

Réactions du millet aux apports d'azote

Samuel Knapp, Rosalie Aebi et Jürg Hiltbrunner

Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Jürg Hiltbrunner, e-mail: juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch



Figure 1 | Le millet convient à la fois pour l'alimentation humaine et pour celle des animaux. En outre, sa culture est intéressante en terme d'assolement. (Photo: Rosalie Aebi, Agroscope)

Le millet est devenu une culture de niche intéressante dans l'agriculture biologique. Mais on manque encore de recommandations fondées quant au mode de culture. Des essais de plusieurs années dans les conditions de l'agriculture biologique ont permis d'étudier l'effet des apports d'azote sur le rendement ainsi que sur la teneur en paille et en grains du millet. L'optimum économique a été atteint avec une fumure à base d'azote Biorga d'environ 23 kg par hectare. Lorsque l'engrais utilisé est meilleur marché, il est recommandé d'apporter une quantité d'azote légèrement plus élevée. Par rapport à la paille du blé de printemps, la paille du millet contient environ trois fois plus d'azote, de phosphore et de magnésium, et quatre fois plus de potassium.

Les toponymes (p. ex. Hirslanden, de «Hirse», le millet en allemand) et les coutumes témoignent de la culture du millet en Suisse autrefois. Mais hélas aujourd'hui, il reste peu d'expérience et de connaissances sur la culture de cette plante. Les besoins de la Suisse en millet sont en grande partie couverts par les importations et la faible

protection frontalière se traduit par une culture indigène très limitée. Pourtant, le millet est précieux du point de vue nutritionnel et serait très intéressant pour les assolements (fig. 1). Le millet ne transmet aucune maladie du pied, ce qui est un atout notamment pour les assolements à base de céréales. Comme toute plante C4, le millet est également en mesure de survivre avec peu d'eau. C'est une plante qui semble parfaitement adaptée aux étés chauds et secs qui se multiplieront si l'on en croit les prévisions (Fuhrer et Jasper 2009). Du fait de sa courte période végétative d'environ 100 jours, il est aussi envisageable de semer du millet au printemps après avoir fauché une prairie temporaire. Semé à cette saison, le millet peut encore arriver à maturité sans problème. Le millet convient à la fois pour l'alimentation humaine et animale (Humphrys 2005). Il a un intérêt nutritionnel, car il est riche en minéraux, a une forte teneur en acide silicique et ne contient pas de gluten. Le millet peut donc être une céréale intéressante pour les personnes qui souffrent de maladie cœliaque. Autant les grains que la paille peuvent servir d'aliments pour animaux. Les grains ont une teneur en énergie et en protéines similaire à celle de l'orge.

Des essais préalables ayant permis de clarifier la question des variétés, la phase suivante s'est concentrée sur la technique culturale. Cet article présente les résultats obtenus en ce qui concerne l'effet de la fumure azotée sur le rendement en grains ainsi que sur les teneurs dans le grain et la paille.

Dispositif d'essai

Comme le millet n'est en ce moment cultivé en Suisse que dans les conditions de l'agriculture biologique, les essais ont été effectués dans des exploitations certifiées et titulaires du label du bourgeon à Dietikon (2010), Sulzbach (2011), Seebach (2012) et Schlieren (2012). La densité de semis était de 500 grains aptes à germer/m² pour des parcelles de 25 m². La maîtrise des adventices était gérée selon les pratiques de l'exploitation (généralement deux passages, avec la sarcluse ou la herse-étrille – le premier passage au stade foliaire 3 à 4 et le second au stade 6 à 8).

Les essais ont été organisés sous forme de plan expérimental en blocs randomisés complet à deux facteurs avec quatre répétitions. Premier facteur: deux variétés russes Quartett et Krupnoskoroje, qui sont multipliées en Suisse par la coopérative Sativa (Rheinau) depuis 2006 et sont recommandées pour la production sous contrat avec la coopérative Biofarm (Kleindietwil). Deuxième facteur: cinq degrés d'apport d'azote (0, 30, 60, 90 et 120 kg N/ha). Lors du semis et au stade foliaire 3 à 4, la moitié de la quantité d'azote correspondante a été apportée sous forme Biorga-Quick 12 % (Hauert HBG Dünger AG, Grossaffoltern).

Avant le semis (échantillon composite de toute la surface d'essai) et après la récolte (échantillon composite par procédé), la teneur en N_{\min} a été déterminée à une profondeur de 0–90 cm. Les essais ont permis d'étudier le rendement en grains et en paille, la teneur en eau au moment de la récolte, ainsi que la teneur en éléments nutritifs (procédé chimique par voie humide: azote, phosphore, potassium et magnésium).

Comme pour l'élaboration des Données de base pour la fumure des grandes cultures (Richner *et al.* 2010), différentes fonctions ont été calculées pour déterminer les fonctions de production et la fumure azotée optimale sur le plan économique (Bélanger *et al.* 2000). Ces fonctions ont ensuite été sélectionnées sur la base d'une évaluation visuelle et statistique. Le calcul de l'optimum économique est basé sur les prix suivants: CHF 2.– /kg d'azote pour les engrais azotés conventionnels, CHF 8.– /kg d'azote pour les engrais Biorga, CHF 170.– /dt de millet (prix à la production Coopérative Biofarm, Kleindietwil).

Rentabilité de la fumure azotée

De grandes différences ont été constatées entre les essais ($P < 0,001$). Les rendements moyens en grains oscillaient entre 11,0 (Schlieren 2012) et 39,9 dt/ha (Seebach 2012; tabl. 1). A l'exception de l'essai réalisé à Schlieren, tous les essais étaient de qualité moyenne (coefficient de

variation entre 7,3 et 12,3 %). Sur les sites de Dietikon et Schlieren, la levée au champ du millet était irrégulière et la pression des adventices plus élevée que dans les essais de Sulzbach et Seebach. Avec 25,9 dt/ha, la variété Quartett a réalisé un rendement plus élevé que la variété Krupnoskoroje qui a atteint 23,4 dt/ha ($P < 0,001$). Cependant, les deux variétés ont réagi de manière similaire à l'apport d'azote. Bien que l'analyse de variance n'ait pas permis d'identifier un effet marquant de la fumure à l'échelle des sites, cet effet s'est avéré significatif dans l'évaluation globale ($P < 0,05$).

Avec les données disponibles, c'est la fonction de production quadratique qui convient le mieux pour expliquer l'effet des différents apports d'azote sur le rendement (fig. 2). Il n'y a que pour le site de Sulzbach qu'aucune fonction de production n'a pu être déduite (tabl. 1). Le rendement maximal est de 25,5 dt/ha pour une fumure de 92,6 kg N/ha. Des apports d'azote plus importants entraînent des baisses de rendement. Ces résultats confirment les observations faites par Hoffmann-Bahnsen (2003) dans des essais similaires dans le nord de l'Allemagne.

Avec un prix des engrais de CHF 2.– /kg N, l'apport d'azote optimal sur le plan économique se situe à 75,8 kg N/ha, soit juste en dessous du maximum et avec un prix des engrais de CHF 8.– /kg (Biorga) à seulement 25,2 kg N/ha. Cet apport permettrait d'obtenir un rendement d'à peine 24 dt/ha. Même si on adapte une fonction de production pour chaque essai, la fumure azotée optimale ne varie quasiment pas pour un prix de CHF 2.– /kg malgré les différents niveaux de rendement (tabl. 1). Il n'y a qu'avec un prix de CHF 8.– /kg de N que la fumure azotée optimale varie considérablement entre les essais.

La comparaison entre Biorga et l'engrais azoté de synthèse prouve que le prix des engrais influence fortement la fumure azotée optimale. La figure 3 montre comment, à partir de la fonction de production donnée, les varia-

Tableau 1 | Vue d'ensemble des essais avec apports croissants d'azote dans les cultures de millet (2010–2012): teneur en N_{\min} dans le sol (kg de N/ha) avant le semis ainsi que rendement moyen en grains (dt/ha avec 14 % de H_2O). «N (rendement) Maximum» resp. «N (rendement) Optimum» sont les valeurs de fumure azotée (kg de N/ha) calculées à partir des fonctions de production avec le rendement obtenu entre parenthèses (dt/ha). Optimum économique indiqué pour un prix d'engrais de CHF 2.– et 8.– /kg de N

Site	Année	N_{\min} avant semis (kg N/ha)	Ø des rendements (dt/ha)	CV ¹ (%)	N (rendement) Maximum	N (rendement) Optimum (2 CHF/kg N)	N (rendement) Optimum (8 CHF/kg N)
Dietikon	2010	36,7	18,9	12,3	81,8 (18,4)	63,4 (18,3)	8,1 (16,7)
Sulzbach ²	2011	61,8	28,3	12,3			
Seebach	2012	148,6	39,9	7,3	85,1 (39,9)	70,5 (39,8)	26,8 (38,5)
Schlieren	2012	80,9	11	56,9	74,8 (12,2)	69,6 (12,2)	54,0 (11,8)

¹CV = coefficient de variation.

²Aucune fonction de production n'a pu être déduite pour Sulzbach en 2011.

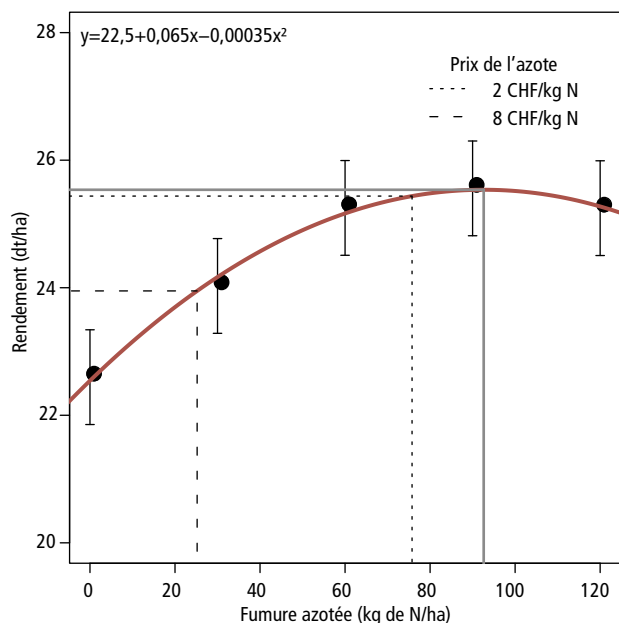


Figure 2 | Rendement en grains du millet comme fonction de la fumure azotée. Ligne grise: rendement maximal, lignes en pointillés: fumure azotée optimale sur le plan économique pour des prix de l'azote de CHF 2.– /kg N (engrais de synthèse) et CHF 8.– /kg N (Biorga), les barres d'erreur correspondent aux erreurs-types.

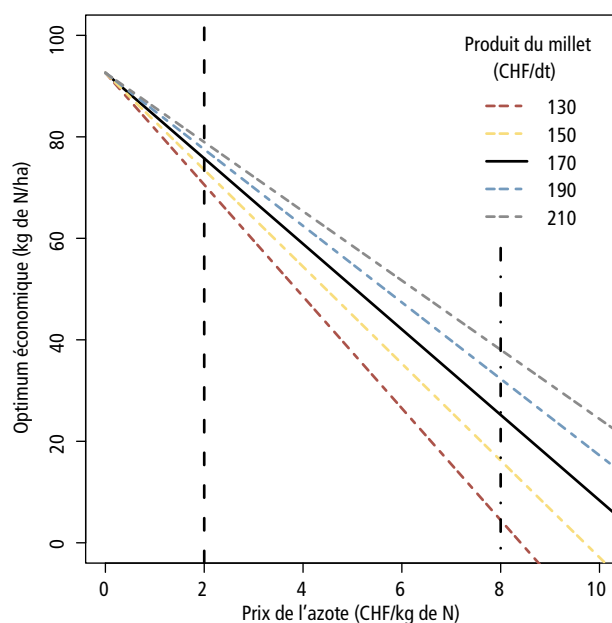


Figure 3 | Optimum économique d'apport d'azote pour le millet en fonction du prix des engrais et du prix à la production.

tions du prix des engrais et du prix du millet à la production se répercutent sur la fumure azotée optimale. Les calculs d'un prix indicatif des engrais de ferme (fumier de stabulation, lisier complet, précédent cultural et culture intermédiaire) sont très complexes. Dans la littérature, on trouve des valeurs comprises entre 4.– et 7.– CHF/kg de N (Klöble 2009). A partir de la fonction de production donnée, cela représenterait une fumure optimale sur le plan économique de 60 et 35 kg de N/ha (fig. 3).

Valorisation de l'azote

A l'exception de celui de Schlieren (2012), tous les essais ont permis d'identifier un effet des réserves d'azote minéral (N_{\min}) avant le semis sur le niveau de rendement (tabl. 1). Toutefois, l'effet de l'azote apporté en supplément sur le rendement du millet est indépendant des réserves pré-

sentes dans le sol avant le semis, car dans presque tous les essais, le rendement maximal a été obtenu avec près de 80–90 kg d'azote par hectare (tabl. 1). Il faudrait faire d'autres essais pour savoir dans quelle mesure les autres propriétés du sol ou du site peuvent expliquer ces résultats. Sur la base des données disponibles, un rapport direct ne peut être établi ni entre le niveau de fertilisation et la quantité d'azote dans la biomasse aérienne du millet (fig. 4), ni entre le niveau de fertilisation et le niveau de fertilisation relevé dans le sol après la récolte (fig. 5). Cela peut venir du fait que le reste de l'azote apporté par les engrais est encore fixé dans les racines du millet ou qu'il s'est déposé dans des couches du sol à plus de 90 cm de profondeur. Dans les essais de Dietikon et Schlieren notamment, il est probable que de l'azote fertilisé ait également été assimilé par les adventices.

Tableau 2 | Teneurs (g/kg de matière fraîche) d'azote (N), de phosphore (P), de potassium (K) et de magnésium (Mg) dans le grain et la paille de blé et d'avoine de printemps (Sinaj et al. 2009) par rapport au millet. Moyennes (minima et maxima)

Culture	Produit	N (min.; max.)	P (min.; max.)	K (min.; max.)	Mg (min.; max.)
Millet	Grains	16,6 (15,2, 18,4)	2,8 (2,4, 3,2)	2,4 (1,8, 2,7)	1,2 (0,9, 1,4)
	Paille	10,7 (9,3, 11,6)	2,4 (1,3, 3,3)	18,8 (12,6, 25,3)	2,4 (1,8, 2,7)
Blé de printemps	Grains	20,2 (18,0, 26,0)	3,6 (3,1, 4,4)	3,6 (2,5, 4,2)	1,2 (1,0, 1,4)
	Paille	3,1 (3,0, 7,0)	0,8 (0,4, 1,3)	8,9 (6,6, 11,6)	0,7 (0,3, 0,7)
Avoine de printemps	Grains	16,5 (13,0, 19,0)	3,5 (3,1, 3,9)	4,2 (3,3, 5,0)	1,0 (0,9, 1,3)
	Paille	4,1 (3,0, 7,0)	1,2 (0,9, 1,7)	17,4 (14,9, 19,9)	1,2 (0,6, 0,9)

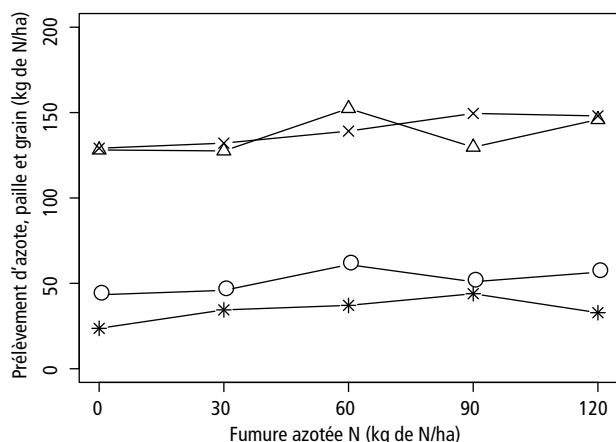


Figure 4 | Quantité d'azote dans la biomasse aérienne du millet (paille et grain) sur quatre sites différents avec un niveau de fumure azotée variable. Légende cf. fig. 5.

Teneurs en éléments fertilisants

Dans l'évaluation globale, on constate un effet hautement significatif du site de l'essai sur les teneurs en éléments nutritifs des grains et de la paille. Une influence de l'apport azoté n'a été observée que pour la teneur en phosphore et en magnésium de la paille: lorsque les apports d'azote augmentent, ces teneurs augmentent elles aussi. En outre, il a également été observé que la variété exerçait une influence sur les teneurs, notamment celles du grain. La variété Quartett affiche par exemple des teneurs légèrement supérieures à la variété Krupnoskoroje.

Par rapport à deux autres espèces de céréales de printemps qui peuvent servir d'alternative au millet dans l'assolement et pour lesquelles les chaumes sont comptabilisés dans le bilan de fumure, la teneur élevée en azote de la paille de millet est particulièrement remarquable (tabl. 2). La teneur en magnésium, presque deux fois plus élevée que celle de l'avoine de printemps, est elle aussi frappante. Il faut cependant savoir que le rendement du blé et de l'avoine de printemps est souvent supérieur à celui du millet.

Bibliographie

- Bélanger G., Walsh J. R., Richards J. E., Milburn P. H. & Ziadi N., 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* 92 (5), 902–908.
- Hoffmann-Bahnsen R., 2003. Wie viel Stickstoff braucht Rispenhirse (*Panicum miliaceum*). Untersuchungen zum Stickstoffbedarf und der Dynamik in der Pflanze. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 15, 304–305.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Besoins en irrigation en Suisse. Rapport final de l'étude «Besoins en irrigation en Suisse (BI-CH)». Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zurich. 74 p.
- Humphrys C., 2005. Anbau von Rispenhirse in der Schweiz: Unkrautbekämpfung und Perspektiven einer alten Kulturpflanze. Publié dans:

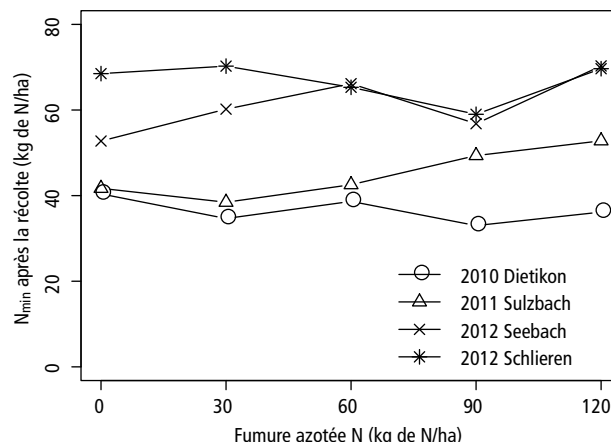


Figure 5 | Teneur en N_{\min} dans le sol après la récolte de millet sur quatre sites différents en fonction de la fumure azotée.

Conclusions

Les rendements en grains ont varié considérablement d'un essai à l'autre, preuve qu'ils dépendent des conditions locales et saisonnières. L'apport d'azote optimal du point de vue économique dépend beaucoup du prix des engrais et du prix à la production. Dans l'agriculture biologique, il est donc conseillé d'opter pour des apports d'azote à base d'engrais de ferme aux coûts avantageux. Dans les différents essais réalisés, les apports d'azote plus élevés n'ont pas conduit à des teneurs en N_{\min} plus élevées dans le sol après la récolte, ce qui peut s'expliquer en partie par la présence d'adventices et par leur absorption d'azote. Les teneurs en éléments nutritifs du grain et de la paille dépendent davantage des conditions saisonnières et locales que de la fumure azotée. Par rapport aux autres variétés de céréales de printemps, la teneur élevée de la paille de millet en azote doit être prise en compte pour le bilan de fumure. ■

Remerciements

Nous remercions la fondation Hauser (Weggis) et BioSuisse pour leur soutien financier.

Unkrautbekämpfung. Neue Technologien, reduzierter Herbizideinsatz und Alternativen, FAL-Tagung, Zurich.

- Klöble U., 2009. Bewertungsansätze für interne Leistungen im ökologischen Landbau (Workshop). Accès: <http://orgprints.org/14334/> [11.12.2013].
- Richner W., Flisch R., Sinaj S. & Charles R., 2010. Détermination des normes de fumure azotée pour les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse* 1 (11–12), 410–415.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. DBF-GCH 2009 – Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'Agriculture* 41 (1), 1–98.