

Réaction à la fumure azotée de nouvelles variétés de pommes de terre admises à la liste officielle

Thomas Hebeisen¹, Theodor Ballmer¹, Roger Wüthrich¹ et Brice Dupuis²,

¹Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

²Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil, 1260 Nyon

Renseignements: Thomas Hebeisen, e-mail: thomas.hebeisen@art.admin.ch, tél. +41 44 377 74 50



Aperçu de la parcelle d'essais de pommes de terre à Reckenholz en 2008. (Photo: ART)

Introduction

Pour une production optimale de pommes de terre, il est réellement difficile, même pour un professionnel expérimenté, de bien adapter la fumure azotée aux conditions climatiques de l'année, aux propriétés du site de culture ainsi qu'à la variété.

Compte tenu des interlignes larges et de son système racinaire faible et peu développé en profondeur, la pomme de terre prélève tout au plus 60 % de l'azote disponible dans la couche arable (Vos 1997). Jusqu'à une hauteur des pousses de 10 cm, les prélèvements d'azote sont très faibles grâce aux fournitures du tubercule mère. En revanche, ils sont très élevés durant les quatre à cinq semaines qui suivent (Walther *et al.* 1996). Un manque d'azote affecte fortement la productivité de la pomme de terre. A l'opposé, trop d'azote disponible entraîne un développement excessif du système foliaire; il en résulte un retard dans le développement et la maturation des tubercules. L'azote qui n'est pas prélevé par les plantes peut se volatiliser sous forme d'azote nitreux ou être lessivé sous forme de nitrate; il s'ensuit

une pollution de l'air ou de l'eau. Tant la directive sur les nitrates promulguée par l'UE (1991) que le suisse-bilanz introduit en Suisse ont pour objectif la maîtrise des quantités d'azote et de phosphore au niveau des exploitations pour satisfaire aux exigences des prestations écologiques requises. La finalité de ces mesures, introduites il y a plusieurs années, est la protection des ressources naturelles. Des améliorations ont été constatées dans de nombreux pays. Les engrais utilisés dans l'agriculture contribuent à la pollution des eaux de surface et se retrouvent dans les nappes phréatiques. Les agriculteurs d'aujourd'hui sont conscients de leurs responsabilités. Ils cherchent à optimiser leur production, tant au niveau des coûts que de la qualité. La nutrition des plantes dépend de plusieurs facteurs dont certains ne peuvent pas être influencés et d'autres partiellement seulement. Les principaux facteurs qui entrent en ligne de compte sont: le climat de l'année, la nature du sol, les éléments nutritifs libérés par la minéralisation de la matière organique, les techniques culturales, l'irrigation ainsi que les besoins en azote spécifiques aux variétés.

De nombreux travaux de recherche et de modélisation ont permis de mieux comprendre la cinétique de l'azote dans les sols, aussi en culture de pommes de terre (Haverkort et MacKerron 2000). Vos et MacKerron (2000) ont montré que le coefficient d'utilisation de l'azote pouvait être amélioré par un fractionnement des apports. Une adaptation de la fumure peut être faite sur la base d'analyses complémentaires du sol (par exemple Nmin) et des plantes. On peut ainsi mieux maîtriser la variabilité des quantités d'azote disponibles dans le sol. L'influence de la fumure azotée sur la qualité des pommes de terre a été mise en évidence par de nombreux essais. Un excès d'azote favorise la formation de tubercules gémellaires, les cœurs creux ainsi que la sensibilité aux chocs comme relevé notamment par Kolbe (2001).

Le but des essais des stations de recherche Agroscope est de définir les besoins en azote des nouvelles variétés de pommes de terre, qu'elles soient destinées à la consommation en frais ou à la transformation industrielle. Comme l'a relevé par exemple van Loon (1994), il n'est pas possible de reprendre telles quelles les indications des sélectionneurs ou des instituts de recherche étrangers, les conditions de culture étant différentes en Suisse, notamment en ce qui a trait à la température, aux précipitations, à la nature des sols ainsi qu'aux pratiques culturales. De plus, il y a lieu de tenir compte des conditions cadres particulières à respecter en matière de protection des ressources naturelles.

Matériel et méthodes

Les essais destinés à déterminer les besoins en azote des nouvelles variétés de pommes de terre de consommation ont été réalisés sur les domaines de Changins-Nyon, VD (Cgs,) et de Reckenholz, ZH (Re) en 2008 et 2009. La nature du sol des deux sites était semblable. A Changins, la fumure de fond apportée en automne sous forme d'engrais minéraux était composée de 80–100 kg P₂O₅, 300–400 kg K₂O et 25–30 kg Mg, en conformité avec les DBF (Sinaj *et al.* 2009). A Reckenholz, la fumure de fond consistait en un apport de 25 t/ha de compost en automne. Les sols des deux sites sont considérés comme étant normalement pourvus en P et K et le pH est faiblement alcalin. Au point de vue disponibilité en azote, ils sont qualifiés de «suffisants/normaux» (Sinaj *et al.* 2009). En 2008, la plantation a eu lieu le 28 avril à Changins et le 5 mai à Reckenholz. En 2009, les plantations ont eu lieu les 6 et 7 avril. Chaque variété a été plantée en parcelles de 50 tubercules à Changins et de 100 tubercules à Reckenholz, dans un dispositif en 4 répétitions. L'espace sur la ligne était de 33 cm, ce qui correspondait à une densité de plantation de 400 tubercules par are.

Résumé En 2008 et 2009, les stations de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW et Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ont déterminé les besoins en azote spécifiques aux variétés de pomme de terre Gourmandine, Jelly, Laura ainsi que Lady Jo par des essais au champ installés à Changins-Nyon (VD) et à Zurich-Reckenholz. Lady Jo n'a été testée qu'à Changins. Les procédés de fumure azotée ont été échelonnés de 0 à 200 kg N/ha. Toutes les variétés ont réagi aux doses croissantes d'azote par des augmentations du rendement total et du rendement commercialisable. Cependant, aucune augmentation significative du rendement n'a été observée au-dessus de 120 kg N/ha. La variété Gourmandine a produit un rendement significativement supérieur à celui de Jelly et Laura, tant en récolte totale qu'en récolte commercialisable. Plus la fumure azotée était élevée, plus la teneur en amidon des tubercules était basse. En tendance générale, les pommes de terre de tous les procédés ayant reçu une fumure azotée se sont révélées légèrement plus sensibles aux chocs que celles des témoins sans azote. La teinte des pommes chips issues de tubercules sans fumure azotée était plus claire que celle des pommes de terre ayant reçu de l'azote. C'est avec une fumure moyenne, comprise entre 100 et 120 kg N/ha, que les variétés Gourmandine, Jelly et Laura ont fourni les meilleurs rendements en marchandise commercialisable. Ces essais ont confirmé l'influence importante des conditions climatiques de l'année ainsi que celle des conditions de croissance dans les différents sites sur la productivité de la pomme de terre.

Les procédés de fumure azotée étaient les suivants:

N₀ = aucune fumure N // N_{B80} = 80 kg Biorga Quick (12 % de N organique N) // N₈₀ = 80 kg N, N₁₂₀ = 120 kg N, N₁₆₀ = 160 kg; N₂₀₀ = 200 kg N par ha sous forme de nitrate d'ammoniaque (27,5 % N). Le premier épandage (40 kg N) a eu lieu peu avant ou immédiatement après la plantation, le second lorsque les plantes atteignaient une hauteur de 10 cm, et le troisième juste avant la fermeture des lignes.

Conditions climatiques et approvisionnement en eau en 2008 et 2009

En 2008, la plantation a été retardée à cause d'un mois d'avril pluvieux. A Changins, l'essai a été irrigué début juillet avec 30 mm d'eau. A Reckenholz, la répartition des pluies fut plus favorable. >

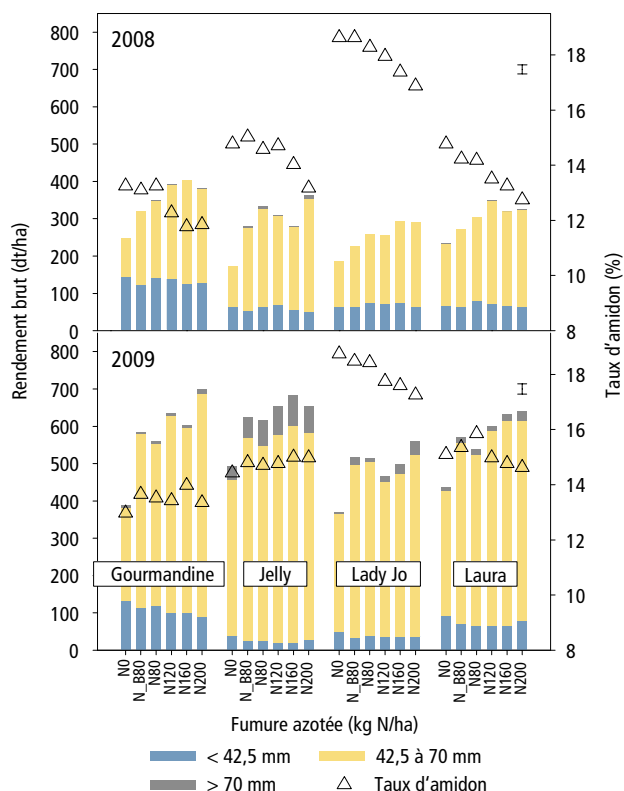


Figure 1a | Rendement brut et teneur en amidon des différentes variétés en fonction de la fumure azotée à Changins en 2008 et 2009.

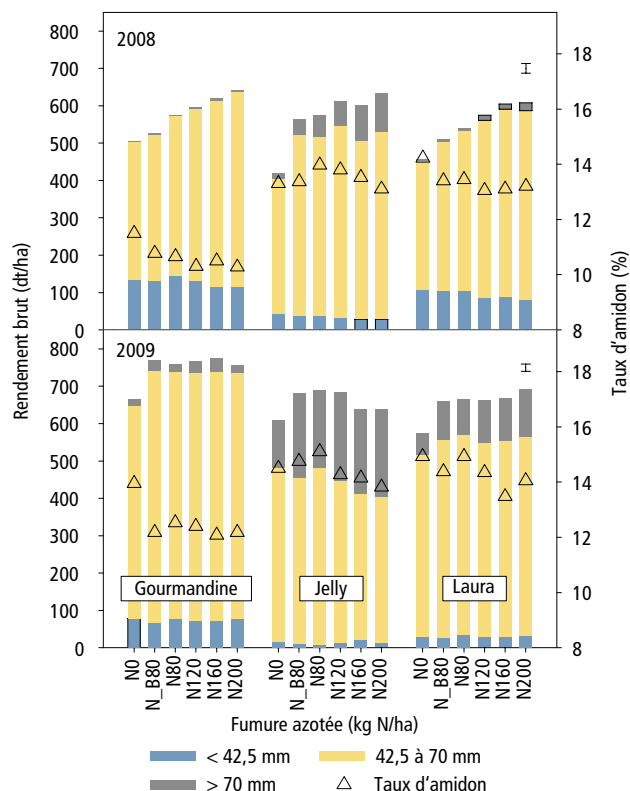


Figure 1b | Rendement brut et teneur en amidon des différentes variétés en fonction de la fumure azotée à Reckenholz en 2008 et 2009.

En 2009, les plantations furent très précoces grâce à un mois d'avril plutôt sec. Les températures furent supérieures à la moyenne d'avril à septembre. La répartition des pluies fut très bonne à Reckenholz alors qu'à Changins il fallut procéder à 5 arrosages successifs de 30 mm à partir de fin mai.

Niveaux N_{\min} très différents entre les deux sites

Les analyses d'avril à Changins révélaient de faibles teneurs en N_{\min} , soit 20 kg N/ha en 2008 et 35 kg N/ha en 2009 (couche de 0 à 60 cm). A Reckenholz, les teneurs en N_{\min} mesurées en mai étaient élevées en 2008 avec 88 kg N/ha et très élevées en 2009 avec 169 kg N/ha. Les conditions de minéralisation de l'azote du sol étaient optimales. Grâce aux faibles précipitations durant les mois d'avril et mai, les pertes d'azote par lessivage ont été vraisemblablement faibles.

Variétés et paramètres examinés

Ce sont les variétés de pommes de terre de consommation Gourmandine, Jelly et Laura qui ont été examinées sur leur comportement en fonction de la fumure azotée. Toutes trois se caractérisent par une très bonne productivité, une bonne qualité culinaire ainsi qu'une bonne aptitude à la conservation. Elles sont qualifiées de

mi-tardives à mi-précoces. La variété Lady Jo, de type mi-précoce et convenant à la fabrication de pommes chips, n'a été testée qu'à Changins.

En plus des évaluations agronomiques au champ, la teneur en chlorophylle des feuilles a été déterminée à Changins de manière indirecte par la mesure de l'intensité de la couleur verte des feuilles au moyen du N-Tester Hydro (une mesure par période de végétation). Le défanage a été effectué chimiquement au cours de la dernière décade de juillet à Changins et de la première décade d'août à Reckenholz. Le matériel récolté a été calibré en trois classes: marchandise commercialisable (42,5–70 mm), petit calibre (< 42,5 mm) et gros calibre (> 70 mm). La teneur en amidon et la sensibilité aux chocs (test par secouage) en fonction des différents niveaux de fumure azotée ont été déterminées sur des échantillons groupés. L'indice de taches plombées se calcule à partir de la fréquence des dommages multipliée par leur intensité notée sur des tubercules pelés (4 × 50 tubercules par procédé de fumure N). Un échantillon moyen pour chacun des procédés a été mis en conservation, avec traitement au Talenton comme antigerminatif, pour une durée de 135 jours. Le résultat du test de conservation a été établi sur la base d'une notation visuelle ainsi que d'une mesure de la perte de poids.

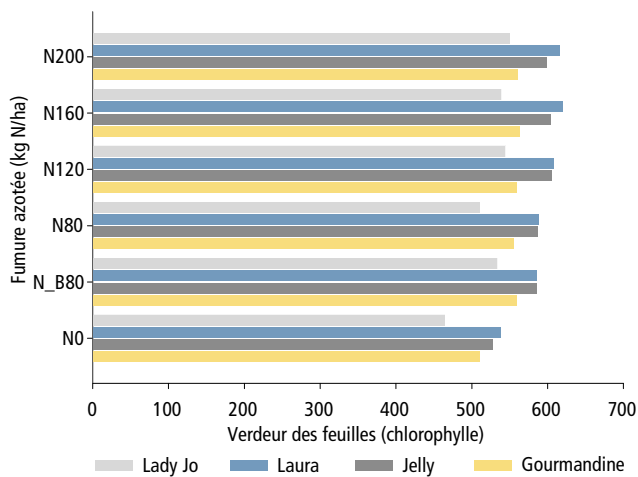


Figure 2 | Intensité de la coloration verte des feuilles des différentes variétés en fonction de la fumure azotée à Changins. Valeurs moyennes obtenues par des mesures effectuées une seule fois par période de végétation au moyen du N-Tester Hydro.

Pour les tests d'aptitude à la transformation industrielle, les tubercules conservés à 8 °C ont été découpés en chips et passés à la friture (3 min. à 170 °C). La coloration des chips a été taxée d'après l'échelle de coloration de Wageningen. La note 1 correspond à des chips quasiment noires et la note 9 à des chips très claires.

Mises en valeur statistiques

Toutes les données ont été l'objet d'une mise en valeur statistique globale afin de pouvoir mettre en évidence d'éventuelles interactions intéressantes entre variétés, fumure azotée, lieux d'essai et années. Dans les graphiques, les résultats sont présentés séparément afin de mettre en évidence les effets de l'année et du site sur les disponibilités en eau et en azote dans le sol. La distribution normale des données traitées a été vérifiée. Les différences significatives ont été définies au niveau de probabilité d'erreur de 5 %.

Résultats et discussion

Influence des procédés de fumure azotée sur le rendement brut et sur le rendement marchand

En moyenne générale, toutes variétés et procédés de fumure N confondus, le rendement brut de la récolte 2008 a été inférieur de 45 % à celui de 2009. Ceci est vraisemblablement dû aux plantations tardives ainsi qu'aux conditions de sol défavorables tant avant qu'après la plantation. Le rendement brut moyen des variétés obtenu sur les deux ans à Changins a été inférieur de 38 % à celui de Reckenholz. La différence était particulièrement marquée en 2008 (fig. 1). La moyenne des procédés de fumure azotée calcu-

lée sur l'ensemble des variétés a révélé une augmentation du rendement brut de 25 % et du rendement marchand de 28 % par rapport au témoin sans azote pour une fumure de 80 kg N/ha seulement. En augmentant la fumure de 80 kg N/ha à 200 kg N/ha, l'accroissement du rendement brut est de 8 % et celui du rendement marchand de 9 %. L'effet décroissant de l'augmentation de la fumure est visible (fig. 1). Les résultats obtenus avec 80 kg/ha de Biorga Quick ont été parfaitement identiques à ceux de la quantité correspondante d'azote minéral, tant en rendement brut qu'en rendement marchand. La variété Gourmandine s'est révélée significativement plus productive que Jelly et Laura. La moyenne des procédés sans aucune fumure azotée, sur les des deux années d'essai, révèle un rendement brut sur le site de Reckenholz qui est supérieur de 87 % à celui de Changins; cette différence est de 63 % pour le rendement commercialisable. Dans le groupe des procédés ayant reçu une fumure azotée, les différences entre les deux sites se situaient entre 25 et 40 %. Cet état de faits est probablement à mettre en relation avec les plus grandes disponibilités en N_{\min} et à l'approvisionnement en eau plus régulier à Reckenholz qu'à Changins.

En moyenne des deux années d'essai et des résultats des deux sites, la proportion de tubercules de calibre marchand se situait à 73,6 % du rendement brut en l'absence de fumure azotée et passait à 78 % avec une fumure de 80 kg N/ha. En augmentant encore la fumure azotée, on s'attendait à une augmentation de la proportion de tubercules en sur-calibre comme cela a été le cas dans les essais de fumure 2005–2007 (Dupuis *et al.* 2009). Mais ce phénomène n'a été visible qu'à Reckenholz. Sur les deux lieux d'essais, les rendements bruts ont atteint leur maximum à un niveau de fumure N relativement bas. L'azote supplémentaire est resté sans effet (fig. 1a et 1b).

Feuilles des plantes sans fumure N plus claires

Les mesures de teneur en chlorophylle faites au cours des deux années d'essais révélaient une valeur de 502 en moyenne des quatre variétés dans le procédé sans fumure azotée et de 589 dans les procédés avec fumure azotée. Ces valeurs sont caractéristiques d'une relative sous-fertilisation azotée. Cependant, l'intensité de la couleur verte des feuilles peut aussi être liée à la variété. Ainsi, les variétés Lady Jo et Gourmandine ont toujours présenté des feuilles plus claires que les autres, indépendamment de la fumure azotée (fig. 2). La différence de coloration verte entre les deux années d'essai était faible (moyenne 2008: 563; moyenne 2009: 559). En ne procédant qu'à une seule mesure par période de végétation, les résultats n'étaient plus différenciables à partir d'une fumure de 120 kg N/ha. Goffart *et al.* (2008) mentionnent que ce type de mesure ne permet pas de

différencier les procédés en cas de consommation de luxe de nitrate par les plantes. D'éventuelles différences de niveau d'approvisionnement en N seraient plus facilement identifiables vers la fin de la période de végétation. On sait que différents facteurs comme le sol, le climat et les conditions de culture peuvent influencer le résultat de ces mesures.

Les procédés de fumure N ont légèrement influencé la sensibilité des tubercules aux chocs

Les tubercules des procédés sans fumure azotée ont présenté le plus faible indice de taches plombées, soit 25. La différence par rapport aux procédés avec fumure azotée était modeste puisque ceux-ci n'ont atteint que 32 en moyenne. Aucune différence n'a été constatée entre variétés parmi les procédés avec fumure azotée. Ces indices se situaient dans la partie inférieure de la catégorie «sensibilité aux chocs moyenne», confirmant ainsi la caractérisation de ces variétés dans la liste officielle (Schwärzel *et al.* 2011).

L'aptitude à la conservation n'a pas été influencée par la fumure azotée

En moyenne des quatre variétés, les tubercules provenant des parcelles sans fumure azotée ont obtenu la note de conservation 3,5 et ont subi une perte de poids de 5,9 % après 135 jours de stockage. Les tubercules provenant des parcelles à 200 kg N/ha ont obtenu une note de conservation légèrement meilleure (3,1) et ont subi une perte de poids de 5,8 %.

Les différences d'aptitude à la conservation ont été plus liées aux propriétés des variétés et au climat de l'année qu'aux effets d'une fumure azotée excessive.

A la fin de la période de stockage, les tubercules de la variété Laura avaient perdu en moyenne 6,8 % de leur poids et ceux de Jelly 6,1 % alors que les tubercules de Lady Jo avaient perdu 5,7 % et ceux de Gourmandine 4,9 %.

Pommes chips plus claires sans fumure azotée

Pour les deux années d'essai, et en moyenne des variétés testées, les pommes chips produites avec des tubercules provenant des parcelles sans azote ont obtenu la note de coloration 5,4, soit une meilleure aptitude à la transformation que celles des procédés avec fumure azotée. Dans ceux-ci, la note était de 5,3 pour 80 kg N/ha et de 5,0 pour 200 kg N/ha. Cette altération de la coloration des pommes chips était la même pour les tubercules provenant des deux sites d'expérimentation. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de Walther et Maag (1990) qui n'ont pas constaté de différences dans la coloration des pommes chips des variétés Bintje et Eba, quels qu'aient été le niveau et la répartition de la fumure azotée.

Conclusions

Dans les DBF 2009, les normes de fumure N sont fonction d'un certain optimum économique. C'est le meilleur compromis possible entre la production de bonnes récoltes de haute qualité et le moindre risque de pertes d'azote. Il en résulte que le rendement à N_{opt} est toujours inférieur au rendement maximum. Ainsi, une fumure azotée ne dépassant pas N_{opt} empêche qu'une quantité excessive d'azote résiduel subsiste après la récolte et soit exposée au risque de pertes par lessivage (Richner *et al.* 2010).

Nos essais confirment que la productivité de la pomme de terre est fortement influencée par la quantité d'azote disponible issu de la minéralisation de la matière organique, selon la nature du sol et les conditions climatiques de l'année dans le site considéré. Les variétés de pommes de terre de consommation Gourmandine, Jelly, et Laura ainsi que la variété de transformation Lady Jo valorisent bien la fumure azotée. Elles atteignent déjà de très bons rendements en marchandise commercialisable à un niveau de fumure de 100 à 120 kg N/ha.

Pour des raisons écologiques et économiques, la fumure azotée prévue doit être épandue si possible en plusieurs fractions. Ainsi, la quantité d'azote des apports successifs peut être modulée en fonction des conditions de minéralisation de l'année.

La fumure azotée des variétés Gourmandine, Jelly, Laura et Lady Jo peut être calculée selon la formule $160 \text{ kg moins } N_{min}$ à 0–60 cm ou dérivée de la «méthode par estimation» décrite dans les DBF. En général, les terres consacrées actuellement à la culture des pommes de terre possèdent une capacité de fourniture d'azote élevée lorsque la température et l'humidité du sol sont favorables. Des rendements élevés en marchandise commercialisable de bonne qualité, tant pour la consommation que pour la transformation, peuvent être atteints avec une fumure azotée relativement modeste. Toutefois, les années où le lessivage de l'azote a été important au cours de l'hiver et la plantation tardive en terre peu réchauffée, un renforcement de la fumure azotée peut être justifié. ■

Riassunto**Risposta delle nuove varietà di patate omologate alle variazioni nell'apporto d' azoto**

Nel 2008 e nel 2009, le stazioni di ricerca Agroscope Changins-Wädenswil ACW e Agroscope Reckenholz-Tänikon ART hanno condotto diverse prove in campo presso i siti di Changins-Nyon (VD) e Zurigo-Reckenholz concernenti il fabbisogno di azoto (N) specifico delle varietà Gourmandine, Jelly, Laura e Lady Jo (solo a Changins). Gli apporti di N variavano da 0 a 200 kg N/ha. Per tutte le varietà, un aumento dell'apporto di N era associato a una maggiore resa lorda e commerciabile. Nessun aumento significativo delle rese si osserva con apporti di N superiori a 120 kg/ha. La varietà Gourmandine ha ottenuto una resa lorda e commerciabile significativamente superiore rispetto alle varietà Jelly e Laura. Più alto era l'apporto di N e minori erano i tenori di amido nei tuberi. L'apporto di azoto provoca una sensibilità dei tuberi al danneggiamento tendenzialmente superiore rispetto a quelli senza apporto. Il colore alla frittura delle patatine ottenute da tuberi di piante non concimate risultava leggermente più chiaro di quello dei tuberi di piante concimate. Con un apporto di N compreso tra 100 e 120 kg/ha le varietà Gourmandine, Jelly e Laura raggiungono un'elevata resa commerciabile. Queste prove confermano come il potenziale di resa della patata sia influenzato in modo importante dalle condizioni climatiche annuali e dal sito di produzione.

Bibliographie

- Dupuis B., Reust W., Hebeisen T. & Ballmer T., 2009. Stickstoffdüngung bei neuen Kartoffelsorten: Ertrag und Qualität. *Agrarforschung* **16** (11–12), 484–489.
- Goffart J. P., Olivier M. & Frankinet M., 2008. Potato crop nitrogen status assesment to improve N fertilization management and efficiency: past-present-future. *Potato Research* **51**, 355–83.
- Haverkort A. J. & MacKerron D. K. L., 2000. Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen, Wageningen Pers, The Netherlands, 353 p.
- Kolbe H., 2001. Düngung zu Kartoffeln. *Kartoffelbau* **52** (3), 88–91.
- Richner W., Flisch R., Sinaj S. & Charles R., 2010. Ableitung der Stickstoffdüngungsnormen von Ackerkulturen. *Agrarforschung Schweiz* **1** (11–12), 410–5.
- Schwärzel R., Torche J.-M., Hebeisen T., Ballmer T. & Musa T., Liste suisse des variétés de pommes de terre 2012. *Encart dans Recherche Agronomique Suisse* **2** (11–12).
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. DBF 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1), 1–98.

Summary**Reaction of newly registered potato varieties to different nitrogen supplies**

In 2008 and 2009, in field trials at the Changins-Nyon (Vaud canton) and Zurich-Reckenholz sites, respectively, the two research stations of Agroscope Changins-Wädenswil ACW and Agroscope Reckenholz-Tänikon ART investigated the variety-specific nitrogen (N) requirement of the potato varieties Gourmandine, Jelly, Laura and Lady Jo (the latter at Changins only). The N levels varied from 0 to 200 kg N per hectare. All varieties reacted to the increasing N supply with a higher gross- and marketable yield. From an N-application level of 120 kg/ha onwards, however, no significant surplus yields were demonstrated. The Gourmandine variety produced significantly higher gross- and marketable yields than Jelly and Laura. The higher the N supply, the lower the starch content of the tubers. Tubers from plants fertilised with N tended to exhibit a slightly higher brushing susceptibility than those from the non-fertilised treatment. Crisps made from the tubers of non-fertilised plants were slightly lighter in crisp colour than those of the tubers of the fertilised plants. The Gourmandine, Jelly and Laura varieties produce high marketable yields at average N-application levels of 100 to 120 kg N/ha. These trials confirm the significant influence of the weather over the year as well as the site conditions on potato yields.

Key words: potato, N fertilisation, field experiments, storability, crisp colour.

- Van Loon C. D., 1994. N-Düngung von Kartoffeln – Erfahrungen aus den Niederlanden. *Kartoffelbau* **45** (2), 58–60.
- Vos J., 1997. The nitrogen response of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the field: nitrogen uptake and yield, harvest index and nitrogen concentration. *Potato Research* **40**, 237–48.
- Vos J. & MacKerron D.K.L., 2000. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production. In: Haverkort A. J. and MacKerron (eds). Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen, The Netherlands, p 15–33.
- Walther U., Schubiger F. X. & Jäggi F., 1996. N-Aufnahme durch Kartoffeln und N_{min} -Gehalte des Bodens. *Agrarforschung* **3** (2), 61–64.
- Walther U., Maag W., 1990. Ertrag und Qualität von Kartoffeln in Abhängigkeit des N_{min} -Gehaltes des Bodens sowie des Zeitpunktes und der Höhe der Stickstoffdüngung. I. Qualität der Knollen. *Landwirtschaft Schweiz* **3** (10), 567–575.
- Walther U., 1990. Ertrag und Qualität von Kartoffeln in Abhängigkeit des N_{min} -Gehaltes des Bodens sowie des Zeitpunktes und der Höhe der Stickstoffdüngung. I. N_{min} -Gehalte des Bodens und Ertrag. *Landwirtschaft Schweiz* **3** (6), 323–30.