou de blé) en produit trop ou si la récolte a lieu avant la maturité complète (Flintham et Gale, 1988).

Les programmes de sélection d'Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) cherchent depuis longtemps à améliorer la résistance du blé et du triticale à la germination sur pied. Toutefois, il n'existe pas encore de méthode complètement satisfaisante pour mesurer rapidement et à faible coût cette résistance sur un grand nombre de lignées. Un des problèmes principaux tient à l'influence des conditions climatiques conduisant à la germination sur pied. Comme ces conditions varient chaque année, la sélection doit utiliser des méthodes d'évaluation qui s'affranchissent de ces variations pour être reproductibles. Une des possibilités est d'utiliser des chambres humides, qui simulent les conditions propices à la germination du grain dans les épis récoltés, puis de comparer l'intensité de leur germination par rapport à celle d'épis qui n'ont pas été en chambre humide. Afin que les résultats soient comparables, il faut toutefois récolter les épis au même stade physiologique, ce qui exige l'utilisation d'un test quelque peu laborieux (test à l'éosine); ceci explique que cette méthode, utilisée autre-

fois lors des essais officiels, ait été abandonnée en Suisse au profit de la comparaison des TC obtenus dans les lieux les plus et les moins favorables.

Hypothèses

Le point de départ de cette étude a été l'observation d'une diminution du TC après la grêle ou après des traitements fongicides. Saurer *et al.* (1998) ont simulé la grêle en pliant le dernier entrenœud des tiges, trois semaines après l'épiaison. Ils ont pu ensuite mesurer une forte baisse des TC par rapport au contrôle non plié. La baisse constatée est d'autant plus forte que la variété est sensible. Cette méthode a alors été proposée pour évaluer la résistance des variétés à la germination sur pied. D'autre part, Dimmock et Gooding (2002) ont montré que les fongicides prolongeant la durée de vie des feuilles diminuent le TC du blé. On a supposé que la perturbation soudaine des rapports entre sources d'assimilats et puits est le phénomène explicatif commun entre les deux observations.

Les essais

Afin de tester cette hypothèse, et de vérifier si la réaction à des modifications du rapport entre sources et puits est utilisable pour décrire la résistance à la germination sur pied de variétés ou de lignées de sélection, un essai a été mis en place en trois lieux du canton de Vaud (Burtigny, Changins et Goumoens-la-Ville) au printemps 2007, comportant dix blés de printemps. Dans chaque lieu, trois traitements et un contrôle ont été répétés deux fois.

L'essai de Changins a été irrigué avant la récolte pour renforcer la germination sur pied.

Les trois procédés ont consisté en une application tardive de strobilurine (stade BBCH 59-61) et, pour simuler l'effet de la grêle, à plier les tiges 5 cm sous la base de l'épi (fig.1) ou à égrainer le tiers supérieur de l'épi trois semaines après l'épiaison.

Pour vérifier si les observations réalisées sur les blés de printemps pouvaient s'étendre aux céréales d'automne, les mêmes procédés ont été appliqués sur un nombre restreint de variétés de blé d'automne et de triticale. La date de récolte a été déterminée suivant l'évolution du TC d'une variété standard (Greina resp. Runal). Dès que le TC de la variété était inférieur à 250 secondes, des bouquets d'épis ont été récoltés. Après la récolte et le battage des grains, le poids de mille grains (PMG) et le TC ont été mesurés et comparés.

L'été 2007

Les conditions météorologiques de l'été 2007 ont été extrêmement propices à la germination sur pied. Le TC minimal pour la prise en charge du blé panifiable a d'ailleurs été abaissé de 220 à 200 secondes par swissgranum, pour assurer l'approvisionnement du marché. Les TC mesurés dans les différents essais d'ACW étaient eux aussi parfois très bas, avec des différences liées aux conditions locales. Les céréales d'hiver ont en général été plus touchées que les céréales de printemps, ce qui peut s'expliquer par les conditions météorologiques précédant la récolte.

Influence des procédés

Dans le cadre de l'essai, la durée de vie des feuilles, le PMG et le TC ont été mesurés. La vie des feuilles a été prolongée de deux à sept jours par l'application de strobilurines (fig. 2). Les tiges pliées sont restées un peu plus longtemps vertes que le contrôle et les épis égrainés sont restés érigés après la pleine maturité.

La figure 3 montre les différences de PMG entre les différents traitements des blés de printemps. Les différences moyennes entre les traitements et le contrôle sont significatives ($p < 0,05$). Les grains des tiges pliées sont nettement plus petits que ceux du contrôle, comme l'ont déjà observé Saurer *et al.* (1995). Ces faibles PMG sont causés par un remplissage du grain plus lent et plus faible. Au contraire, l'application de strobilurines ou l'égrainage d'une partie de l'épi ont nettement augmenté le PMG grâce à une durée du remplissage du grain plus longue, provoquée par «l'effet vert» des strobilurines, respectivement par une répartition de la même quantité d'assimilats vers moins de grains (Ma *et al.*, 1990). Ces résultats confirment les observations de plusieurs auteurs (Dimmock et Gooding, 2002; Cartelle *et al.*, 2006). Dans les blés d'automne, les traitements ont eu les mêmes effets sur le PMG.

Les mesures du TC (tabl.1 et fig.4) montrent une grande dispersion causée en partie par le choix de dix blés de printemps ayant des résistances à la germination sur pied très différentes, et aussi par l'influence des trois lieux, ce qui s'exprime par le degré de signification ($p < 0,01$) des différences entre les moyennes des procédés.

Les strobilurines ont diminué globalement de manière significative ($p \leq 0,01$) le TC des blés de printemps. Par rapport aux TC moyens mesurés les trois années précédentes, les trois blés pré-

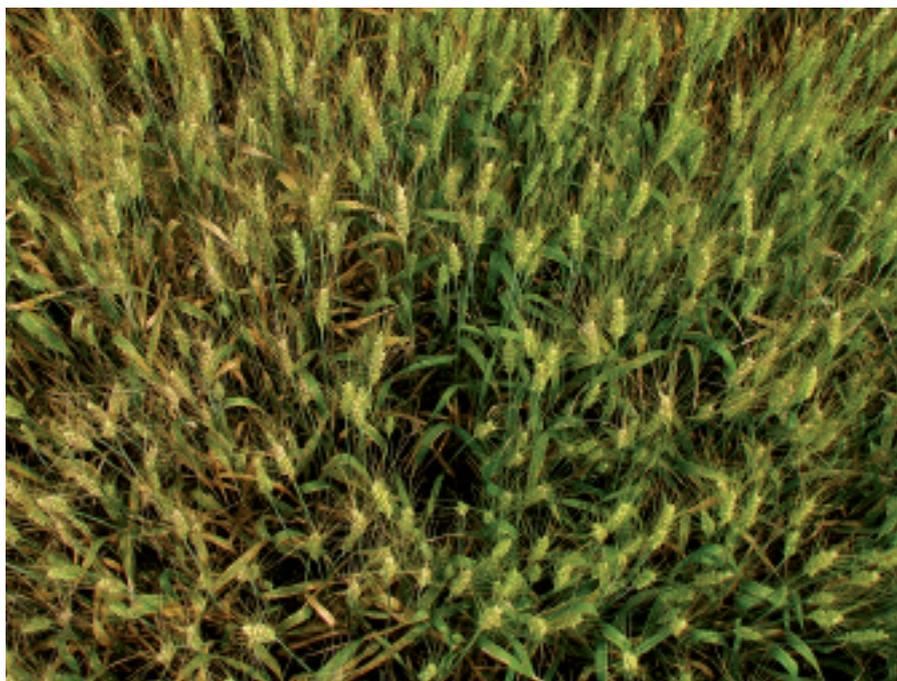


Fig 2. Effet «vert» des strobilurines: à droite traité; à gauche non traité.

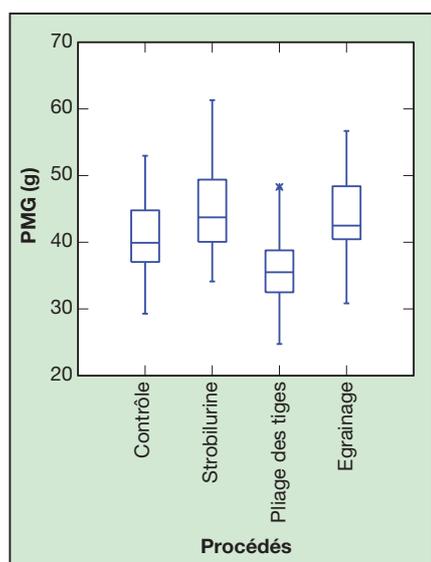


Fig. 3. Influence des procédés sur le poids de mille grains (PMG).

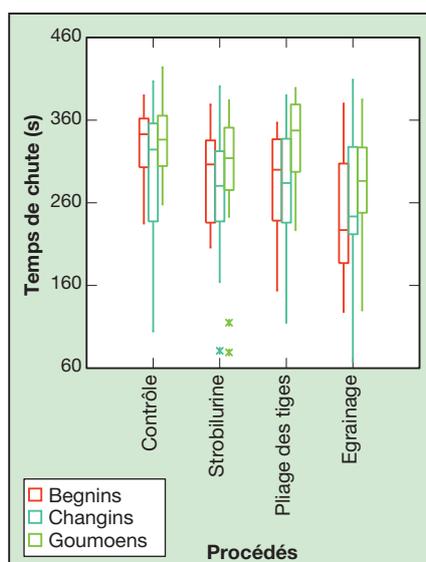


Fig. 4. Influence des procédés sur le temps de chute en trois lieux.

Tableau 1. Poids de mille grains moyen, temps de chute moyen et écart-type des différents procédés.

	Contrôle	Strobilurine	Pliage de tige	Egrainage
Poids de 1000 grains (g)	40,73 ± 3,41	44,78 ± 3,73	35,89 ± 3,35	43,58 ± 3,36
Temps de chute (s)	321 ± 58	289 ± 69	298 ± 61	265 ± 74

sentant les TC les plus élevés ont subi une faible diminution du TC, alors que celui qui avait les TC moyens les plus bas a été soumis à la plus forte diminution de TC. Par contre, les blés à comportement intermédiaire n'ont pas subi de diminution de TC proportionnelle aux TC mesurés les années précédentes.

Plusieurs auteurs, dont Dimmock et Gooding (2002), ont également observé que la baisse du TC provoquée par les strobilurines est fonction de la variété. Plusieurs explications de la réduction du TC par l'application de fongicides ont été proposées: selon Evers *et al.* (1995), les plus gros grains ont un con-

trôle perturbé de la production d' α -amylase. Pour Dimmock et Gooding (2002), les plus gros grains sèchent plus lentement et les α -amylases préformées se dégradent moins. Pour expliquer plus précisément pourquoi les strobilurines influencent le TC ou l'activité α -amylasique, d'autres méthodes d'analyses des composantes du grain sont probablement nécessaires.

En conclusion, on peut affirmer que les effets précédemment décrits des strobilurines ont pu être confirmés sur les blés d'automne et de printemps. L'ampleur de ces effets dépend des variétés mais pas directement de leur sensibilité à la germination sur pied.

Par rapport au contrôle, l'égrainage du tiers supérieur de l'épi est le procédé qui a le plus diminué le TC ($p < 0,01$), dans les blés d'automne et de printemps. Les raisons en sont peu claires. Un PMG élevé et une maturité retardée peuvent laisser supposer que les mécanismes qui interviennent dans la baisse du TC des épis égrainés sont les mêmes qu'avec l'application de strobilurines.

Le pliage des tiges n'a pas provoqué en moyenne une modification significative du TC ($p > 0,05$). Cela s'explique par les résultats de Goumoens où les TC ont augmenté. Le même effet a été observé dans les blés d'automne, qui avaient en général des TC très bas. Il semble envisageable que, lors de pluies, les épis des tiges pliées retiennent moins l'eau et que l'effet du pliage puisse ainsi être contrecarré. Cela contredit apparemment les résultats de Saurer *et al.* (1998) et diminue la pertinence de cette méthode pour la description de la sensibilité variétale.

Bien que ces données ne résultent que d'une année d'expérimentation, elles confirment que la perturbation des rapports entre source et puits d'assimilats influence le TC du blé et du triticale. Aucun des procédés n'est cependant utilisable seul pour évaluer la résistance à la germination sur pied dans un programme de sélection. D'une part, à l'exception du procédé «strobilurine», tous ces procédés sont relativement laborieux. D'autre part, l'effet des traitements s'est révélé très dépendant de l'environnement et des variétés, mais sans que l'effet variétal ne corresponde à la sensibilité à la germination sur pied observée par ailleurs en considérant les TC obtenus en cinq lieux, chacune des trois dernières années. En clair, des variétés ont réagi aux procédés parfois de manière indépendante de leur résistance connue. Lors de conditions favorables de pluies persistantes, le pliage des tiges n'a pas toujours accentué la germination.

Quelles conséquences pour la pratique et pour la sélection?

Les apports de strobilurines peuvent diminuer les TC. Dans notre essai, la diminution moyenne était de 32 secondes (de 321 à 289 secondes). Cette diminution n'est pas importante, mais peut suffire au déclassement lors de conditions défavorables avec des variétés sensibles; le pliage des tiges et l'égrainage des épis simulant l'effet de la grêle peuvent également conduire à une baisse des TC. Ces effets ne peuvent toutefois pas être généralisés, du fait de la forte variabilité entre variétés et entre milieux. On connaît peu l'influence sur le TC du stade physiologique de la plante au moment de la grêle. De plus, dans notre essai, tous les épis de l'échantillon provenaient de tiges pliées ou d'épis égrainés, état qui ne correspond que partiellement à une situation de grêle du fait que, dans ce cas, la présence d'épis intacts conduit probablement à un effet de dilution.

La germination sur pied est un phénomène complexe qui combine les différents effets de l'environnement, des facteurs génétiques et des méthodes culturales. L'évaluation de la germination sur pied semble difficile mais l'impact de ces sensibilités peut être diminué par une sélection et l'amélioration des méthodes d'évaluation.

Bibliographie

- Barnes W.C. & Blakeney A.B., 1974. Determination of cereal alpha amylase using a commercially available dye-labelled substrate. *Die Stärke* **26** (6), 193-197.
- Cartelle J., Pedró A., Savin R. & Slafer G.A., 2006. Grain weight responses to post-anthesis spikelet trimming in an old and a modern wheat under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* **25**, 365-371.
- Derera N. F., 1989. The effects of pre-harvest rain. In: Pre-harvest field sprouting in cereals. CRC press, Boca Raton Florida, 1-14.
- Dimmock J. P. R. E. & Gooding M. J., 2002. The effects of fungicides on rate and duration of grain filling in winter wheat in relation to maintenance of flag leaf green area. *Journal of agricultural Science* **138**, 1-16.
- Evers A. D., Flinham J. & Kotecha K., 1995. Alpha-amylase and grain size in wheat. *Journal of Cereal Science* **21** (2), 1-3.
- Flinham J. E. & Gale M. D., 1988. Genetics of pre-harvest sprouting and associated traits in wheat: review. *Plant Varieties and Seeds* **1**, 87-97.
- Gate P., Méléard B., Simon S., Casals M.L., Fougereux J.-A. & Gireaudeau P., 2007. Sensibilité à la germination avant récolte. Comment bien évaluer les variétés? *Industrie des Céréales* **152**, 30-31.
- Ma Y.-Z., MacKown C. T. & Van Sanford D. A., 1990. Sink manipulation in wheat: compensatory changes in kernel size. *Crop Science* **30**, 1099-1105.
- Perten Instruments, 1993. Falling Number 1400. Mode d'emploi.
- Saurer W., Häfele Y. & Senger B., 1995. Wird die Fallzahl durch Hagelschlag beeinflusst? *Die Mühle+Mischfüttertechnik* **132** (9), 127-130.
- Saurer W., Häfele Y. & Senger B., 1998. A novel method for the breeding for sprouting resistance in wheat. 8th International symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals, Detmold, Germany.

Riassunto

Alcuni fattori sconosciuti influenzano l'indice di caduta di Hagberg e i fenomeni di germinazione del frumento

Il tempo fresco e umido dell'estate 2007 ha favorito la germinazione sul piede dei cereali, causando una perdita di raccolta del 21% del frumento panificabile. Il tasso di germinazione viene misurato tramite il metodo dell'indice di caduta di Hagberg (TC). Il problema principale della germinazione del frumento sta nell'importante trasformazione dell'amido in zuccheri solubili causata dall'alta attività dell'enzima α -amilasi. Per un selezionatore, il miglioramento della resistenza alla germinazione sul piede è un obiettivo difficile da raggiungere a causa dell'assenza di metodi di valutazione adattati a un numero elevato di linee genetiche.

Questa ricerca, basandosi su fonti letterarie e osservazioni che indicano come la grandine possa provocare dei bassi tempi di caduta, si propone di verificare l'influsso delle perturbazioni della relazione sink-source degli idrati carbonio sul tempo di caduta e di stimare l'utilità di tale misura per la selezione.

Tre varianti di perturbazione del rapporto sink-source sono state applicate in prove di campo su frumento e triticale.

I risultati ottenuti indicano delle differenze significative delle varianti applicate sul «peso mille grani» e sul TC. Questi effetti sono fortemente dipendenti dall'ambiente e dalla varietà. Tuttavia, la forte interazione tra ambiente e varietà impedisce l'uso di queste varianti come strumento di valutazione nella selezione delle linee genetiche.

Summary

Some less known factors influencing falling number and sprouting in wheat

The cool and damp weather during summer 2007 in Switzerland induced strong incidence of pre-harvest sprouting. Around 21% of the wheat harvest had too low bread making quality. Sprouted wheat is characterised by high activities of the starch degrading enzyme α -amylase. The standard method to determine the degree of pre-harvest sprouting is the falling number measure, an indirect way to appreciate α -amylase's activity. For cereal breeders, obtaining resistant cultivars to pre-harvest sprouting is difficult because of lack of cheap and easy screening tools.

Based on different literature findings saying that hailstorms can lead to low falling numbers, this scientific work was conducted to evaluate the influences of distortions in carbohydrate sink-source relationships (such as damages by hail) on falling number and their eventual usability in cereal breeding.

To disturb the sink-source relationships, three treatments were applied in different wheat and triticale trials. The results showed that the sink-source distortions had significant ($p < 0.05$) influences on thousand kernel weight and falling number. Furthermore, it was observed that the results strongly depended on cultivar and environment. Therefore it came to the conclusion that implemented treatments are not usable as screening tool for cereal breeding.

Key words: pre-harvest sprouting, wheat, triticale, falling number, sink-source distortions, strobilurine.

Zusammenfassung

Welche Faktoren beeinflussen die Fallzahl und den Auswuchs beim Weizen?

Das kühle und regnerische Wetter im Sommer 2007 löste starken Auswuchs aus und bewirkte eine Abnahme der Ernte von backfähigem Getreide um 21%. Ausgewachsenes Getreide zeichnet sich durch eine hohe Aktivität des Enzyms α -Amylase aus, welches Stärke in Zucker umwandelt. Der Grad des Auswuchses wird mittels der Fallzahlanalyse indirekt bestimmt.

Für den Getreidezüchter ist Auswuchsresistenz ein schwer zu erreichendes Zuchtziel, da einfache, zuverlässige und billige Testmethoden bis heute fehlen. Aufgrund verschiedener Literaturangaben und Beobachtungen wonach Hagel die Fallzahl senken kann, wurde in dieser Arbeit untersucht, ob Störungen des Verhältnisses Kohlenhydrat-Senke zu Kohlenhydrat-Quelle die Fallzahl beeinflussen und ob dies als Ansatz in der Züchtung verwendet werden könnte.

In verschiedenen Feldversuchen wurden drei Behandlungen zur Störung des Senken/Quellen Verhältnisses an Weizen und Triticale durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass diese Störungen einen signifikanten Einfluss ($p < 0,05$) auf Tausendkorngewicht und Fallzahl haben und dass diese stark von Umwelt und Genotyp abhängig sind. Aus den Resultaten wurde somit gefolgert, dass Störungen des Senken/Quellen-Verhältnisses nicht als Testmethode in der Züchtung geeignet sind.