Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Directeur: Paul Steffen • www.art.admin.ch

Effets d'une fertilisation suboptimale en grandes cultures

R. FLISCH, R. M. HAUSHERR et E. BRACK, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

E-mail: rene.flisch@art.admin.ch
Tél. (+41) 44 37 77 111.

Résumé

Des rendements satisfaisants et une qualité irréprochable des produits ne peuvent être obtenus qu'avec un approvisionnement du sol en éléments fertilisants suffisant et équilibré. L'essai de démonstration, réalisé depuis 1989 à la Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, a montré d'une part l'efficacité des différents engrais (lisier, fumier et engrais minéral), et d'autre part les conséquences d'une fertilisation déséquilibrée. Aucune différence n'a été observée entre les parcelles fertilisées avec du lisier ou des engrais minéraux en quantités adaptées aux besoins des cultures. Par contre, une application annuelle de fumier exclusivement (250 dt/ha) entraîne des pertes de rendement et de qualité en raison de l'efficacité insuffisante de l'azote et de la faible teneur en potassium. Le manque d'un seul élément nutritif (N, P ou K) dans les variantes minérales altère le rendement, la teneur en éléments nutritifs des produits de récolte et le sol après peu d'années déjà; en outre, toutes les cultures de la rotation ont présenté des symptômes de carence.

Introduction

La plante puise ses éléments nutritifs dans le sol. Par conséquent, la croissance de la plante soustrait au sol une certaine quantité d'éléments nutritifs indispensables aux végétaux. Les réserves du sol en éléments nutritifs et leur disponibilité varient suivant le type de sol, le climat, les conditions météorologiques et le mode d'exploitation. Une fumure adaptée aux besoins des plantes permet d'équilibrer le bilan des éléments nutritifs et d'optimiser la production végétale, sans pour autant épuiser les réserves du sol ou les augmenter sans nécessité. Cette pratique permet de minimiser les impacts environnementaux que la fertilisation engendre inévitablement. Selon la «Loi du minimum» (fig.1), si les éléments nutritifs essentiels – azote (N), phosphore (P) et potassium (K) – manquent, tôt ou tard les récoltes subissent des pertes de rendement et de qualité (Finck, 1992).

L'efficience de la valorisation de N, P et K par les plantes n'est pas la même avec les engrais minéraux et les engrais de ferme. Tandis qu'on estime que la valorisation du P et du K est semblable à moyen terme dans les engrais de ferme et les engrais minéraux, la valorisation de l'azote est généralement beaucoup plus réduite dans les engrais de ferme.

Les objectifs principaux de l'essai de démonstration réalisé dès 1989 à la station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART étaient les suivants:

- montrer les conséquences d'une fertilisation suboptimale en N, P et K dans différentes cultures;
- comparer une fumure optimale à base d'engrais minéraux avec les apports de fumier ou de lisier usuels dans la pratique sans fumure minérale de compensation;

Fig. 1. Loi du minimum de Justus von Liebig (1855) ou loi des facteurs limitants: «Tout comme ce tonneau ne peut pas être entièrement rempli parce que les douves sont de taille inégale, les plantes ne peuvent pas non plus donner de pleins rendements lorsqu'un facteur de croissance, comme le potassium par exemple, fait défaut.»

- mettre en évidence les symptômes de carence sur le terrain en cas de manque d'un des éléments fertilisants essentiels, N, P ou K.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'essai a été effectué sur la surface agricole utile d'ART à Zurich, à une altitude de 443 m. La moyenne des précipitations annuelles sur plusieurs années est de 1042 mm, et la moyenne des températures annuelles sur plusieurs années de 8,5 °C. Le terrain d'essai est légèrement en pente

Tableau 1. Propriétés chimiques et approvisionnement du sol en éléments nutritifs (de 0 à 20 cm de profondeur) au début de l'essai.

pH (H_2O):	7,2 neutre
$CaCO_3$ (%):	2,1 légèrement calcaire
Humus (%):	3,1 faiblement humifière
Indice P (CO_2):	6,5 suffisant
Indice K (CO_2):	1,3 suffisant
Indice Mg ($CaCl_2$):	15,0 riche

vers le sud-est et se compose essentiellement d'un sol brun profond, peu gleyeux et peu pierreux. La couche superficielle du sol (de 0 à 20 cm) présente une teneur en humus de 2,5 à 3% et une teneur en argile de 20 à 25%, ce qui correspond à un sol limoneux faiblement humifère. Ce type de sol est répandu dans les zones de grandes cultures du Plateau suisse. Au début de l'essai, le site était suffisamment approvisionné en éléments nutritifs (tabl.1).

Structure de l'essai et fumure

Pendant les deux années qui ont précédé le début de l'essai (1987 et 1988), la surface, initialement utilisée comme prairie permanente, a été consacrée à la même culture et n'a pas été fertilisée. En 1989, la surface d'essai a été divisée en sept bandes culturales (assolement sur sept ans) dans le sens du travail et en huit bandes dans le sens transversal, chacune d'elles correspondant à un procédé de fumure, ce qui donne donc 56 petites parcelles de 40 m^2 (8 × 5 m), sans répétitions.
Le travail du sol dépendait des cultures: il était effectué avec la charrue, la herse, la fraise et la sarcleuse, indépendamment de la variante de fumure. Les mesures de protection phytosanitaire ont été choisies de façon à minimiser l'influence des maladies et des ravageurs et d'éviter les interactions avec les procédés de fumure. Après la récolte, tous les résidus végétaux ont été éliminés de la parcelle.
Afin d'avoir le spectre de cultures le plus large possible avec des exigences variées en éléments nutritifs et des réactions différentes aux carences, l'assolement suivant a été choisi:
blé de printemps (BP) - betteraves sucrières (BS) - maïs-grains (MG) - pommes de terre (PdT) - orge d'automne (OA) - prairie temporaire 1re année d'exploitation (PTI) - prairie temporaire 2e année d'exploitation (PTII).
Les huit procédés de fumure sont décrits dans le tableau 2.
La fumure azotée minérale était adaptée aux besoins de la culture après correction selon la norme de fumure et la méthode N_{min} (Ryser *et al.*, 2001). Dans le cas du procédé «Lisier», la quantité de lisier a été déterminée de façon à ce que l'apport de la fraction minérale de l'azote corresponde approximativement à celui du procédé «NPK». Le procédé «Lisier» comportait environ 90% de la quantité d'azote minéral (N_{min}) du procédé «NPK», tandis que le procédé «Fumier» n'en comportait que 10%, sachant que l'azote contenu dans le fumier se présente essentiellement sous forme organique (tabl. 3). Dans le lisier, les liaisons azotées se présentaient à 50% sous forme minérale et à 50% sous forme organique.
Les apports en phosphate et en potassium du procédé «NPK» ont été calculés d'après le besoin des cultures exigeantes de l'assolement, afin d'éviter un mauvais approvisionnement du sol. Les deux procédés à base d'engrais de ferme n'incluaient aucune fumure minérale de compensation (tabl. 3).

Tableau 3. Apport en éléments nutritifs (kg/ha): somme de quatorze ans (1989 à 2002), soit deux cycles d'assolement.

Procédé de fumure	P_2O_5	K_2O	Mg	CaO	Matière organique	N_{min}	N_{org}	N_{tot}
Sans fumure	0	0	0	0	0	0	0	0
PK	1634	4917	0	0	0	0	0	0
NK	0	4917	0	0	0	1590	0	1590
NP	1628	0	0	0	0	1590	0	1590
Fumier	933	1469	294	1533	47 268	156	1334	1409
Lisier (lisier de bovins)	969	4288	440	1485	40 189	1416	1258	2674
NPK	1634	4917	0	0	0	1590	0	1590
NPK+chaux	2175*	4917	437	25 904	7204	1590	0	1590

*1991-2002: apport en P_2O_5 supérieur par rapport au procédé «NPK» à cause de la teneur en P de la chaux d'Aarberg.

Analyses végétales, analyses de sol et d'engrais de ferme

Les analyses de sol ont été effectuées selon les méthodes de référence suisses des stations de recherche Reckenholz-Tänikon ART et Changins-Wädenswil ACW. Pour déterminer le phosphore et le potassium, l'extraction a été réalisée avec de l'eau saturée en CO_2. Le magnésium a été extrait avec du $CaCl_2$.
Les échantillons végétaux et les prélèvements d'engrais de ferme ont été analysés pour déterminer leur teneur totale en éléments nutritifs. Dans le cas des engrais de ferme, les teneurs en nitrates et en ammonium ont également été déterminées.

Tableau 2. Procédés de fumure et cultures de l'assolement sur sept ans mis en place dans l'essai de démonstration.

Procédé de fumure	Principaux éléments nutritifs épandus[1]		
	N	P	K
Sans fumure	0	0	0
PK (minéral)	0	norme	norme
NK (minéral)	selon N_{min}	0	norme
NP (minéral)	selon N_{min}	Norme	0
Fumier 250 dt/ha	quantité dans le fumier	quantité dans le fumier	quantité dans le fumier
Lisier (lisier de bovins)	quantité dans le lisier	quantité dans le lisier	quantité dans le lisier
NPK (minéral)	selon N_{min}	norme	norme
NPK+chaux (minéral)	selon N_{min}	norme	norme

[1]Selon N_{min}: Besoin des cultures déterminé selon la méthode N_{min}.
Norme: Selon les analyses de sol et le prélèvement des cultures exigeantes.

Résultats et discussion

Influence d'une fumure déséquilibrée sur les rendements

Avec les procédés de fumure «NPK», «NPK+chaux» et «lisier», les cultures ont obtenu les mêmes rendements pendant les deux cycles d'assolement, à l'exception des pommes de terre (tabl. 4). Avec le procédé «NPK+chaux», le rendement des pommes de terre était infé-

Tableau 4. Rendement annuel moyen du premier et du deuxième cycle d'assolement en dt de matière sèche, respectivement en matière fraîche par ha et par an.

Procédé de fumure	Blé de printemps		Betteraves sucrières[2]		Maïs-grains		Pommes de terre[2]		Orge d'automne		Prairie temporaire I[3]		Prairie temporaire II[3]	
	CA1[1]	CA2	CA1	CA2	CA1	CA2	CA1	CA2	CA1	CA2	CA1	CA2	CA1	CA2
Sans fumure	12	18	592	420	67	69	99	89	32	30	100	101	95	80
PK	28	32	772	807	70	79	277	261	39	28	119	127	119	108
NK	22	31	567	338	83	91	293	347	42	45	136	137	125	118
NP	11	16	693	603	69	66	118	97	38	41	123	124	111	90
Fumier	21	30	715	785	79	85	224	177	42	39	118	129	97	102
Lisier	30	41	844	941	85	102	379	405	50	53	122	142	113	122
NPK	29	42	850	929	90	109	440	422	52	55	130	151	112	120
NPK+chaux	28	42	840	970	93	107	358	351	50	53	135	160	122	122

[1]CA1: cycle d'assolement 1 (moyenne de 1989 à 1995). CA2: cycle d'assolement 2 (moyenne de 1996 à 2002).
[2]Matière fraîche.
[3]Prairie temporaire SM 330 durant la première et la seconde année d'exploitation principale, exploitation intensive, quatre coupes.

rieur de 17 à 19% à celui obtenu avec les procédés «NPK» et «Lisier». Cette différence est peut-être due à la hausse du pH du sol à 8 suite au chaulage, ce qui dépasse nettement le seuil optimal pour les pommes de terre.

Dans le procédé «sans fumure», les cultures peu gourmandes en éléments nutritifs ont pu maintenir, dans le second cycle d'assolement, les rendements obtenus dans le premier cycle. Par contre, les rendements des betteraves sucrières (-29%) et des pommes de terre (-10%), ainsi que ceux de la prairie temporaire en deuxième année (-16%) ont chuté lors du deuxième cycle d'assolement (tabl. 4).

Avec le procédé «Fumier», toutes les cultures, à l'exception des pommes de terre, ont atteint des rendements similaires à ceux obtenus avec le procédé «PK»; cela indique que l'azote organique contenu dans le fumier n'a pratiquement aucune influence sur les rendements. Les pommes de terre, exigeantes en potassium, n'ont réalisé que 68 à 81% du rendement obtenu avec le procédé «PK», car le fumier n'a pas apporté suffisamment de potassium aux plants de pommes de terre (tabl. 3). En général, les cultures fertilisées avec du fumier ont atteint 75 à 85% du rendement obtenu avec le procédé «NPK».

Les betteraves sucrières, qui au début de leur croissance dépendent largement du phosphore que leur fournit le sol (petites semences), ont obtenu leur rendement le plus faible avec le procédé «NK» dans les deux cycles d'assolement. La baisse de rendement était encore plus marquée dans le deuxième cycle d'assolement, car il présentait la plus faible densité de peuplement (nombre de plantes par m^2) de tous les procédés de fumure. Le faible niveau de fertilité du sol en P, malgré un apport suffisant en autres éléments nutritifs, a entraîné le dépérissement de nombreuses plantes après la levée (approvisionnement déséquilibré en éléments nutritifs). Les pommes de terre ont réagi de manière très sensible à un apport réduit en K («procédé NP»). Les fanes sont mortes quatre à huit semaines avant la date prévue pour la récolte. Avec ce procédé également, le trèfle avait quasiment disparu de la prairie temporaire à partir de la deuxième année d'exploitation. Ces deux types de plantes ont un système racinaire qui se caractérise par une faible densité et une faible longueur des racines. L'enracinement dans le sol est donc plat et réduit, ce qui rend difficile l'absorption des éléments nutritifs. Les sols ayant un niveau de fertilité considéré comme «moyen» à «pauvre» ne fournissent pas assez d'éléments nutritifs à ce type de plantes.

Les rendements des procédés «NPK», «NPK+chaux» et «Lisier», qui sont plus élevés dans le deuxième cycle d'assolement que dans le premier, s'expliquent sans doute en partie par l'emploi de nouvelles variétés à rendements supérieurs. Par contre, pour les pommes de terre, on a continué à employer la va-

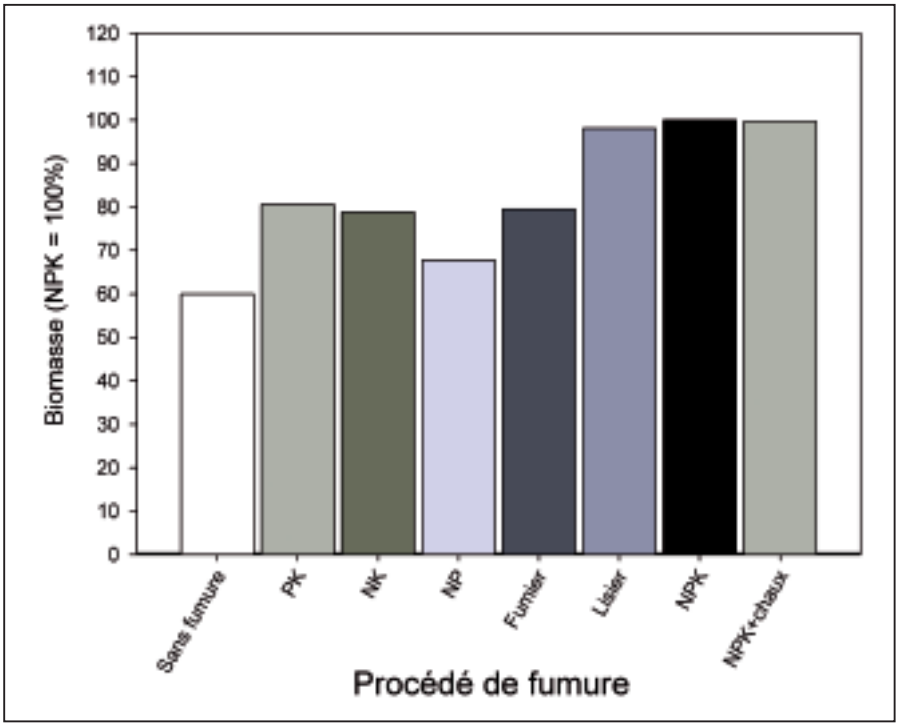

Fig. 2. Production de biomasse avec les procédés de fumure de 1989 à 2002; procédé NPK = 100%, correspond à 1967 dt MS/ha ou à 140 dt MS/ha/an).

riété Désirée et pour les prairies temporaires, c'est généralement le mélange standard MS 330 qui a été mis en place. La prairie temporaire a donné un rendement plus faible durant la deuxième année d'exploitation. Ce phénomène est dû notamment à la substitution du trèfle violet par le trèfle blanc au rendement plus bas, respectivement le dactyle aggloméré par le ray-grass anglais.
Sur l'ensemble des quatorze ans, les procédés de fumure «NPK», «NPK +chaux» et «Lisier» ont produit le plus de biomasse superficielle aérienne et les procédés sans fumure potassique («NP» et «sans fumure») en ont produit le moins (fig. 2).

Tableau 5. Prélèvement et bilan des éléments nutritifs pour les différents procédés de fumure (somme de 1989 à 2002).

Procédé	Azote (N)		Phosphore (P_2O_5)		Potassium (K_2O)	
	Prélèvement	Bilan	Prélèvement	Bilan	Prélèvement	Bilan
Procédé de fumure	1775	**-1775**	545	**-545**	1565	**-1565**
PK	2245	**-2245**	860	774	3200	1717
NK	2435	-844	651	**-651**	3216	1702
NP	2193	-602	771	857	1683	**-1683**
Fumier	2150	-740	853	80	2510	-1041
Lisier	2603	71	1029	-60	3902	386
NPK	2796	-1205	1074	560	3979	938
NPK+chaux	2768	-1177	1071	1104	3818	1099

Bilan des éléments nutritifs

Dans les procédés où un élément nutritif faisait défaut, les prélèvements de cet élément étaient nettement inférieurs à ceux du procédé «NPK» (tabl. 5). Les quantités d'éléments nutritifs assimilables par les plantes fournies par le sol étaient importantes mais insuffisantes. Par conséquent, les rendements étaient inférieurs et/ou les produits de récolte affichaient des teneurs réduites en éléments nutritifs. Le bilan des éléments nutritifs dans les procédés utilisant une fumure minérale est positif, parce que la fertilisation est adaptée aux cultures qui en ont le plus besoin dans l'assolement.
Le procédé «Lisier», qui présente un apport en P et en K légèrement inférieur au procédé «NPK», affiche un bilan plus ou moins équilibré. Le bilan du K est négatif dans le procédé «Fumier» bien que le niveau de rendement soit inférieur à celui du procédé «Lisier».

Fumure et réaction du sol

Le pH du sol ne s'est pas sensiblement modifié selon le procédé appliqué, à l'exception du procédé «NPK+chaux», où le pH a passé de 7,2 à 8,0. Tandis qu'on ne peut observer aucun changement sinon une tendance à la baisse dans les variantes où la fumure n'est pas optimale, les valeurs des procédés «Lisier» et «NPK» sont restées pratiquement inchangées. La teneur en humus a diminué dans tous les procédés de façon plus ou moins marquée. La cause en est la suivante: la parcelle d'essai a été exploitée comme prairie permanente jusqu'en 1986. Lors d'une mise en assolement, il est fréquent d'observer une légère baisse de la teneur en humus. La baisse la plus importante (0,3 à 0,4%) a été enregistrée avec les variantes de fumure minérale déséquilibrée. Dans ces variantes, la quantité de matière organique restant sur la parcelle, comme les racines ou les chaumes, est plus réduite suite aux baisses de rendement, et la fumure n'apporte pas de matière organique.
L'évolution de l'indice P reflète la fumure appliquée et le prélèvement d'éléments nutritifs des produits de la récolte, soit le bilan des éléments nutritifs. En cas d'absence d'apport en P, les indices P ont baissé déjà au bout de cinq ans, pour atteindre le niveau de fertilité A, considéré comme celui du sous-approvisionnement selon les principes des Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages (Ryser *et al.*, 2001). La pertinence de ce classement est confirmée par la chute des rendements et par les symptômes de carence qui apparaissent régulièrement dans les cultures. L'apport complémentaire de P par la chaux d'Aarberg se traduit par un excédent de P dans le sol (niveau de fertilité D).
L'indice K a évolué de la même façon que l'indice P. Là aussi, avec les variantes de fumure sans potassium, la teneur du sol est passée dans une plage insuffisante en l'espace de quatre à cinq ans. Le bilan négatif de K dans le procédé «Fumier» a également entraîné une baisse de l'indice K, tandis qu'avec les autres procédés, la teneur du sol en potassium est restée inchangée ou a légèrement augmenté (fig. 3).

Fumure équilibrée et rendement

Au fil de ces années d'essai sur le terrain, les rendements les plus élevés ont été obtenus avec une fumure NPK minérale équilibrée et adaptée aux besoins des cultures. Deux à quatre apports de lisier par an, en quantité adaptée aux be-

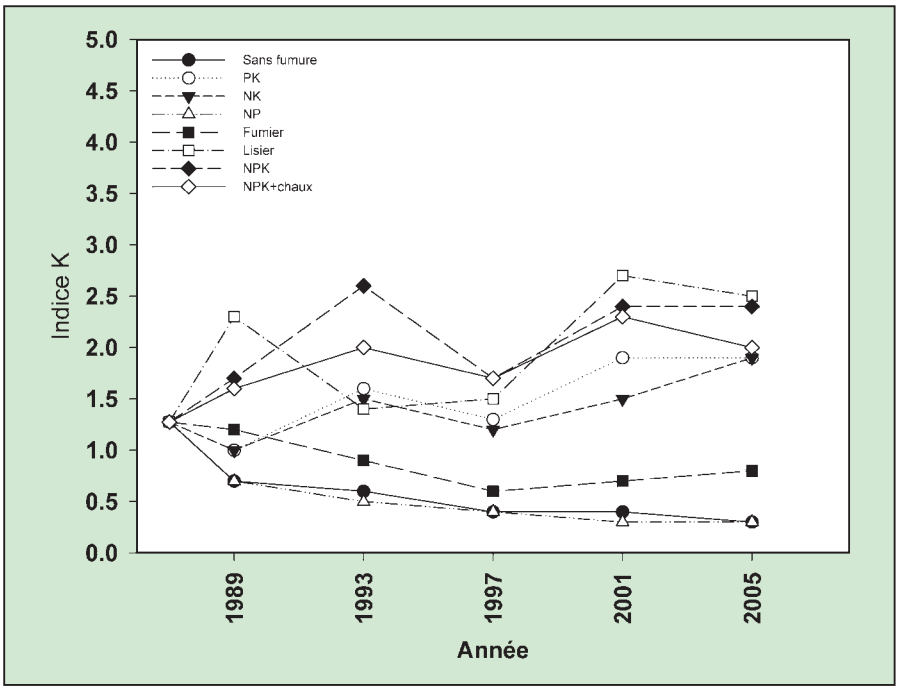

Fig. 3. Evolution de l'indice K dans le sol, de 1989 à 2005.

soins de la culture en azote, ont permis d'obtenir le même rendement qu'une fumure «NPK» minérale standard.
Pour le rendement et les teneurs en éléments nutritifs, le procédé de fumure «NPK+chaux» a permis d'obtenir des résultats similaires à ceux du procédé standard «NPK», à l'exception des pommes de terre. Celles-ci ont accusé une baisse de rendements de 15 à 20% et la part des petits tubercules (diamètre < 42 mm) a augmenté de 14%.
Avec le procédé «Sans fumure», dans les conditions du site d'essai et avec l'assolement choisi, il est possible, à moyen terme, de réaliser environ 50% du rendement obtenu avec le procédé de fumure minérale standard «NPK». Si, durant les premières années, l'azote était surtout le facteur limitant, au bout de quelque temps, la baisse de la teneur du sol en P et en K a également eu des répercussions négatives.
Avec un apport annuel de fumier de 25 t par ha, l'efficacité insuffisante de l'azote et le faible apport en potassium ont pénalisé les rendements, ce qui s'est fait sentir très largement dans les cultures de pommes de terre exigeantes en potassium. La moyenne de toutes les cultures de cet assolement montre que les rendements du procédé «Fumier» représentent environ 80% du procédé «NPK». Les procédés «PK» et «NK» ont eux aussi donné lieu à des pertes de rendements similaires. L'absence d'apport en potassium dans le procédé «NP» a conduit à un recul encore plus marqué des rendements.

L'azote s'est avéré le facteur le plus rapidement limitant pour les rendements; toutefois, des symptômes de carence en P et/ou en K sont apparus dans les procédés de fumure suboptimale «NK» et «NP», ainsi que dans le procédé «Fumier», dès la première période d'assolement, notamment dans les cultures exigeantes en éléments fertilisants, comme les betteraves sucrières, les pommes de terre et les prairies temporaires.

Réserves du sol en éléments nutritifs

Le procédé de fumure «NPK+chaux» a provoqué la réaction du sol la plus marquée: le pH a augmenté d'une unité, passant de 7,2 à 8,0, et l'indice P a augmenté considérablement (niveau de fertilité D) suite à l'augmentation de l'apport en P par épandage de chaux d'Aarberg (teneur d'environ 1,1% de P_2O_5).
Les procédés de fumure minérale suboptimale ont entraîné la plus forte baisse de la teneur en humus. L'apport de matière organique grâce aux engrais de ferme a permis de maintenir plus ou moins la teneur du sol en humus, mais pas de l'augmenter.
Les différents procédés de fumure ainsi que les différents prélèvements d'éléments nutritifs par les cultures ont fortement influencé la teneur du sol en P et en K assimilables par les plantes. La méthode au CO_2 (extraction avec de l'eau saturée en CO_2) a permis de calculer les différences de teneurs de manière fiable. L'interprétation des résultats selon les «Données de base pour la fumure des grandes cultures et herbages» (Ryser *et al.*, 2001) reflète la réaction des plantes sur le terrain (fig. 4) et les bilans des éléments fertilisants. L'essai a permis de confirmer l'utilité des analyses de sol comme outil de calcul pour la fumure.

Fig. 4. Développement des cultures avec différentes fumures et apparition des symptômes de carence en cas de manque d'éléments nutritifs (de gauche à droite): croissance normale (NPK), carence en P (NK), en carence en K (NP). (Photos: René Flisch, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)

Conclusions

Dans le cadre d'un essai de terrain réalisé dans les conditions de production du Plateau suisse pendant deux rotations de sept ans, l'emploi de différents types d'engrais et de différentes quantités d'éléments nutritifs a permis de tirer les enseignements suivants:

- L'effet de l'azote sous forme d'ammonium contenu dans le lisier est comparable à celui de l'azote des engrais minéraux. La part organique de l'azote du lisier et du fumier n'a eu pratiquement aucune incidence sur les rendements.
- Le phosphore et le potassium contenus dans les engrais de ferme agissent de la même manière que les éléments nutritifs présents dans les engrais minéraux et peuvent être comptés à 100% dans le plan de fumure.
- Le manque de phosphore ou de potassium se fait plus rapidement sentir dans les cultures exigeantes comme les pommes de terre, les betteraves sucrières ou les prairies temporaires et se traduit par des pertes de rendement et de qualité nettement plus importantes que dans les cultures moins exigeantes (p. ex. les céréales). Dans les prairies temporaires, le manque de potassium conduit à une diminution de la proportion de trèfle dans le gazon. Le sous-approvisionnement en P a eu un impact notamment sur la croissance des betteraves sucrières qui ne sont pas mycorhisées.
- L'effet de la fumure sur la quantité d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes dans le sol peut être déterminé de manière fiable grâce aux analyses de sol. L'interprétation des résultats des analyses de sol selon les DBF2001 correspond aux bilans des éléments nutritifs et à la réaction des plantes. Les agriculteurs disposent donc d'un outil solide leur permettant de quantifier les besoins en fumure.

Bibliographie

Agroscope FAL, FAW & RAC, 2006. Schweizerische Referenzmethoden der Eidg. landw. Forschungsanstalten, Band 1.

Bergmann W., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Dritte erweiterte Auflage, Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart, 835 p.

Finck A., 1992. Dünger und Düngung – Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen; zweite, neubearbeitete Auflage. VCH Weinheim; New York; Basel; Cambridge, 488 p.

von Liebig J., 1855. Gesetz des Minimums, Liebig-Museum Gießen, http://www.liebig-museum.de/Rundgang/05S.html [16.7.2007].

Ryser J.-P., Walther U. & Flisch R., 2001. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages, *Revue suisse Agric.* **33** (3).

Zusammenfassung

Auswirkungen suboptimaler Düngung auf Ackerkulturen

Eine ausreichende und ausgeglichene Nährstoffversorgung des Bodens ist Voraussetzung für die Erzielung guter Erträge und einwandfreier Qualität der Ernteprodukte. Im 1989 an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART angelegte Demonstrationsversuch wurde einerseits die Wirkung verschiedener Dünger wie Gülle, Mist und Mineraldünger und anderseits die Auswirkungen einer unausgewogenen Düngung aufgezeigt. Während bei einer üblichen, dem Bedarf der Kulturen angepassten Düngung mit Gülle oder Mineraldüngern keine Unterschiede beobachtet werden konnten, führte der alleinige Einsatz von jährlich 250 Dezitonnen Stallmist pro Hektare aufgrund der ungenügenden Stickstoffwirkung und des tiefen Kaligehaltes des Mistes zu Ertrags- und Qualitätseinbussen. Das Weglassen von jeweils einem Nährstoff (Stickstoff, Phosphor oder Kalium) bei den mineralischen Varianten wirkte sich schon nach wenigen Jahren negativ auf den Ertrag sowie auf die Nährstoffgehalte der Ernteprodukte und des Bodens aus. Zudem konnten bei allen Kulturen der 7-jährigen Fruchtfolge auf dem Feld Nährstoff-Mangelerscheinungen beobachtet werden.

Summary

Effects of suboptimal fertilization on arable crops

The production of high yields and adequate product quality requires a sufficient and balanced nutrients supply of the soil. The field trial, conducted since 1989 for purpose of demonstration, shows both the impact of different fertilizer forms (organic and mineral fertilizer) and the effects of an unbalanced fertilization. No differences in yield and product quality have been observed between the treatments «cattle slurry» and «mineral fertilizer», both well adapted to the nutrient demand of the crops. But the annual application of 250 dt/ha of farmyard manure decreased crop yield and product quality, due to the low availability of nitrogen to the crops and the low content of potash. The lack of a single nutrient element (N, P or K) in the mineral treatments affected crop yield, nutrient contents in crops and soil negatively already after few years. All crops have revealed deficiency symptoms of N, P or K in these treatments.

Key words: plant nutrition, nutrient deficiency, soil test.

Riassunto

Effetti della concimazione non ottimale nella campicoltura

Un approvvigionamento del suolo in sostanze nutritive sufficiente ed equilibrato garantisce rendimenti elevati e raccolti di qualità ineccepibile. Il test dimostrativo condotto nel 1989 presso la Stazione di ricerca Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ha rivelato da un lato l'efficacia dei vari concimi (liquame, letame e concimi minerali) e dall'altro le conseguenze di una concimazione non equilibrata. Non si sono osservate differenze tra terreni fertilizzati con liquame o concimi minerali in quantità adeguate al fabbisogno delle colture. Tuttavia, è emerso che l'utilizzazione esclusiva di 250 quintali di letame per ettaro all'anno provoca perdite qualitative e di rendimento riconducibili all'efficacia insufficiente dell'azoto e al basso tenore di potassio. L'assenza di una sostanza nutritiva (N, P o K) nelle varianti minerali ha conseguenze negative sul rendimento e sul tenore di nutrienti nei prodotti campicoli e nel suolo già dopo pochi anni. In tutti i sistemi di rotazione delle colture ogni sette anni si è inoltre osservata una carenza in sostanze nutritive.