

Comparaison entre production intégrée et production biologique – essai de Burgrain

Résultats de l'essai sur les systèmes de production à Burgrain de 1991 à 2008

Juillet 2010

Auteurs

Urs Zihlmann, Werner Jossi, Caroline Scherrer, Heinz Krebs, Hans-Rudolf Oberholzer, Gregor Albisser Vögeli, Thomas Nemecek, Walter Richner, Ernst Brack, Lucie Gunst, Jürg Hiltbrunner, Marcel van der Heijden, Peter Weisskopf, David Dubois, Fritz Oehl, ART
urs.zihlmann@art.admin.ch

Ruedi Tschachtli, Centre de formation professionnelle Nature et Nutrition BBZN, Schüpfheim

Andreas Nussbaumer, Exploitation agricole Burgrain, Alberswil

Impressum

Edition:
Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, Traduction Regula Wolz, ART

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an.
Abonnement annuel: Fr. 60.–.
Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7576



Fig. 1: Le essais comparatifs avec différents systèmes de production, comme ceux mis en place sur le site de Burgrain de 1991 à 2008, s'intègrent très bien dans la formation professionnelle et continue des agricultrices et des agriculteurs (Photo: Urs Zihlmann, ART).

L'essai sur les systèmes de production mis en place à Burgrain en 1991 dans des conditions proches de la pratique avait pour but d'étudier l'impact d'un apport réduit en éléments nutritifs et d'une protection phytosanitaire extensive dans les grandes cultures en quantifiant les performances environnementales et les rendements. Il s'agissait également d'évaluer la rentabilité de trois systèmes de production d'intensités différentes. Pour ce faire, les parcelles de l'exploitation mixte de Burgrain à Alberswil LU ont été divisées en trois bandes de 0,65 ha chacune et cultivées dans le cadre d'une rotation de six ans, grandes cultures – prairies temporaires. Trois systèmes de production ont été pratiqués: **Plintensif** (intensité d'exploitation locale habituelle, 2,3 UGBF/ha, PER), **Plextensif** (protection phytosanitaire réduite et apport réduit en engrais azotés, culture

Extensio, PER) et biologique (1,7 UGBF/ha, selon les directives de l'agriculture biologique). Les principes de base de la production végétale ayant été respectés, une production de qualité a pu être obtenue autant dans les grandes cultures qu'en production fourragère, et ceci également avec les méthodes biologique ou extensive; toutefois, certaines années se sont caractérisées par une mauvaise formation du grain dans les céréales fourragères. La bonne qualité du sol sur le site d'essai et le savoir-faire des exploitants ont permis de réaliser de bons rendements Extensio et de très bons rendements Bio. Ce sont les céréales fourragères et le colza qui ont accusé les déficits de rendement les plus lourds par rapport au système **Plintensif** – jusqu'à 40 pour cent certaines années. Grâce aux paiements directs actuels pour l'agriculture biologique et aux prix plus élevés des



produits Bio, les marges brutes des grandes cultures Bio étaient nettement meilleures que celles des cultures Pl intensives et extensives. Toutefois, la charge de travail était plus élevée dans la production Bio, notamment pour la lutte contre les rumex dans les prairies temporaires. Le semis direct des prairies temporaires dans le système Bio a permis de réduire considérablement cette charge de travail. Grâce aux bons rendements, l'analyse du cycle de vie des grandes cultures Bio et Extensio était également meilleure que celle du système Pl intensif. L'intensité du travail du sol et les apports d'engrais de ferme étant simi-

lares dans tous les systèmes, on n'a observé aucune différence de qualité du sol. Il faut souligner que la présente évaluation des systèmes de production ne prend pas en compte la situation de l'exploitation dans son ensemble. Avant de se décider pour ou contre un système de production donné, d'autres facteurs doivent également être pris en considération, dont les coûts de structure (p.ex. coûts fixes pour les machines, coûts des bâtiments), directives de production dans le domaine des cultures spéciales et de la production animale, main-d'œuvre disponible, préférences personnelles.

Problématique

Pratiquement toute la surface agricole utile de la Suisse est aujourd'hui (en 2009) exploitée selon les prestations écologiques requises (PER) exigées pour bénéficier des paiements directs fédéraux. Un dixième de cette surface est cultivée selon les règles de l'agriculture biologique. Qu'en est-il des rendements ainsi que des performances économiques et environnementales de ces modes de production? Quelles sont les répercussions d'une réduction de l'apport en éléments nutritifs et de la protection phytosanitaire dans les grandes cultures? La durabilité de l'exploitation s'en trouve-t-elle améliorée? La station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART et la centrale de vulgarisation agricole du canton de Lucerne ont mis en place dès 1991 un essai sur les systèmes de production à Burgrain afin de répondre à ces questions. Les essais réalisés sur une exploitation mixte à Alberswil LU se caractérisent par un mode d'exploitation proche de la pratique et par l'étude de trois systèmes de production d'intensités différentes, avec toutes leurs interactions et leurs effets longue durée. Grâce à la collaboration entre les différents groupes de recherche d'ART et les conseillers sur le terrain, ainsi qu'à l'important engagement des exploitants, l'essai, qui a duré 18 ans, a permis d'approfondir la connaissance des systèmes de production étudiés sur le plan de la production, de la qualité et d'autres paramètres sélectionnés relatifs à l'environnement et à la rentabilité. Ces dernières années, les travaux ont bénéficié du soutien généreux de la fondation Agrovision Burgrain et de la fondation Hauser. Depuis le 1.1.2009, l'ensemble du domaine est exploité selon les règles de l'agriculture biologique dans le cadre du projet «Burgrain Bioplus». C'est pourquoi l'essai sur les systèmes de production s'est achevé avec les récoltes 2008.

Exploitation Burgrain, Alberswil (canton de Lucerne)

Élevage de vaches laitières (exploitation de pâture), élevage porcin et engraissement de poulets; grandes cultures avec production de semences de céréales

Surface agricole utile	40,5 ha
Dont terres assolées (prairies temporaires comprises)	23,0 ha
Altitude	520 m
Précipitations annuelles moyennes	1100 mm
Température annuelle moyenne	8,5 °C

Description du site et de l'essai

L'essai sur les systèmes de production de Burgrain a eu lieu dans une exploitation mixte dont la structure est typique de la région de Suisse centrale (cf. encadré). Le site d'essai est caractérisé par un climat à précipitations abondantes. Sur les six parcelles d'essai, cinq se situent sur les anciens terrains alluviaux de la Wigger et la dernière – «Kastelen» – se trouve sur des dépôts morainiques sur un terrain légèrement en pente. Les sols profonds, mi-lourds et calcaires de la plaine alluviale (ancienne zone alluviale) présentent en moyenne 4 % d'humus et 22 % d'argile dans la couche arable. Le sous-sol est légèrement influencé par les eaux souterraines (remontée capillaire de l'eau). Ce sont des sols à bons rendements qui possèdent un fort potentiel naturel de minéralisation de l'azote. Le sol brun profond et

Tab. 1: Rotation de 1991 à 2008 dans l'essai sur les systèmes de production, Burgrain, Alberswil LU.

	Rotation 1991–2002	Rotation 2003–2008
1 ^{ère} année	Pommes de terre*	Maïs-ensilage
2 ^{ème} année	Blé d'automne **	Blé d'automne
3 ^{ème} année	Maïs-grains	Colza
4 ^{ème} année	Orge de printemps	Orge d'automne
5 ^{ème} année	Prairie temporaire	Prairie temporaire
6 ^{ème} année	Prairie temporaire	Prairie temporaire

* Couverture végétale avec de la moutarde jaunel/moutarde de Sarepta ou des navettes

** Puis culture dérobée hivernante à base de ray-grass, de trèfle violet et de trèfle d'Alexandrie (mélange standard 210)

Remarque

De 1991 à 2000, des relevés de rendement et de qualité ont été effectués sur six autres parcelles sur lesquelles la rotation était la suivante maïs-ensilage – avoine de printemps – orge d'automne – prairie temporaire – prairie temporaire – prairie temporaire. Des calculs de rentabilité ont également été réalisés. Les paramètres des cultures maïs-ensilage et orge d'automne figurant dans le présent rapport ART sont tirés de cette rotation. Les résultats des autres cultures ainsi que des grandes cultures qui n'ont été mises en place que de 1991 à 2002 (pommes de terre, maïs-grains et orge de printemps, cf. tab. 1) proviennent de la Schriftenreihe 52 de la FAL (Agroscope 2004).

Tab. 2: Caractéristiques des trois systèmes de production dans l'essai de Burgrain, Alberswil LU.

Système de production	Caractéristiques
Plintensif	Intensité d'exploitation locale habituelle, PER fournies Protection phytosanitaire importante et apport d'engrais élevé
Plextensif	PER fournies, forte importance de l'aspect écologique Réduction de la protection phytosanitaire et de l'apport d'engrais Production Extenso (y compris label PI-Suisse) de céréales et de colza
Bio: agriculture biologique à l'échelle parcellaire à partir de 1997 (de 1991–1996 système «Low Input» semblable à la production Bio)	Renoncement aux engrais minéraux et aux produits phytosanitaires chimiques de synthèse Exception («Low Input»): de 1991 à 1996 fongicides de contact de synthèse dans les cultures de pommes de terre et herbicide sélectif contre les germes de rumex dans les semis de prairies temporaires

PI = production intégrée

PER = prestations écologiques requises



Fig. 2: Lorsque la même culture (colza par exemple) est cultivée avec des intensités différentes sur une même parcelle, il est très facile de voir l'influence du mode d'exploitation à partir de l'évolution des plantes (Photo: Urs Zihlmann, ART).

légèrement acide de la parcelle «Kastelen» présente une teneur en humus de 2,6 % et en argile de 17 %, soit une composition semblable à de nombreuses terres assolées sur moraine et graviers sur le Plateau suisse.

Cette parcelle se distinguait généralement des parcelles de la plaine alluviale en ce qui concerne les mesures relatives au sol (p. ex. paramètres microbiologiques du sol). La rotation de six ans comportait quatre années de grandes cultures et deux années de prairies temporaires (tab. 1). A partir de 2003, les pommes de terre ont été remplacées par du colza et l'orge de printemps par de l'orge d'automne. Pour la comparaison des systèmes de production (tab. 2), chacune des six parcelles a été subdivisée en trois bandes fixes d'environ 65 ares, répondant chacune aux règles d'un des trois modes de production (tab. 3; fig. 1). Des surfaces de référence homogènes et comparables d'environ 3 à 4 ares ont été définies sur chaque bande pour les besoins des analyses de sol.

La quantité totale d'engrais de ferme épandus a été échelonnée entre les différents systèmes de production. Les 1,7 unités gros bétail fumure en moyenne par hectare dans le système Bio reflètent la charge en bétail relativement élevée dans les exploitations biologiques de cette région (systèmes PI: env. 2,3 unités gros bétail fumure par hectare).

Dans le système *Plintensif*, le lisier a presque exclusivement été épandu dans les prairies temporaires; dans les systèmes

Plextensif et Bio, les grandes cultures ont reçu des apports de lisier réguliers.

De 1997 à 2008, le total des intrants d'azote rapidement disponibles dans les grandes cultures et les prairies temporaires représentait 78 % du système *Plintensif* dans le système *Plextensif*, et 54 % dans la production Bio (tab. 3). Le niveau de la fumure azotée dans le blé et l'orge était plus bas (valeurs N_{min} élevées, risques de verse).

De 1997 à 2008, on a pratiqué en moyenne quatre traitements phytosanitaires par grande culture et par an dans le système *Plintensif*. Dans le système *Plextensif*, le nombre de traitements était encore de deux à cause de la culture Extenso des céréales et du colza (renoncement aux fongicides, insecticides et régulateurs de croissance). Dans la production Bio, on enregistre 0,6 traitement du fait de l'utilisation de cuivre dans les pommes de terre. A cause du mildiou, ce sont les pommes de terre qui ont nécessité le plus gros apport de produits phytosanitaires.

Résultats des essais

Rendement et qualité des grandes cultures

Les différences entre les trois systèmes *Plintensif*, *Plextensif* et Bio en ce qui concerne la quantité et la forme des apports azotés, l'utilisation de produits phytosanitaires, ainsi que les différences de travail du sol pendant la troisième rotation (2003–2008) avaient un impact très net sur les rendements des grandes cultures.

Sur l'ensemble de la période d'essai de 1991 à 2008, les pertes de rendement moyennes du système *Plextensif* dans les quatre grandes cultures (maïs-ensilage, blé d'automne, colza et orge d'automne) représentaient 14,8 %, par rapport au système *Plintensif*, celles du système Bio 21,2 %. Les rendements des grandes cultures *Plintensif* correspondaient largement au niveau de rendement habituel des systèmes de production similaires dans la région (fig. 3). Les pertes de rendement des céréales d'automne (maladies, stockage) et du colza (mélièges du colza) dans les systèmes *Plextensif* et Bio étaient nettement plus importantes que celles du maïs-ensilage.

Plextensif, système aux rendements les plus stables

Afin de pouvoir se prononcer sur la stabilité des rendements dans les grandes cultures, on a calculé dans quelle mesure les rendements annuels des différentes grandes

Tab. 3: Mesures d'exploitation des trois systèmes de production de 1997 à 2008 dans l'essai de Burgrain, Alberswil LU.

	Plintensif	Plextensif	Bio
Travail du sol	Utilisation de la charrue (à partir de 2003 labour hors sillon), préparation intensive du lit de semence; semis de la prairie temporaire sans labour	Utilisation de la charrue jusqu'en 2002 (1997–2002 labour hors sillon), à partir de 2003 sans labour/semis sous litière (cultivateur, semis en bandes fraîsées, parfois semis direct), préparation plus extensive du lit de semence	Utilisation de la charrue (à partir de 1997 labour hors sillon), mise en place de la prairie temporaire parfois avec semis direct
Choix des variétés	Suivant les débouchés (production de semences de céréales)		Comme pour la PI, parfois avec des mélanges plus compétitifs pour prairies temporaires
Protection phytosanitaire			
Céréales	Herbicides, fongicides, régulateurs de croissance, insecticides rares	Culture Extenso, parfois dose réduite d'herbicides	Aucun auxiliaire, hersage, parfois sans lutte mécanique contre les adventices
Colza	Herbicides, fongicides, insecticides	Culture Extenso	Aucun auxiliaire, pas de lutte mécanique contre les adventices
Pommes de terre	Herbicides, fongicides, parfois insecticides, destruction chimique des fanes	Sarclage, fongicides selon PhytoPRE, défanage	Sarclage, emploi de cuivre max. 4 kg Cu/ha, défanage
Maïs	Herbicides sur toute la surface, pas de granulés	Traitement herbicide localisé, sarclage, à partir de 2003 semis en bandes fraîsées (parfois semis direct), pas de granulés	Sarclage (sarcleuse-étoile)
Prairie temporaire	Herbicides après le semis contre les germes de rumex, traitement chimique plante par plante	Herbicides après le semis contre les germes de rumex, traitement chimique plante par plante	Arrachage des rumex à la main
Stratégie de fumure			
	Lisier pour les prairies temporaires	Lisier pour le maïs, le colza, les prairies temporaires et parfois les céréales	Lisier pour les grandes cultures et les prairies temporaires
	Fumier pour les pommes de terre, le maïs et le colza	Fumier pour les pommes de terre, le maïs et le colza	Fumier pour les pommes de terre, le maïs et le colza
	Engrais minéraux azotés pour les grandes cultures	Compléments avec des engrais minéraux azotés pour les grandes cultures	Pas d'engrais minéraux
Azote rapidement disponible (en %), dont sous forme d'engrais minéraux azotés	148kg/ha et an (100 %) 68kg/ha et an	115kg/ha et an (78 %) 38kg/ha et an	80kg/ha et an (54 %) 0kg/ha et an

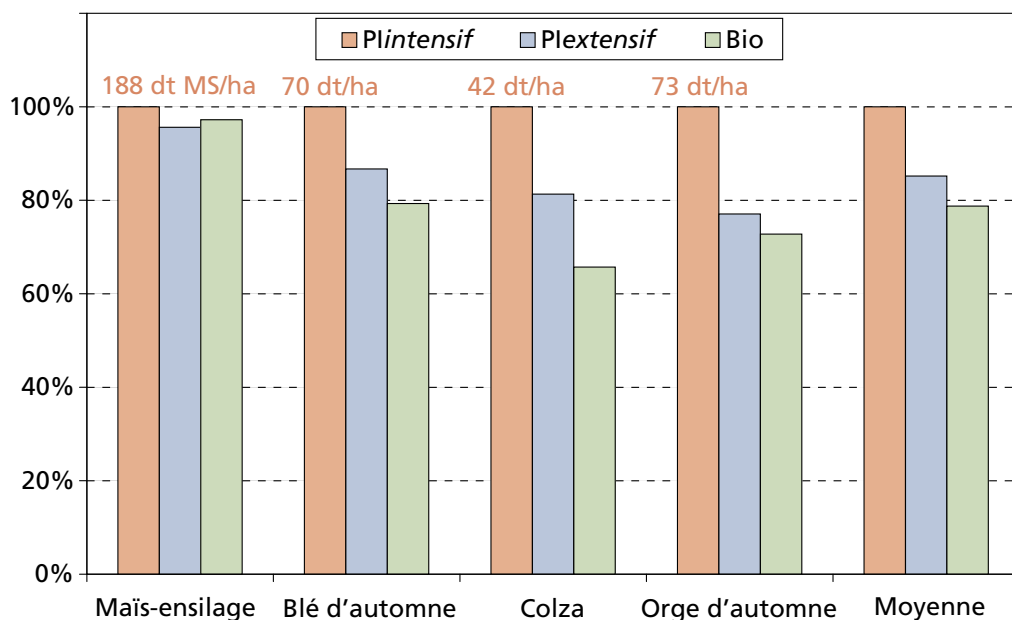


Fig. 3: Rendements moyens relatifs (Plintensif = 100 %, avec indications chiffrées du rendement) des grandes cultures dans les trois systèmes de production de 1991 à 2008 (colza 2003–2008).



Fig. 4: Mise en place de maïs avec semis en bandes fraîsées dans le système Plextensif après deux années de prairie temporaire. Le rendement moyen du système Plextensif de 2003 à 2008 était inférieur de 10 % à celui du système Plintensif avec labour (191 dt MS/ha). Le rendement moyen du système Bio avec labour et deux sarclages était 6 % en dessous (Photo: Bettina Nussbaumer, Burgrain).

cultures déviaient de la moyenne annuelle des rendements de cette culture sur l'ensemble de la période d'exploitation, ce, pour chacun des trois systèmes de production. Dans le système *Plextensif*, les rendements annuels se situent dans 70 % des cas dans une fourchette de plus ou moins 10 % par rapport à la moyenne annuelle des rendements. Dans le système *Bio*, 64 % des cas se situaient dans cette fourchette et 54 % dans le système *Plintensif*. Par conséquent, le système *Plextensif* avait des rendements plus réguliers que les systèmes *Plintensif* et *Bio*. Dans le système *Plextensif*, on n'a relevé des rendements 25 % supérieurs et 25 % inférieurs à la moyenne annuelle des rendements que dans 4 % des cas; ce pourcentage était de 9 % dans le système *Bio* et de 13 % dans le système *Plintensif*.

Maïs top dans tous les systèmes de production

Le niveau très élevé des rendements de maïs-ensilage dans tous les systèmes de production est frappant. Les conditions qui caractérisent le site de Burgrain – sols profonds, riches en éléments nutritifs, précipitations régulières et suffisantes, climat doux – sont favorables à la culture du maïs. Le système *Plintensif* a obtenu en moyenne un rendement de 188 dt de MS/ha pour le maïs-ensilage (moyenne 1991–2008, fig. 3). Par rapport au *Plintensif*, le *Plextensif* a accusé un déficit de rendement de 4,4 % seulement. Le rendement du système *Bio* ne se situait que 2,8 % en dessous du système *Plintensif* et dépassait donc celui du système *Plextensif*. La culture du maïs *Bio* s'est généralement déroulée sans problème. La sarcluse étoile utilisée a permis d'obtenir de bons résultats pour la régulation des adventices, avec généralement deux passages. Les problèmes de ray-grass d'Italie dans le maïs *Bio* ont disparu après modification de la rotation (à partir de 2003 culture précédente, prairie temporaire de deux ans MS 330 au lieu de la culture dérobée hivernante MS 210). L'apport en éléments nutritifs a été assuré sans problème avec les engrais de ferme (fumier et fumure de couverture à base de lisier épandu avec tuyaux souples). Le léger déficit de rendement du maïs *Plextensif* s'explique notamment par les fluctuations plus importantes des rendements durant la

troisième période de rotation (2003–2008) avec un travail du sol réduit (semis en bandes fraîsées ou semis direct; fig. 4). En effet, l'exploitation de la culture précédente (prairie temporaire) et l'épandage de fumier ont conduit à une importante formation d'ornières les années où les précipitations étaient fortes au printemps. Dans ces conditions, le semis sur bandes fraîsées et surtout le semis direct n'ont pas permis d'atteindre tout à fait le niveau de rendement obtenu avec le labour.

Rendements élevés du colza Bio

Durant les six années pendant lesquelles il a été cultivé (2003–2008), le colza a obtenu un rendement moyen de 42,4 dt/ha dans le système *Plintensif*. Du fait du renoncement aux insecticides et aux fongicides, le rendement du système *Plextensif* était en moyenne de 18,7 % inférieur, soit de 7,9 dt/ha. Ces pertes de rendement étaient essentiellement dues à l'infestation par le méligèthe du colza, principal ravageur de cette culture. La variété hybride utilisée, Talent, parvenait relativement bien à compenser les dégâts du ravageur, de sorte que des rendements d'au moins 28 dt/ha ont pu être atteints, même les années où l'infestation par le méligèthe du colza était très importante. L'infestation par la pourriture des tiges et du collet (Phoma; estimation de l'infestation des chaumes après la récolte) était toujours nettement plus forte dans les systèmes *Plextensif* et *Bio* que dans le système *Plintensif* et s'est traduite par des déficits de rendement supplémentaires pour cause de maturation précoce et de perte de grains. Dans le système *Plextensif*, le colza a été mis en place sans labour après le blé d'automne. En général, cette technique a donné de bons résultats, sauf la première année de culture du colza (2003), l'enfouissement insuffisant de la balle et des chaumes de blé ayant inhibé la germination du colza et entraîné des problèmes de développement. Comme le laps de temps disponible entre la récolte du blé et le semis de colza n'était pas suffisant certaines années sur le site de Burgrain pour enfouir correctement les chaumes de blé, les repousses de blé ont parfois dû être traitées avec un herbicide spécial dans le colza *Plextensif*. Les ren-

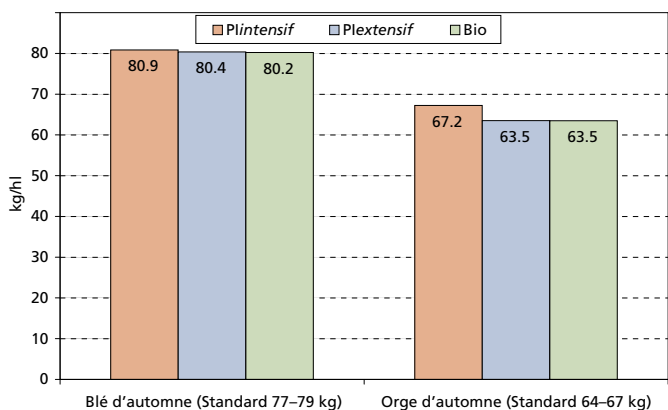


Fig. 5: Poids moyens à l'hectolitre (kg/ha) du blé d'automne et de l'orge d'automne dans les trois systèmes de production (1997–2008). Les valeurs supérieures ou inférieures aux valeurs standards entraînent des suppléments ou des réductions de prix.

dements du colza Bio fluctuaient largement entre 12,3 et 37,7 dt/ha (moyenne: 27,9 dt/ha). En moyenne, le rendement du colza Bio était inférieur de 34,3 % par rapport au colza Plintensif, soit 14,5 dt/ha. Par rapport aux céréales d'automne, la concurrence des adventices était nettement plus importante dans le colza à cause de la date de semis plus précoce. Les adventices – notamment ortie rouge et mouron des oiseaux – opposaient une forte concurrence au colza à l'automne et au printemps. Mais ces adventices mourraient en général avant la récolte du colza. Au printemps, le colza a besoin de beaucoup d'éléments nutritifs rapidement disponibles, notamment d'azote; dans la culture Bio, ces besoins n'ont souvent pu être que difficilement couverts par le seul apport de lisier (notamment à cause de la portance du sol dans la parcelle de colza). Pour compenser les pertes de plantes dues aux dégâts des ravageurs (limaces notamment), la quantité de semis a été augmentée d'environ 20 % dans le colza Bio par rapport au système Plintensif.

Production Extenso: rendements plus stables dans le blé d'automne que dans l'orge d'automne

La culture de céréales à Burgrain est marquée par une forte pression des maladies et par un potentiel élevé de minéralisation de l'azote dans les sols profonds et humides. Les déficits de rendement dans le système Plextensif (renoncement aux fongicides, aux insecticides et aux régulateurs de croissance, apports réduits en azote) par rapport au système Plintensif s'élevaient en moyenne à 9,3 dt/ha (-13,3 %) dans le blé d'automne et à 16,6 dt/ha (-22,9 %) dans l'orge d'automne. Les différences de rendement entre le système Plextensif et le système Bio étaient de 2,0 dt/ha pour le blé d'automne et de 3,1 dt/ha pour l'orge d'automne, ce qui est étonnamment peu. En raison de la bonne résistance aux maladies des variétés de blé d'automne utilisées (classe Top généralement), les déficits de rendement étaient nettement plus limités que pour l'orge d'automne. Les peuplements denses de blé Bio (rendement moyen 1991–2008: 58,6 dt/ha) sont généralement parvenus à bien refouler les adventices. Par conséquent, la concurrence exercée par les adventices est restée relativement réduite. Souvent, il a même été possible de

renoncer à la régulation mécanique des mauvaises herbes. La fertilisation moins importante dans le système Bio que dans le système Plextensif (certaines années, on a même renoncé à tout apport d'engrais [cf. fig. 13]) n'a pratiquement pas causé de pertes de rendement sur les sols de Burgrain riches en éléments nutritifs, avec un potentiel élevé de minéralisation de l'azote. Par conséquent, dans de telles conditions, l'emploi d'herbicides et d'engrais minéraux azotés, de toutes façons très limité à cause du risque de verse, n'a apporté que des rendements supplémentaires marginaux dans le système Plextensif par rapport au système Bio. La grande stabilité des rendements du blé d'automne Plextensif et Bio est remarquable et témoigne de la robustesse des variétés de blé d'automne sélectionnées en Suisse.

Le rendement de l'orge d'automne s'est considérablement accru durant la troisième période de rotation de 2003 à 2008 (rendement moyen Plintensif 85,9 dt/ha), sans doute grâce au précédent cultural (colza). La situation des parcelles dans la vallée de la Wigger et le site bien arrosé et relativement abrité du vent ont favorisé l'apparition des maladies fongiques (oïdium, rhynchosporiose, nécroses mouchetées). Dans les systèmes Plextensif et Bio (tous deux sans fongicide), ces maladies ont conduit à une maturation précoce et donc à des pertes de rendement significatives par rapport à l'orge d'automne Plintensif traitée, elle, aux fongicides. La fumure azotée plus importante dans le système Plextensif que dans le système Bio n'a eu que peu d'impact positif sur les rendements dans ces conditions. Au contraire, elle a parfois entraîné des problèmes de verse plus importants dans l'orge Extensio. Etant donné l'absence de véritables adventices problématiques, le renoncement à la lutte chimique contre les mauvaises herbes dans le système Bio n'a pratiquement pas eu non plus de conséquences négatives sur les rendements par rapport au système Plextensif.

L'intensité de culture influe sur le poids à l'hectolitre

Le poids à l'hectolitre donne des informations sur la formation des grains. C'est un facteur de qualité important dans la production céréalière. Il dépend en grande partie des variétés. Le site, les conditions météorologiques et l'intensité culturale ont également un impact sur le poids à l'hectolitre. Le poids moyen à l'hectolitre du blé d'automne (variétés 1997–2008: six fois Runal, deux fois Titlis, deux fois Siala,

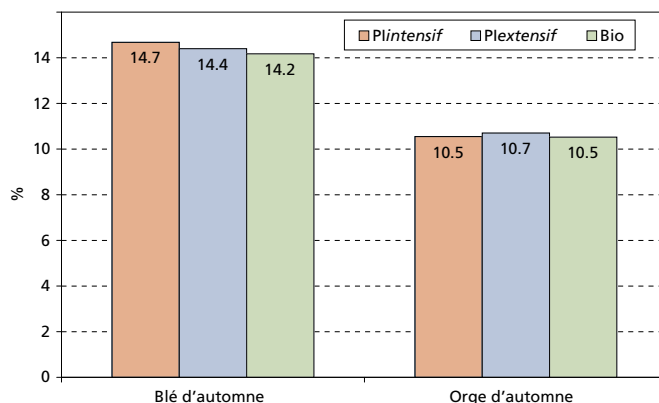


Fig. 6: Teneurs moyennes en protéines (%) du blé d'automne et de l'orge d'automne dans les trois systèmes de production (1997–2008).



Fig. 7: Les différents apports de lisier dilué – *Plintensif* 164 m³ par ha et par an, *Plextensif* 139 m³ et *Bio* 87 m³ – ont eu peu d'influence sur les rendements annuels élevés des prairies temporaires à base de trèfles sur ce site fourrager et fertile (systèmes *PI*, chacun 160 dt MS/ha, *Bio* 150 dt MS/ha; moyenne 2003–2008) (Photo: Ruedi Tschachtli, BBZN Schüpfheim).

une fois *Habicht* et une fois *Ludwig*) était supérieur à 80 kg, et les différences entre les systèmes de production étaient minimales: *Plintensif* 80,9 kg, *Plextensif* 80,4 kg, *Bio* 80,2 kg (fig. 5). Le fait que les pertes aient été minimales dans les systèmes *Plextensif* et *Bio* par rapport au système *Plintensif*, est sans doute dû à la bonne résistance à la verse et aux maladies des variétés mises en place. La variété et les conditions météorologiques ont généralement eu nettement plus d'impact sur le poids à l'hectolitre que les différences de mode d'exploitation des trois systèmes. Dans les sols de Burgrain avec un potentiel élevé de minéralisation de l'azote, l'apport d'azote minéral entre la levée et l'épiaison n'a eu que peu d'effet sur le poids à l'hectolitre.

Sur le site de Burgrain, où les précipitations sont importantes, le poids à l'hectolitre de l'orge d'automne a réagi nettement plus aux différences de mode d'exploitation que le blé d'automne (fig. 5). L'importance des maladies foliaires et des nécroses mouchetées dans les systèmes *Plextensif* et *Bio* s'est généralement traduite par une maturité plus précoce que dans le système *Plintensif*.

Cela s'est traduit par une phase raccourcie de remplissage des grains et en fin de compte par des poids plus bas à l'hectolitre. Étant donné une résistance réduite sur ce plan, les peuplements *Bio* et *Plextensif* ont souvent eu des problèmes de verse, entraînant des répercussions négatives supplémentaires sur la formation de grains. Par rapport au système *Plintensif* dont le poids moyen à l'hectolitre est de 67,2 kg (1997–2008), les systèmes *Plextensif* et *Bio* ont perdu 3,7 kg. Le poids à l'hectolitre dans le système *Plintensif* n'est passé en dessous de la fourchette standard de 64 à 67 kg/hl qu'une seule fois en douze ans. Par contre, le système *Plextensif* n'a pas pu atteindre le poids standard à l'hectolitre cinq années sur douze et le système *Bio* quatre années sur douze, ce qui a eu des baisses de prix pour conséquences.

Fortes teneurs des céréales en protéines

Avec les variétés de la classe Top (*Runal*, *Titlis*, *Siala*) généralement mises en place, le potentiel élevé de minéralisation de l'azote dans les sols de Burgrain a eu un effet positif sur la teneur en protéine du blé d'automne: *Plintensif*

14,7 %, *Plextensif* 14,4 %, *Bio* 14,2 % (fig. 6). Dans le système *Plintensif*, on a généralement procédé à un apport d'azote minéral entre le stade dernière feuille et l'épiaison, ce qui influait de manière légèrement positive sur la teneur des grains en protéines. Les valeurs élevées en protéines du blé d'automne *Bio* sont étonnantes au vu de la faible quantité des apports d'azote, qui s'élevaient en moyenne seulement à 17 kg d'ammonium-N/ha sous forme de lisier (*Plintensif* 74 kg N/ha, *Plextensif* 53 kg N/ha). Mais elles peuvent venir également de la variété choisie et du potentiel élevé de minéralisation de l'azote des sols alluviaux des cinq parcelles. Lors de la mise en place de blé d'automne en 2007 sur la parcelle «Kastelen» dont le potentiel de minéralisation de l'azote est nettement plus faible, les teneurs en protéines du blé *Bio* se situaient 3 % en dessous de celles du blé *Plintensif* (en valeurs absolues).

En ce qui concerne la teneur en protéines de l'orge d'automne, on n'a relevé que de légères différences entre les systèmes de production: *Plintensif* et *Bio* 10,5 %, *Plextensif* 10,7 % (fig. 6). Même les apports azotés nettement plus importants dans le système *Plintensif* ne sont pas parvenus à améliorer la teneur en protéines. Ils ont toutefois conduit à des rendements nettement plus élevés en combinaison avec l'emploi de fongicides et de régulateurs de croissance. Les fluctuations de la teneur en protéines du blé et de l'orge d'automne entre les années et les systèmes de production étaient essentiellement dues aux conditions météorologiques annuelles spécifiques et aux choix des variétés.

Pour la production de semences, la capacité germinative des grains de céréales est capitale. De 1997 à 2008, l'orge d'automne présentait toujours une capacité germinative (*Plintensif* 93,6 %, *Plextensif* 95,0 %, *Bio* 95,3 %) supérieure à celle du blé d'automne (*Plintensif* 82,5 %, *Plextensif* 81,0 %, *Bio* 84,4 %). Ces résultats sont probablement dus au fait que les grains d'orge étaient généralement moins infestés par *Microdochium nivale* (pourriture des neiges) et par les espèces de *Fusaries*. Dans le blé d'automne, le labour après le maïs-ensilage a eu des effets positifs sur la faculté germinative des grains dans les systèmes *Plintensif* et *Bio*, car cette mesure a permis de réduire

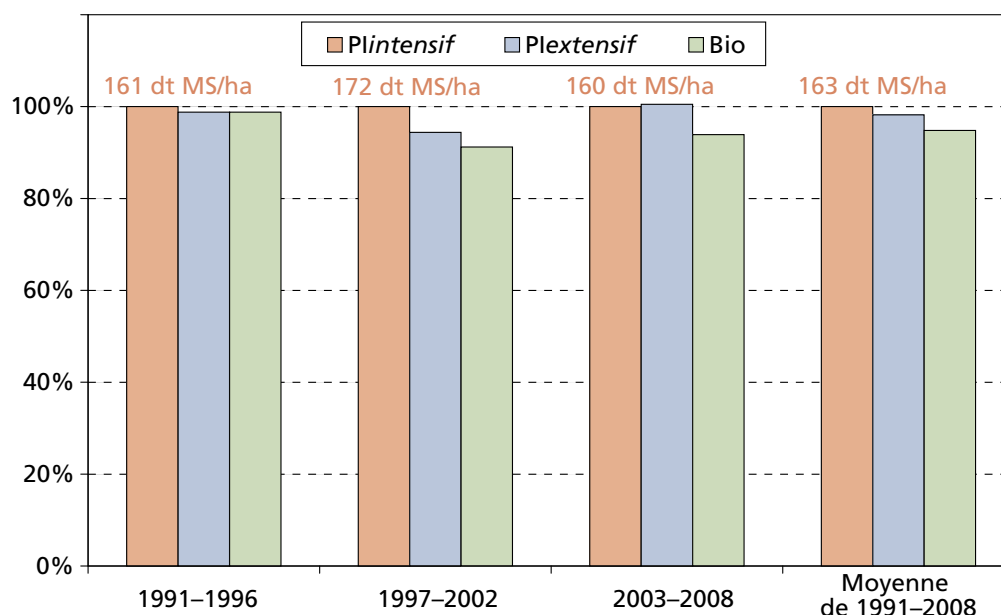


Fig. 8: Rendements annuels moyens relatifs (matière sèche = MS) des prairies temporaires dans les trois périodes d'essai (Plintensif = 100%, avec indications chiffrées du rendement).

l'infestation par les Fusaries. Les différences en termes de faculté germinative n'étaient cependant pas très marquées.

Le temps de chute du blé d'automne permet de mesurer l'activité dans les grains de l'enzyme amylase qui décompose l'amidon. C'est également un indice indirect du degré de maturation. Ce temps est influencé en premier lieu par les propriétés des variétés et par les conditions météorologiques lors de la récolte. C'est pourquoi les différences entre les systèmes de production étaient négligeables. Deux années sur les dix-huit de l'essai, les temps de chute de tous les systèmes de production n'ont pas pu satisfaire les exigences du marché à la suite d'une constellation défavorable entre variété et conditions météorologiques.

Pratiquement aucune différence de qualité pour le maïs-ensilage et le colza

Pour le maïs-ensilage, la matière organique digestible (MOD), l'énergie nette lait (NEL), l'énergie nette viande (NEV), la teneur en matière azotée et en cellulose brute ne se distinguaient pratiquement pas entre les systèmes de production.

Pour le colza (variété Talent), les teneurs en matières grasses ont été étudiées. La valeur moyenne était de 407 g/kg MS dans le système Plintensif. Les systèmes Plectensif (-4,5 g/kg MS) et Bio (-3,8 g/kg MS) se situaient au même niveau. Les teneurs en matières grasses fluctuaient consi-

dérablement d'une année à l'autre, entre 374 et 466 g/kg MS dans le système Plintensif par exemple.

Rendement et qualité fourragère des prairies temporaires

Dans la rotation de six ans, l'orge a été suivie par une prairie temporaire avec un mélange à base de graminées et de trèfle blanc (généralement mélange standard 330) pour deux années principales d'exploitation. Dans les trois systèmes de production, le nombre d'utilisations annuelles était de quatre ou cinq (généralement fauche, parfois pâture en automne). L'exploitation des prairies temporaires variait entre les trois systèmes de production, surtout en ce qui concerne la quantité de lisier généralement répartie en quatre apports (fig. 7). De 1991 à 2008, la quantité de lisier dans les systèmes Plectensif et Bio était en moyenne de 15 %, respectivement 38 % plus faible que dans le système Plintensif typique de la région (quantité moyenne de lisier dilué par utilisation 37 m³/ha). D'autres différences de mode d'exploitation concernaient la lutte contre les rumex. Dans les prairies temporaires PI, on avait recours à des méthodes chimiques tandis que dans les prairies Bio, la lutte reposait sur l'arrachage des rumex à la main ou le choix de la méthode de semis (dans le système Bio de 1998-2007, huit fois semis direct).

Dans tous les systèmes de production, le niveau de rendement des prairies temporaires (rendements bruts sans prise en compte des refus et des pertes de récolte) était très

Tab. 4: Coûts spécifiques et coûts de machines imputables (coûts variables des machines, location de machines, travaux en régie) des trois systèmes de production par hectare et par an, basés sur les coûts du maïs-ensilage, du blé d'automne, du colza et de l'orge d'automne, valeurs moyennes de 2003 à 2008.

	Coûts spécifiques (Fr./ha)			Coûts de machines imputables (Fr./ha)		
	Plintensif	Plectensif	Bio	Plintensif	Plectensif	Bio
Maïs-ensilage	954	991	783	1211	1394	1289
Blé d'automne	900	585	555	649	596	595
Colza	986	834	378	1029	965	919
Orge d'automne	937	581	403	645	598	595
Moyenne	944	748	530	883	888	849
Pourcentage relatif par rapport au système Plintensif		-21 %	-44 %		+1 %	-4 %

élevé et se montait à plus de 150 dt de MS/ha et par an, car les conditions de croissance sur le site de Burgrain sont excellentes grâce aux précipitations importantes et régulières, et aux sols profonds et fertiles (fig. 8). Le pourcentage moyen de trèfle compris entre 10 et 40 % a permis un auto-apvisionnement des prairies en azote et a compensé les effets des apports limités en lisier dans les systèmes *Plectensif* et *Bio*. Par rapport au système *Plintensif*, les déficits de rendement annuels des systèmes *Plectensif* et *Bio* de 1991 à 2008 ne représentaient que 1,8 % en moyenne (-2,9 dt MS/ha), respectivement 5,2 % (-8,6 dt MS/ha). Bien que de 2003 à 2008, la quantité de lisier ait été encore plus différenciée entre les systèmes de production que les années précédentes – système *Bio*: seulement 50 % de la quantité de lisier utilisée dans le système *Plintensif* – les différences de rendement ne se sont pas creusées.

Avec des mélanges standards similaires et des dates de récolte identiques, les différences de qualité des fourrages entre les systèmes de production étaient minimes. La teneur moyenne du fourrage récolté en NEL (énergie nette lait) et en PAI (protéine absorbable dans l'intestin) avait certes tendance à être légèrement plus basse dans les systèmes *Plectensif* et *Bio*, mais les différences ne sont pratiquement pas significatives en termes de technique d'affouragement. Des différences de qualité des fourrages entre les systèmes de production ont essentiellement été constatées lorsque, dans le système *Bio*, on a employé certaines années des mélanges de graminées et de trèfles qui levaient très rapidement et étaient très compétitifs par rapport aux premières adventices, mais qui étaient moins souples en termes d'exploitation. Avec les mêmes mélanges, la composition botanique variait peu d'un système de production à l'autre.

Les peuplements étaient généralement équilibrés (50–70 % de graminées), voire riches en graminées. Etant donné les apports moindres en lisier dans les prairies *Plectensif* et *Bio*, on a souvent constaté des pourcentages de trèfle légèrement plus élevés dans ces deux systèmes par rapport au système *Plintensif*.

Rentabilité des grandes cultures

Les marges brutes ont été calculées afin d'évaluer la rentabilité des grandes cultures dans les trois systèmes de production. Le calcul se fait à partir du produit de la vente des récoltes, déduction faite des coûts spécifiques (semences, produits phytosanitaires, engrais minéraux, coûts du séchage, primes d'assurance anti-grêle) et des coûts des machines directement imputables (coûts variables des machines, locations de machines et travaux en régie). Les paiements directs liés aux surfaces et aux cultures ont été pris en compte dans le calcul des marges brutes. Les marges brutes servent à rémunérer la charge de travail et les autres coûts de structure (coûts fixes pour les machines, coûts des intérêts et des bâtiments, etc.). Les systèmes de

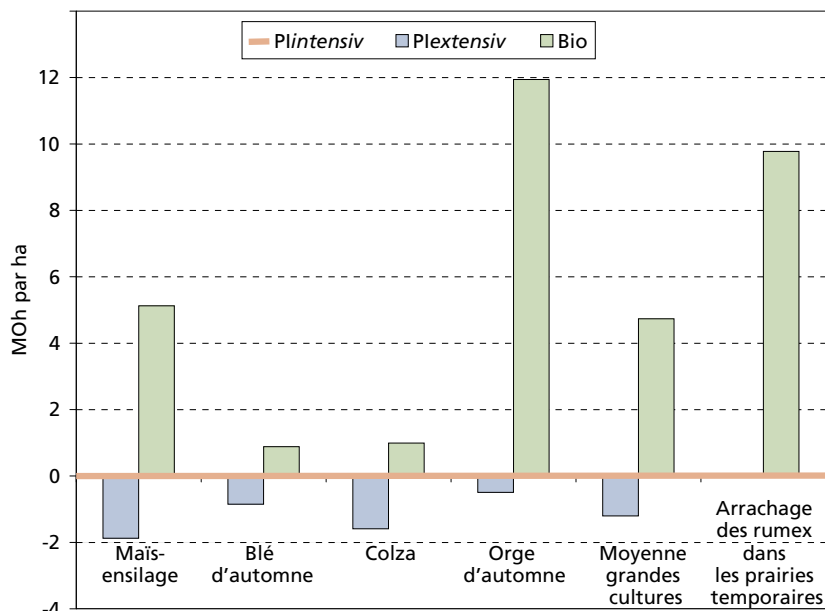


Fig. 9: Temps de travail supplémentaire ou temps de travail économisé (en MOh) par hectare dans les systèmes *Plectensif* et *Bio* par rapport au système *Plintensif*, valeurs moyennes pour les quatre grandes cultures de 2003 à 2008 (prairie temporaire: MOh/ha et par an).

production se différencie surtout sur le plan de la charge de travail, tandis que les différences en matière de coûts de structure sont moindres.

Comme les conditions cadres de l'économie agricole (prix, coûts, paiements directs) ont considérablement évolué durant les dix-huit années d'essai, nous ne nous référons ici qu'aux résultats économiques de la dernière période d'essai, de 2003 à 2008.

Nous avons renoncé à calculer les marges brutes des prairies temporaires, car il est pratiquement impossible de déterminer les prix aux producteurs (très importantes fluctuations saisonnières et annuelles suivant la demande de fourrage grossier) et que le fourrage est valorisé sur l'exploitation même (livraison interne à la production bovine). Dans la production fourragère, les facteurs importants d'un point de vue économique sont surtout les baisses de coûts des apports de lisier dans les systèmes *Plectensif* et *Bio* du fait de la réduction des quantités épandues et le temps investi pour la régulation mécanique des rumex dans les cultures *Bio*. Etant donné les faibles différences de rendement entre les systèmes de production et les prix plus élevés des produits *Bio*, la production fourragère *Bio* est sans doute économiquement plus intéressante que la production fourragère *PI* sur le site de Burgrain.

Coûts spécifiques et charge de travail: différences entre les systèmes

Par rapport au système *Plintensif*, les coûts spécifiques des quatre grandes cultures (maïs-ensilage, blé d'automne, colza et orge d'automne) ont généralement pu être abaissés de 21 % dans le système *Plectensif* et de 44 % dans le système *Bio* (tab. 4). Le renoncement aux fongicides, aux insecticides et aux régulateurs de croissance dans la culture extensive des céréales a permis par exemple d'économiser Fr. 336.-/ha et par an.

Les différences entre les systèmes étaient en revanche minimes en ce qui concerne les coûts de machines imputables (coûts variables des machines, locations de machines et tra-

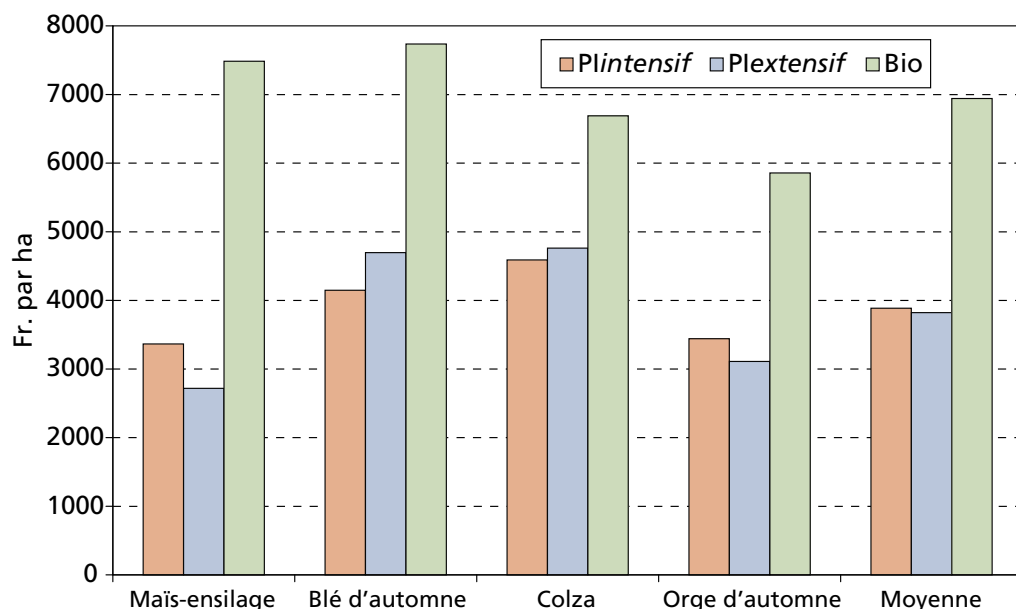


Fig. 10: Marges brutes (Fr./ha) du maïs-ensilage, du blé d'automne, du colza et de l'orge d'automne dans les trois systèmes de production ainsi que moyenne de ces quatre grandes cultures, valeurs moyennes de 2003 à 2008.

vaux en régie) bien que les techniques employées aient été très diverses (p. ex. semis en bandes fraîsées pour le maïs Plectensif). Les deux systèmes PI affichaient des coûts de machines imputables pratiquement identiques. Dans les cultures de céréales et de colza Plectensif, on a certes pu économiser en moyenne Fr. 50.– par hectare par rapport au système Plintensif, mais les coûts des machines du maïs Plectensif étaient plus élevés de Fr. 180.–/ha par rapport à ceux du système Plintensif à cause du temps plus important investi dans les apports de lisier et la régulation des adventices (deux traitements herbicides sont généralement nécessaires). Les coûts de machines fixes n'ont pas été pris en compte, car ces coûts dépendent des hypothèses posées en matière de degré d'utilisation et de durée d'amortissement.

Dans le système Plectensif, du fait de l'utilisation réduite des produits phytosanitaires et des engrais minéraux, la charge de travail par hectare et par an était inférieure de 1,2 heures par rapport au système Plintensif (fig. 9). Le système Bio par contre exigeait un volume de travail supplémentaire considérable. Dans les grandes cultures, il fallait

compter en moyenne 4,7 heures en plus par hectare et par an par rapport au système Plintensif.

C'est l'orge d'automne qui exigeait la charge de travail supplémentaire la plus importante, car les mauvaises herbes étaient arrachées à la main pour prévenir et réduire la prolifération des adventices dans la prairie temporaire suivante (notamment élimination des rumex formant des inflorescences). Dans les prairies temporaires Bio, il fallait consacrer en moyenne 9,8 heures/ha et par an à l'arrachage des rumex (période 1997–2002: 44 heures).

Production sous label avec marge brute élevée

Les systèmes Plectensif et Bio ont renoncé à l'emploi des fongicides, insecticides et régulateurs de croissance, ce qui leur permettait de bénéficier des paiements directs Extensio pour le blé d'automne, l'orge d'automne et le colza (Fr. 400.–/ha). Le blé d'automne et le colza Plectensif respectant en plus les directives de production du label IP-Suisse, ces cultures ont obtenu un prix plus élevé sur le marché que celles du système Plintensif. Par conséquent, le système Plectensif était plus intéressant sur le plan écono-

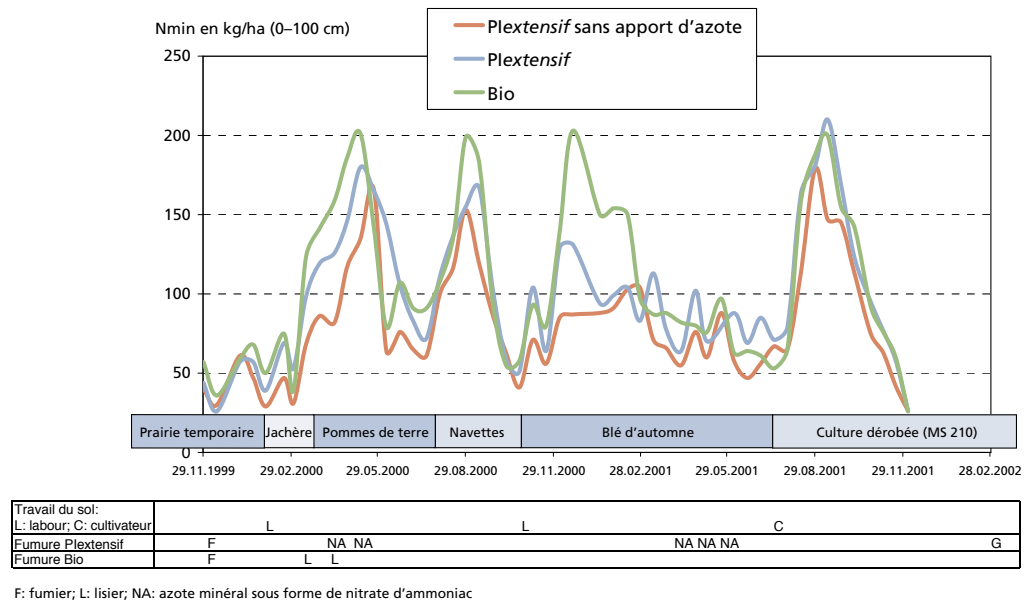


Fig. 11: Malgré les déficits de rendement de 9,3, resp. 11,3 dt/ha par rapport à la culture de blé dans le système Plintensif avec utilisation de fongicides et de régulateurs de croissance, les systèmes Plectensif et Bio ont obtenu des résultats supérieurs de 548.–/ha, resp. Fr. 3588.–/ha grâce aux prix des produits sous label et aux contributions (moyenne 2003–2008; Photo: Bettina Nussbaumer, Burgrain).



Fig. 12: Sur le site de Burgrain, on a constaté une fois de plus que le succès des cultures biologiques et extensives dépendait en grande partie des propriétés et du potentiel de mobilisation des sols, ainsi que de la qualité de sa structure. Il est recommandé de vérifier périodiquement cette dernière en faisant des tests à la bêche (Photo: Raphael Kottmann, BBZN Hohenrain).

Fig. 13: Evolution de la teneur du sol en azote minéral dans le temps (Nmin; profondeur du sol: 0–100 cm) dans les systèmes Plectensif et Bio, ainsi que dans le système Plectensif sans engrais azoté sur la parcelle «Hexern Sud» de nov. 1999 à nov. 2001.



mique que le système *Plintensif*, pour le blé d'automne comme pour le colza (blé d'automne : Fr. +548.-/ha; colza: Fr. +172.-/ha [fig. 10 et 11]).

Pour l'orge d'automne, où la production sous label IP-Suisse n'est pas possible, la contribution Extensio ne suffisait en revanche pas à compenser les lourdes pertes de rendement par rapport au système *Plintensif* (près de 30 kg/a): le système *Plintensif* a obtenu en moyenne des marges brutes supérieures de Fr. 331.-/ha par rapport au système *Plectensif*. Pour le maïs-ensilage, le système *Plintensif* était également plus intéressant sur le plan économique, notamment grâce à des rendements plus élevés et à des coûts variables de machines plus bas (marge brute: Fr. +646.-/ha). Si l'on établit la moyenne des quatre grandes cultures, le système *Plectensif* ne perdait que Fr. 64.-/ha (-1,7 %) par rapport au système *Plintensif*.

Grandes cultures Bio, intéressantes du point de vue économique

Durant toutes les années que l'essai a duré, les prix des produits des grandes cultures Bio étaient nettement supérieurs à ceux de la production intégrée grâce à la situation de la demande favorable sur le marché. De plus, les grandes cultures Bio bénéficiaient de paiements directs plus élevés. Les différences des quatre grandes cultures étaient en moyenne de Fr. +800.-/ha par rapport au système *Plectensif* et Fr. +1100.-/ha par rapport au système *Plintensif*. Grâce aux «subventions supplémentaires» et à des pertes de rendements relativement réduites sur le site de Burgrain, le système Bio a réalisé une marge brute supérieure de Fr. 3056.-/ha ou de 79 % par rapport au système *Plintensif* (moyenne des quatre cultures). L'avantage du système Bio par rapport au système *Plintensif* en termes de marges brutes était manifeste dans toutes les cultures: maïs-ensilage: Fr. +4120.-/ha; blé d'automne: Fr. +3588.-/ha; colza: Fr. +2100.-/ha; orge d'automne: Fr. +2415.-/ha. Pour pouvoir évaluer les répercussions sur le revenu agricole, il faudrait toutefois prendre en compte les coûts de structure des différentes cultures et notamment la charge de travail. C'est pourquoi il n'est pas possible de se prononcer sur ce point ici. Les marges brutes élevées des grandes cultures biologiques

sur le site de Burgrain sont la résultante directe des prix élevés des produits bio, associés à de bons rendements, des coûts de production réduits, et aux contributions octroyées par la Confédération à l'agriculture biologique.

Des sols très fertiles, une rotation diversifiée, des engrais de ferme en suffisance et le savoir-faire des exploitants sont les principales raisons qui expliquent les hauts rendements de cultures Bio à Burgrain. Par conséquent, ces résultats ne peuvent pas être transposés directement à d'autres exploitations. Il ne faut pas oublier que la rentabilité de la production végétale, observée de manière isolée, n'est qu'un élément de la mosaïque lorsqu'il s'agit de comparer la rentabilité des systèmes de production dans leur globalité. En effet, à l'échelle de l'exploitation, des facteurs comme la nécessité d'investir, la satisfaction de directives (p. ex. production animale, achat d'aliments pour animaux) ou l'accomplissement de la charge de travail plus élevée peuvent rendre difficile la conversion à l'agriculture biologique.

Aspects environnementaux

Structure du sol

Les prestations écologiques requises (PER), comme l'agriculture biologique ne fixent aucune exigence minimale relative à la qualité de la structure du sol, car cette dernière change en permanence (gonfle, se rétracte ou craque sous l'effet du gel). Mais l'enracinement, la couverture végétale du sol et l'activité des organismes qui y vivent influencent également la structure du sol, de même que la pâture et les mesures d'exploitation comme le travail du sol, le passage des machines et l'apport en éléments nutritifs. Les tests à la bêche (fig. 12) de 1992 à 2002 (au début de l'été) ont révélé des différences importantes au niveau de la qualité de la structure du sol, suivant l'année, la culture mise en place, le type et la date des mesures d'exploitation etc., mais pas de différences durables caractéristiques entre les systèmes. Le travail du sol et les passages des machines étaient les deux facteurs qui avaient le plus d'impact sur la qualité de la structure et de l'humidité momentanée du sol. Les mesures de la stabilité des



Fig. 14: La population de vers de terre a été étudiée en octobre, lorsque ces derniers séjournent dans la couche superficielle du sol, sur six surfaces d'un quart de mètre carré dans chaque système de production. Les vers de terre ont été collectés à la main (Photo: Werner Jossi, ART).

agrégats effectuées durant la même période que les tests à la bêche n'indiquent pas non plus d'effets inhérents aux systèmes. La stabilité de l'assemblage des particules du sol dépendait notamment de sa teneur en humus et en argile ainsi que de son approvisionnement en calcaire. La structure du sol des cinq parcelles sur terrains alluviaux dont les sols étaient calcaires et contenaient plus d'humus et d'argile, s'est avérée plus stable que celle de la parcelle «Kastelen» où le sol brun était limono-sableux et légèrement acide. L'abandon du labour dans le système *Plextensif* en 2003 a entraîné la disparition progressive de la semelle de labour qui existait partiellement jusque-là.

Éléments nutritifs du sol et dynamique de l'azote

La teneur du sol en éléments nutritifs, phosphore, potassium et magnésium, à une profondeur de 0 à 20 cm a fait l'objet de relevés périodiques. Pendant toute la durée de l'essai, aucun engrais minéral à base de phosphore et de potassium n'a été apporté. Au début de l'essai, les teneurs en phosphore du sol se situaient dans les classes de fertilité

D [«riche»] et E [«très riche»] (méthode CO_2 ; Walther *et al.* 2001). Suite à la réduction de l'intensité de fumure à partir de 1991, les teneurs du sol en P ont baissé tout au long de l'essai pour atteindre la classe de fertilité C [«satisfaisant»] à D [«riche»]. Les teneurs en potassium, également calculées à l'aide de la méthode CO_2 , sont restées dans la classe de fertilité C [«satisfaisant»] pendant toute la durée de l'essai sur les six parcelles. Le sol brun de la parcelle «Kastelen» à base de moraines dolomitiques est celui qui affichait les teneurs les plus élevées en magnésium (classe de fertilité C [«satisfaisant»]; méthode CaCl_2). Les cinq parcelles situées sur du limon alluvial n'ont bénéficié que d'un approvisionnement «médiocre» en magnésium pendant les 18 années d'essai (classe de fertilité B). Aucune différence nette n'a été identifiée entre les trois systèmes de production en ce qui concerne l'évolution dans le temps des teneurs du sol en éléments nutritifs. Pour y parvenir, il aurait probablement fallu nuancer davantage l'input d'éléments nutritifs entre les systèmes.

La teneur en azote minéral (N_{\min}) des terres assolées (0–100 cm de profondeur) est une valeur très dynamique (fig. 13). De nombreuses séries d'études de la dynamique de l'azote, réalisées sur plusieurs mois au fil de différentes années, parfois également dans une surface témoin sans fumure azotée, ont montré que les cultures principales mises en place et la transition entre les cultures (avec/sans culture dérobée; intensité du travail du sol) ainsi que la teneur du sol en humus avaient plus d'impact sur le niveau et l'évolution dans le temps de la teneur du sol en N_{\min} que les différents systèmes de production. Dans ces terres assolées, où le potentiel de minéralisation de l'azote est supérieur à la moyenne, les apports d'engrais azotés avaient une influence minime sur les teneurs du sol en N_{\min} relevées peu après la fumure. Dans le système *Plextensif*, la surface fertilisée avec de l'azote affichait cependant des teneurs en N_{\min} généralement plus élevées que celles de la surface témoin sans apport d'azote. L'évolution des courbes de N_{\min} montre que les valeurs N_{\min} mesurées étaient en général très élevées, et parfois même au printemps.

La détermination des teneurs en N_{\min} (0–100 cm de profondeur) à la fin de la période de végétation en novembre

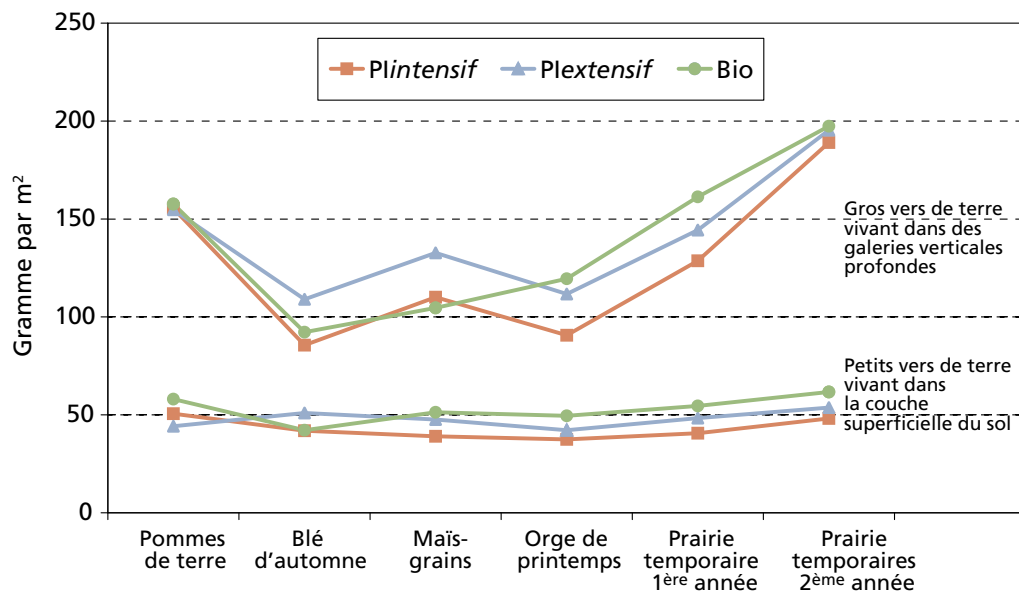


Fig. 15: Influence de la rotation avec labour sur la biomasse (g/m^2) des vers de terre vivant en profondeur et dans la couche superficielle du sol; moyennes des systèmes de production de 1997 à 2002.



Fig. 16: Semis direct de la prairie temporaire Bio après l'orge d'automne: par rapport au système de mise en place avec travail du sol, les germes de rumex étaient nettement moins nombreux, ce qui a permis de réduire le temps passé à l'arrachage des rumex dans les prairies temporaires Bio de plus de 50 à environ 10 heures par hectare et par an (Photos: Ruedi Tschachtli, BBZN Schüpfheim).

(1992–2007) dans toutes les cultures a confirmé que le potentiel de minéralisation de l'azote des sols morainiques et des sols alluviaux était très différent:

- teneur moyenne en N_{\min} en novembre sur sol morainique (parcelle «Kastelen»): 59 kg/ha
- teneur moyenne en N_{\min} en novembre sur sol alluvial: 112 kg/ha

En revanche, les différences étaient minimales entre les valeurs N_{\min} des trois systèmes de production en novembre:

- teneur moyenne en N_{\min} en novembre dans le système *Plintensif*: 110 kg/ha
- teneur moyenne en N_{\min} en novembre dans le système *Plextensif*: 104 kg/ha
- teneur moyenne en N_{\min} en novembre dans le système Bio: 99 kg/ha

Conclusion: Le fort potentiel de minéralisation de l'azote des sols de Burgrain estompait les différences de la fumure azotée. De plus, ce «moteur à azote» performant était essentiellement responsable des bons à très bons rendements de tous les systèmes de production. Comme il est toutefois difficile de contrôler la minéralisation de l'azote par le sol, elle a parfois également eu des conséquences négatives dans les cultures céréalières biologiques et extensives (verse).

Vers de terre

Les conditions naturelles du site d'essai, climat relativement frais et humide et sols rarement desséchés, généralement bien approvisionnés en calcaire, sont favorables aux vers de terre (fig. 14). Dans le système *Plintensif*, on a constaté une densité inférieure de vers de terre au début de l'essai, parce qu'on utilisait un défanant toxique pour les vers de terre, dans les cultures de pommes de terre *Plintensif*. Ce produit n'est plus autorisé aujourd'hui. De 1997



Fig. 17: Tandis que le mélégièthe du colza pouvait être combattu avec des insecticides dans le système *Plintensif*, les cultures Bio et *Extensio* ne disposaient pas de moyens appropriés. Les années de fortes infestations par le mélégièthe, les rendements de colza Bio et *Extensio* se sont néanmoins maintenus à un niveau suffisant grâce à l'excellent approvisionnement en éléments nutritifs et au potentiel de compensation de la variété cultivée.

à 2002 dans le système Bio, la biomasse moyenne totale des vers de terre était supérieure de 13 % à celle du système *Plintensif*. Dans le système *Plextensif*, le pourcentage était de 12 %. On suppose que les espèces de vers de terre vivant dans les couches superficielles du sol, et le lombric qui creuse des galeries profondes (*Lumbricus terrestris*) ont profité de la prolifération plus importante des adventices dans les parcelles Bio et en partie dans les parcelles *Plextensif* et donc d'une nourriture plus abondante par rapport au système *Plintensif*.

Pendant les quatre années de grandes cultures dans la rotation, la population des vers de terre vivant en galeries verticales profondes a diminué environ de moitié, de manière provisoire et dans tous les systèmes de production, sans doute des suites du travail du sol. Par la suite, durant les deux années de prairie temporaire, la population augmentait à nouveau pour retrouver sa valeur maximale de près de 200 g/m² (= 2000 kg/ha) ou 170 vers par mètre carré (fig. 15). En revanche, le pourcentage de petits vers vivant dans les couches superficielles du sol est resté pratiquement stable à 50 g/m² (= 500 kg/ha) durant toute la durée de la rotation. Le semis en bandes fraisées et sous litière pratiqué de 2003 à 2008 dans le système *Plextensif* n'a que légèrement accru la population de vers de terre par rapport aux systèmes *Plintensif* et Bio avec labour hors sillon.

Microbiologie du sol et mycorhizes

De 1991 à 2008, nous avons étudié les effets des trois systèmes de production sur la quantité et l'activité des microorganismes du sol dans l'horizon de 0 à 20 cm de profondeur. Aucune différence statistiquement significative n'a toutefois pu être identifiée entre les systèmes jusqu'à la fin de l'essai. Les paramètres microbiologiques du sol ont davantage été marqués par les propriétés chimiques et physiques du sol des différentes parcelles. Ainsi, le sol morainique de la parcelle «Kastelen» présentait des valeurs similaires à cel-

les de parcelles sur moraines et graviers du Plateau suisse. Les sols alluviaux relativement riches en humus et en calcaire des cinq autres parcelles affichaient en revanche des paramètres microbiologiques très élevés. La réduction des apports d'engrais de ferme par rapport au mode d'exploitation avec utilisation intensive du lisier au début de l'essai s'est traduite par une légère baisse de la respiration microbologique du sol au cours de l'essai, ramenant les valeurs très élevées à des valeurs plus typiques du site.

Durant la dernière année d'essai en 2008, nous avons relevé le taux de colonisation des racines par micorhization arbusculaire sur trois des six parcelles. Ces champignons du sol entretiennent une symbiose étroite avec la plupart de nos plantes cultivées (les betteraves sucrières et fourragères font exception, ainsi que les crucifères comme le colza). Les filaments du champignon (hyphes) font augmenter la surface des fines racines de la plante, ce qui améliore l'absorption d'eau et d'élément nutritifs du sol. En outre, le réseau des hyphes renforce la stabilité de la structure du sol. Dans les conditions du site de Burgrain, les études réalisées jusqu'ici n'ont pas révélé de différences dans le taux de colonisation de ces champignons auxiliaires qui seraient liées au système de production.

Adventices

Des relevés réguliers des peuplements d'adventices dans les grandes cultures et la détermination des réserves de semences d'adventices dans le sol ont permis d'étudier le succès de la lutte contre les adventices et le développement des populations de mauvaises herbes dans les trois systèmes de pro-

duction. La prolifération plus importante des adventices dans les parcelles Bio s'est traduite par des baisses de rendement d'abord dans le colza. Plus l'exploitation biologique durait, plus la diversité des adventices augmentait par rapport aux parcelles PI traitées aux herbicides. Les espèces problématiques notamment, comme le chiendent très difficile à éliminer, se propageaient de plus en plus dans les parcelles Bio. Les adventices rares ne sont pas réapparues même après dix-huit ans sans herbicide, ce qui n'est pas étonnant car ces mauvaises herbes étaient largement absentes au début de l'essai, aussi dans les parcelles voisines.

Moins de germes de rumex avec le semis direct

Les prairies temporaires Bio ont été mises en place par semis direct sans travail du sol à partir de 1998, huit années sur dix (fig. 16). Par rapport aux sols ameublés par la charrue ou le cultivateur dans les systèmes PI, cette méthode améliorait considérablement la portance des sols notamment l'année du semis. Toutefois, après une culture d'orge, le semis direct n'a pas été en mesure de surmonter les traces de passage de la moissonneuse-batteuse, ni d'évincer les adventices établies, notamment pâturins et rumex. Lorsque les traces étaient trop profondes, il fallut renoncer à la méthode du semis direct. Les prairies temporaires Bio mises en place par semis direct présentaient parfois par la suite un pourcentage plus élevé de plantes inopportunes, comme le pâturin commun et annuel, le chiendent et le pissenlit, ainsi que plus de zones lacunaires. En revanche, le nombre de germes de rumex qui levaient était nettement inférieur qu'en cas de semis avec travail du sol. Par conséquent, le temps consa-

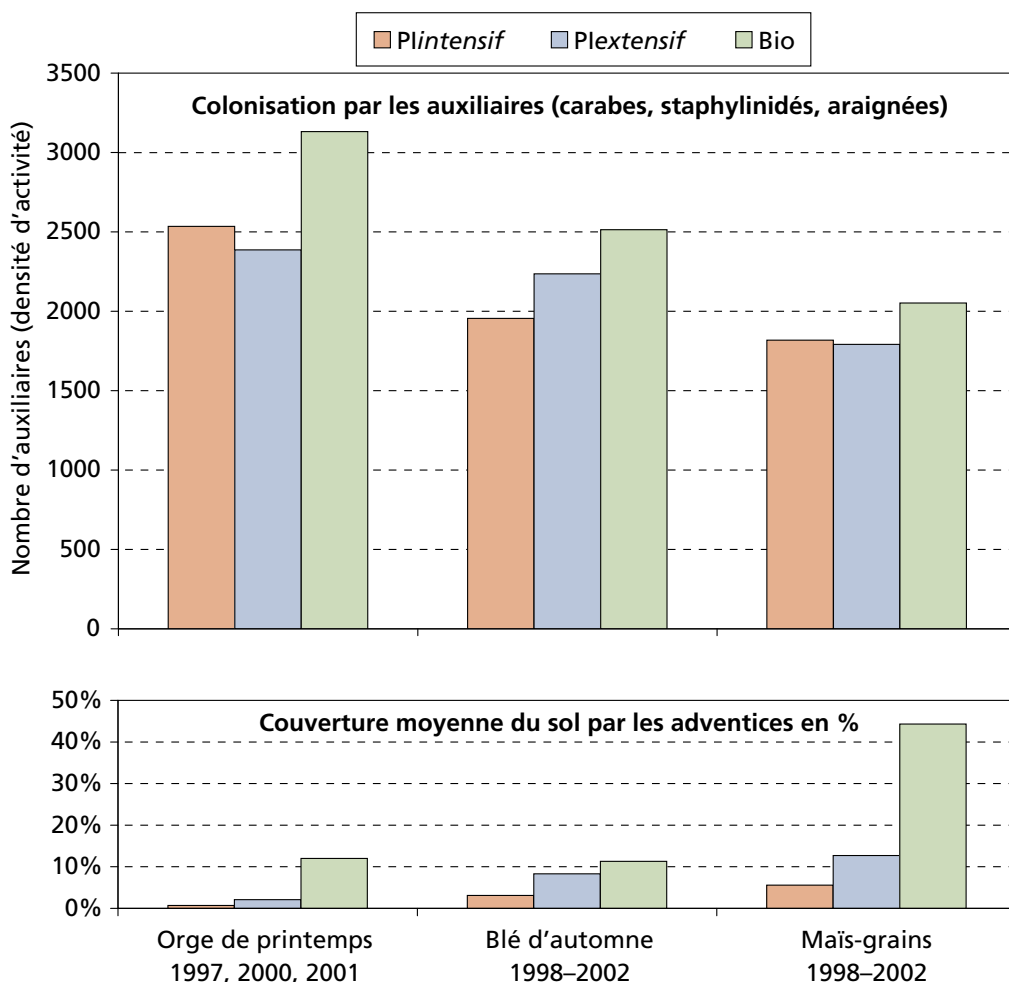


Fig. 18: Densité d'activité totale des auxiliaires composés en moyenne de 57 % de carabes, 24 % de staphylinidés et 19 % d'araignées dans les trois systèmes de production en fonction de la couverture du sol par les adventices. Ces moyennes de plusieurs années sont basées sur cinq semaines de capture avec cinq pièges au sol par système de production pendant la période végétative principale de l'orge de printemps, du blé d'automne et du maïs-grains.

cré à l'arrachage des rumex dans les prairies temporaires bi-annuelles diminuait et tombait de plus de 50 heures à environ 10 heures par hectare et par an. Dans les systèmes *Plintensif* et *Plextensif*, les semis de prairies temporaires ont été traités avec succès avec l'herbicide MCPB (4–6 l/ha) pour lutter contre les nombreux germes de rumex.

Maladies des plantes, ravageurs et auxiliaires

La protection des cultures céréalières *Plintensif* contre les maladies fongiques et la verse a eu des résultats très positifs sur le rendement sur ce site à fortes précipitations. Ce phénomène est très marqué dans l'orge et un peu moins dans le blé d'automne. De 2004 à 2008, le blé d'automne mis en place après le maïs-ensilage (variétés: Runal, Ludwig, Siala) a été étudié en détails à la recherche de maladies. Comme on pouvait s'y attendre, la mise en place du blé *Plextensif* sans labour a favorisé l'infestation par les Fusaries (notamment *F. graminearum*) et donc la contamination des cultures par la mycotoxine déoxynivalénole (DON). Par conséquent, le blé *Plextensif* affichait une teneur moyenne en DON (2006–2008) de 1,53 mg/kg de grains (valeur limite de DON: 1,25 mg/kg de grains) contre 0,44 mg dans le système *Plintensif* et 0,14 mg dans le système Bio. Pour pouvoir profiter des économies d'énergie liées à l'absence de labour, les transitions entre les cultures doivent être contrôlées pour éviter la transmission des Fusaries. En outre, il est recommandé de sélectionner des variétés tolérantes aux Fusaries. Le méligèthe du colza était de loin le principal ravageur

dans les grandes cultures mises en place. Il n'a pu être combattu que dans le colza *Plintensif* (fig. 17) et a causé de lourdes pertes de rendements dans les cultures Bio et Extensio, les années où il est apparu en masse.

Les cultures n'ont connu pratiquement aucun problème de limaces, même pas le colza Bio. Ce n'est que lorsque le sol n'était pas travaillé sur toute la surface, comme dans le cas du semis du maïs en bandes fraisées, qu'on a pu observer des traces de limaces bien nettes, mais sans grandes conséquences sur les rendements.

Dans les mois d'été de 1997 à 2002, nous avons étudié la présence de carabes, de staphylinidés et d'araignées dans l'orge de printemps, le blé d'automne et le maïs-grains à l'aide de pièges au sol. Parmi ces espèces d'insectes et d'araignées généralement ravageuses, se trouvent également de nombreux auxiliaires qui capturent différents insectes néfastes dans les cultures agricoles. La densité d'activité de ces auxiliaires était généralement plus élevée dans les parcelles *Plextensif* et Bio que dans les parcelles *Plintensif*. La prolifération plus importante des adventices dans les parcelles Bio notamment et parfois dans les parcelles *Plextensif* semble avoir stimulé la présence des auxiliaires (fig. 18). Sur les 53 espèces de carabes capturées, aucune ne faisait partie des espèces menacées (Liste Rouge).

Analyse de cycle de vie

La méthode d'analyse de cycle de vie SALCA d'ART a servi à analyser les impacts environnementaux des trois systè-

Tab. 5: Profil des points forts et des points faibles des trois systèmes de production sur le site de Burgrain.

Critère	Culture / Caractéristique	<i>Plintensif</i>	<i>Plextensif</i>	Bio
Rendement brut	Blé d'automne	++(+)	++(+)	+++
	Céréales fourragères	++(+)	+(+)	++
	Pommes de terre, colza	+++	++(+)	++(+)
	Maïs, prairies temporaires*	+++	+++	+++
Qualité et part de produits commercialisés	Blé d'automne	+++	+++	+++
	Céréales fourragères	++	+	+
	Pommes de terre	++	+(+)	+(+)
	Colza, maïs, prairies temporaires	+++	+++	+++
Stabilité des rendements	Grandes cultures	++	++(+)	++
Marge brute	Grandes cultures	++	++	+++
Charge de travail	Grandes cultures	++(+)	++(+)	++
	Prairies temporaires	+++	+++	+(+)
Sol	Qualité de la structure du sol	++(+)	++(+)	++(+)
	Activité microbiologique*	+++	+++	+++
	Vers de terre*	++(+)	+++	+++
Flore adventice	Diversité	++	++	++(+)
	Pression des adventices	+++	++(+)	++
Auxiliaires	Présence des carabes dans les grandes cultures	++	++	++(+)
Analyse de cycle de vie (ecobilan)	Consommation d'énergie et autres impacts environnementaux* (liés aux surfaces et aux produits)	++	+++	+++

* Par rapport à d'autres sites de grandes cultures en Suisse, les valeurs relevées sur le site de Burgrain sont particulièrement favorables.

+++	Valeur favorable
++(+)	
++	Valeur moyenne
+(+)	
+	Valeur défavorable

mes de production, tels que la consommation d'énergie, le potentiel d'effets de serre ou l'écotoxicité pour la période de 1997 à 2002 (Nemecek *et al.* 2005). Par hectare de surface cultivée, c'est dans le système *Plintensif* que la plupart des impacts environnementaux étaient les plus élevés et dans le système Bio qu'ils étaient les plus bas. Si l'on rapporte ces résultats à 1 kg de MS de produit récolté, les différences entre les systèmes étaient minimes, car l'intensité culturale inférieure des systèmes *Plextensif* et Bio s'accompagnait également de rendements réduits. Le passage à la technique de purinage par tuyaux a permis de réduire considérablement les émissions d'ammoniac. La consommation d'énergie était déterminée par l'utilisation des machines. Comme cette dernière était très semblable dans les trois systèmes, les différences d'intrants d'énergie étaient minimales entre les trois systèmes. Ce sont le maïs-grains et les pommes de terre qui affichaient la consommation d'énergie la plus élevée, le premier à cause du séchage des grains et les secondes à cause d'une utilisation intensive des machines et de la production de plants qui demande beaucoup d'énergie. La consommation énergétique par kg de MS de grains de blé s'élevait à 1,85 MJ dans le système *Plintensif*, soit la moitié de la valeur moyenne en Suisse, qui est de 3,7 MJ. La principale raison tient au potentiel élevé de libération des éléments nutritifs dans les sols de Burgrain, qui s'est traduit par un faible emploi d'engrais minéraux (p. ex. pas d'utilisation d'engrais minéraux à base de phosphore et de potassium). Ce potentiel, associé notamment à un travail du sol réduit, comme il a été pratiqué dans le système *Plextensif* de 2003 à 2008, a permis de réduire certains impacts environnementaux.

Evaluation finale

Les relevés effectués durant cet essai de longue durée sur le site de Burgrain permettent de dresser le profil des points forts et des points faibles des trois systèmes de production, présenté au tableau 5.

Pour la durabilité des systèmes de grandes cultures, il est recommandé de tenir compte des éléments suivants:

- mise en place des parcelles sur des sites appropriés (climat, sol, pente du terrain)
- exploitations par des personnes possédant les connaissances spécifiques nécessaires et ayant un bon sens de l'observation
- harmonisation de la production animale et végétale (charge en bétail adaptée, production d'engrais de ferme, prairies temporaires dans la rotation)
- respect d'une rotation optimisée pour éviter la transmission des maladies
- circulation des machines et travail du sol respectueux du terrain, dans des conditions pas trop humides; si possible réduction de l'intensité du travail du sol
- utilisation de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies et aux ravageurs
- semis extrêmement précoces ou tardifs à éviter
- fumure adaptée au site et aux plantes, épandage des engrais de ferme et des engrais minéraux avec le moins de pertes possible
- utilisation de produits phytosanitaires ne présentant pas de risque écotoxicologique

- peuplements de céréales résistants à la verse, pas trop denses

Une grande partie de ces éléments étaient réunis dans tous les systèmes de production de l'exploitation mixte de Burgrain. Ces mesures doivent être systématiquement appliquées pour assurer une production végétale durable. De plus, il est recommandé de contrôler régulièrement la structure du sol, ainsi que les teneurs en éléments nutritifs, en humus et le pH. Les efforts consentis par la pratique agricole dans le domaine de la protection de l'environnement et de la durabilité devraient être soutenus et stimulés par la recherche, le conseil, la politique agricole, le commerce et les consommateurs.

Conclusions

L'essai de Burgrain sur les systèmes de production a montré qu'en respectant les principes de base de la production végétale, il est parfaitement possible d'obtenir une production de qualité dans les systèmes biologiques et extensifs. Dans les conditions actuelles (paiements directs, niveau du prix des produits), les grandes cultures Bio à Burgrain sont plus rentables sur le plan économique que les systèmes *Plextensif* et *intensif*. La supériorité économique du système Bio dans cette comparaison est due en grande partie à la qualité élevée du sol du site d'essai, au bon approvisionnement en éléments nutritifs et à la rotation diversifiée. Grâce aux bons rendements, les cultures Bio et Extensio obtiennent également de meilleurs résultats en termes d'impacts environnementaux par rapport aux grandes cultures *Plintensif* typiques de la région. Les bons rendements obtenus dans les trois systèmes de production sont la preuve que l'agriculture dépend de sols de haute qualité pour une production rentable et respectueuse de l'environnement.

Bibliographie

- Agroscope Reckenholz (Hrsg.), 2004. Integrierter und biologischer Anbau im Vergleich – Anbausystemversuch Burgrain, Resultate aus 12 Jahren Forschung (1991–2002). Schriftenreihe der FAL 52, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich. 92 S.
- Nemecek T., Huguenin-Elie O., Dubois D., Gaillard G., 2005. Ökobilanzierung von Anbausystemen im schweizerischen Acker- und Futterbau. Schriftenreihe der FAL 58, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich. 156 S.
- Walther U., Ryser J.-P., Flisch R., 2001. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. Agrarforschung 8 (6), 1–80.

