

Ferme pilote de Mapraz

Rapport intermédiaire (2000 - 2005)



Impressum

Editeur AGRIDEA
Avenue des Jordils 1
Case postale 128
CH-1000 Lausanne 6
Tél. 021 619 44 00 / Fax 021 617 02 61
www.agridea.ch

Auteurs Maurice Clerc, FiBL
Josy Taramarcaz, AGRIDEA

Mise en page Bettina Perroud, AGRIDEA

Impression Atelier de reproduction, AGRIDEA
© AGRIDEA, avril 2007

Table des matières

	Résumé	3
1.	Introduction	4
2.	Matériel et méthodes	4
2.1	Conditions naturelles de Mapraz	4
2.1.1	Le sol	4
2.1.2	Le climat	5
2.2	Dispositif de l'essai	5
2.3	Fertilisation	6
3.	Résultats et commentaires	6
3.1	Rotation des cultures	6
3.2	Fertilisation	7
3.3	Analyses de sol	7
3.3.1	Teneur en humus	7
3.3.2	Activité biologique	7
3.3.3	P, K, Mg	7
3.3.4	Azote disponible du sol	8
3.3.5	Réceptivité aux maladies liées au sol	8
3.4	Adventices	8
3.4.1	Stratégie de maîtrise des adventices	8
3.4.2	Stratégie par culture	9
3.4.3	Résultats généraux	9
3.4.4	Chardon des champs	10
3.4.5	Vulpin des champs	10
3.4.6	Autres adventices	11
3.4.7	Evolution de la stratégie de lutte contre les adventices	11
3.5	Maladies et ravageurs	12
3.6	Interventions culturales	13
3.7	Rendements et qualité des produits	14
3.7.1	Influence de la fumure	14
3.7.2	Niveau des rendements (tableau 5)	14
3.7.3	Evolution des rendements de 2001 à 2005	15
3.7.4	Qualité des produits	15
3.8	Résultats financiers	16
3.8.1	Méthodologie	16
3.8.2	Marge comparable par culture	16
3.8.3	Marge comparable de la rotation	16

4	Discussion et conclusions	17
4.1	Teneur en humus	17
4.2	Approvisionnement en azote	17
4.3	Adventices	18
4.4	Rendements	18
4.5	Durabilité du système de production mis en place à Mapraz	18
4.6	Durabilité des systèmes de cultures bio sans ou avec peu de bétail	19
4.7	Leçons de Mapraz pour la pratique	19
5	Modification du dispositif d'essai pour 2006-2011	20
	Remerciements	21
	Littérature	21
	Annexes	23
	Annexe 1 Plan de rotation	24
	Annexe 2 Analyses de sol	25
	Annexe 3 Interventions culturales mécaniques (détails)	26
	Annexe 4 Interventions culturales mécaniques et manuelles	27
	Annexe 5 Marges brutes	28
	Tableaux	
	Tableau 1 : Rotation des cultures 2000 à 2005, cultures secondaires et travaux après récolte	5
	Tableau 2 : Taux de couverture des besoins (en %) selon Suisse-Bilanz de 2001 à 2005	7
	Tableau 3 : Evolution des principaux résultats d'analyse du sol	7
	Tableau 4 : Interventions culturales mécaniques et manuelles	13
	Tableau 5 : Rendements à Mapraz (moyennes procédés A et B) et rendements de référence (dt/ha)	15
	Tableau 6 : Marge comparable par culture, moyenne des procédés A et B et de 2001-2005 (en Fr.-/ha)	16
	Tableau 7 : Marge comparable de la rotation, moyenne des procédés A et B et de 2001-2005 (en Fr.-/ha)	16
	Tableau 8 : Rotation des cultures de 2006 à 2011	20
	Figures	
	Figure 1 : Vue générale de la Ferme pilote de Mapraz	4
	Figure 2 : Plan de la Ferme pilote de Mapraz	5
	Figure 3 : Gestion de la fumure azotée : deux cultures de légumineuses et un engrais vert légumineuses	6
	Figure 4 : Test de germination du sol de parcelles de Mapraz	8
	Figure 5 : Blé après tournesol	9
	Figure 6 : Temps consacré à la coupe manuelle des chardons	10
	Figure 7 : Vulpin dans la féverole	10
	Figure 8 : Désherbage de la féverole à Mapraz	11
	Figure 9 : Dégâts d'oiseaux en 2004-2005	12
	Figure 10 : Culture de féverole anéantie par les pucerons noirs 2002	12
	Figure 11 : Semis des cultures d'automne à Mapraz	13
	Figure 12 : Rendements des cultures dans les procédés A et B (moyenne de 2001 à 2005)	14
	Figure 13 : Broyage du trèfle violet : résultats décevants	17
	Figure 14 : Visite de cultures à Mapraz en juin 2006	19

Résumé

Un essai de rotation culturale en conditions bio sans bétail est mené sur la Ferme pilote de Mapraz à Thônex / GE depuis l'automne 1999. Le sol est lourd. La rotation dure six ans (blé d'automne – tournesol – blé d'automne – féverole d'hiver – blé d'automne – trèfle violet pour la production de semence). L'essai comprend deux procédés :

- procédé A sans fumure;
- procédé B avec compost de déchets verts.

Ce rapport fournit les résultats de la 1^{ère} rotation culturale (2000-2005).

De 1999 à 2005, la teneur en humus est restée stable et l'activité biologique du sol a montré une tendance à l'amélioration. La fumure n'a pas influencé les deux facteurs ci-dessous, ni la réceptivité des maladies liées au sol.

Il n'y a pas de différence de rendement entre les parcelles sans fumure et compost. Ce résultat est explicable de la manière suivante :

- les teneurs en humus sont satisfaisantes;
- le sol est lourd et réagit très lentement à des déficits en éléments nutritifs;
- le compost de déchets verts apporté sur le procédé B amène très peu d'azote disponible.

De 2000 à 2005, les rendements moyens sont restés stables. La rentabilité de la production de trèfle violet semence a été insuffisante.

Les rendements ont été équivalents aux références pour les blés après féverole et les blés après trèfle violet semence (~39 dt / ha), ainsi que pour le tournesol (22 dt / ha). Ils étaient inférieurs aux références pour le blé après tournesol (28 dt / ha), la féverole (22 dt / ha) et le trèfle violet semence (1.3 dt / ha).

Les deux seules adventices ayant posé réellement problème sont le chardon des champs et le vulpin des champs. Au bout de six ans, les interventions mécaniques (préparation du sol, désherbage, déchaumage) n'étaient plus suffisantes pour combattre le chardon. Le temps utilisé pour couper manuellement les chardons a donc augmenté d'année en année. La présence de quatre cultures d'automne dans la rotation s'est avérée excessive pour la maîtrise à long terme du vulpin, ce dernier ayant prétérité le rendement de la féverole, voire des autres cultures. Les autres adventices étaient présentes en quantité moindre et leur densité est restée stable. La maîtrise des adventices a été possible grâce à l'adaptation permanente des techniques culturales (choix des variétés, techniques de désherbage, itinéraires culturaux). De 2001 à 2005, le nombre d'interventions mécaniques est resté stable, ce qui atteste d'une certaine maîtrise du système mis en place à Mapraz.

Les maladies n'ont posé aucun problème notoire.

Les oiseaux ont provoqué des pertes de rendement du tournesol (en raison de la petite taille des parcelles d'essai). Les limaces ont causé des dégâts occasionnels à la levée du blé et à celle du trèfle violet.

Les résultats de Mapraz ont été comparés à quelques références (essai DOC, études allemandes sur les systèmes de production bio sans bétail, etc.). Selon les références allemandes, il n'est pas encore possible de dire avec certitude quelle est la durabilité des systèmes de production bio avec très peu ou pas de prairies temporaires dans la rotation et sans engrais de ferme.

L'essai se poursuit avec les changements principaux suivants pour 2006 à 2011 :

- abandon de la fumure extérieure ainsi que de la culture du tournesol et du trèfle violet semence;
- introduction de deux rotations culturales de six ans, comportant une ou deux années de prairies temporaires à base de luzerne selon le cas. Le fourrage sera récolté et exporté et non plus broyé.

1. Introduction

Dans les régions propices aux grandes cultures de notre pays, (Suisse romande mais aussi certains endroits de Suisse allemande), il y a de nombreuses exploitations sans bétail. Beaucoup de questions se posent dans l'hypothèse d'une reconversion à l'agriculture biologique :

- est-il possible de vivre d'une exploitation bio de grandes cultures et sans bétail ?;
- les rendements physiques et économiques sont-ils suffisants ?;
- quels sont les principaux problèmes techniques et écologiques ? Comment les résoudre ?

L'objectif principal de la Ferme pilote de Mapraz consiste à chercher des réponses à ces questions.

Pour réaliser cet objectif, COOP, leader de la commercialisation des produits biologiques, a mis à disposition un terrain de 5.7 ha au Chemin de Mapraz à Thônex / GE, afin d'y mettre en place la Ferme pilote de Mapraz; le FiBL (Institut de recherche de l'agriculture biologique) en est responsable, Josy Taramaraz (AGRIDEA Lausanne) en est le gérant et Jacques Chollet (agriculteur à Gy / GE) effectue les travaux des champs.

Figure 1 : Vue générale de la Ferme pilote de Mapraz



- Sur la Ferme pilote, un essai de longue durée consistant à conduire une rotation culturale de six ans pendant au moins douze ans (deux rotations) et dans des conditions bio "sans bétail" a été mis en place en automne 1999.
- La Ferme pilote répond aux conditions de l'Ordonnance sur l'agriculture biologique ainsi qu'à celles du cahier des charges de Bio Suisse. Elle bénéficie d'une certification bio.

2. Matériel et méthodes

2.1 Conditions naturelles de Mapraz

2.1.1 Le sol

Le sol de Mapraz est lourd. C'est une terre argilo-limoneuse (39 à 49% d'argile; 36 à 46% de silt), profonde (> 80 cm), riche en calcaire, avec un pH de 7.7 à 7.9 et une bonne capacité de rétention en eau. La teneur en matière organique est normale à élevée (3.8 à 5.7%).

La couche supérieure du sol est assez homogène. Par contre, le sous-sol est hétérogène et provoque des différences de croissance des cultures à l'intérieur des parcelles.

Le terrain d'essai est pratiquement plat. Il comprend une cuvette peu profonde (moins de 2 m de dénivelé sur l'ensemble) qui occupe environ 1/5 de la surface totale et qui est colonisée par de la prêle.

2.1.2 Le climat

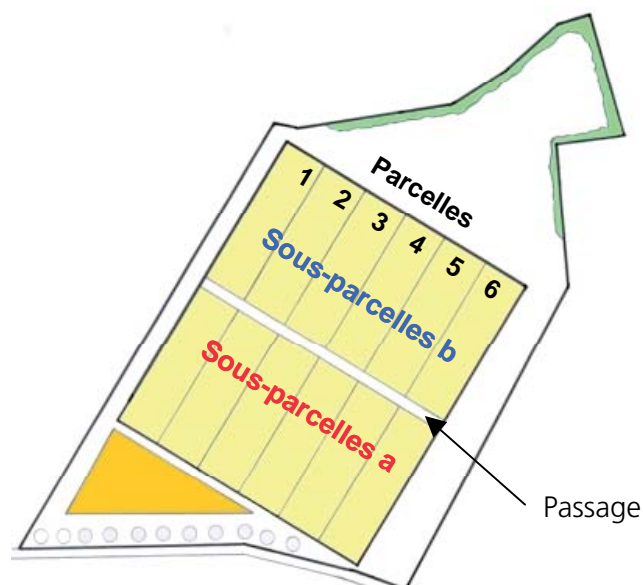
Les précipitations annuelles représentent 900 à 950 mm en moyenne (moyenne 1961 à 1990 : 970 mm à Cointrin). Le climat genevois est sec avec un déficit hydrique moyen de 100 mm sur la période de végétation.

2.2 Dispositif de l'essai

Sur les 5.7 ha, 3.31 ha servent à l'essai proprement dit. Le reste est constitué de surfaces de compensation écologique et de surfaces de réserve (figure 2).

La 1^{ère} phase de l'essai de la Ferme pilote de Mapraz (de 2000 à 2005) a duré six ans. Seuls les résultats des années 2001 à 2005 sont mis en valeur dans ce rapport; les résultats de 2000 (1^{ère} année d'essai sans effet du précédent cultural) ont été laissés de côté.

Figure 2 : Plan de la Ferme pilote de Mapraz



- L'essai comprend six parcelles de 55.2 ares chacune.
- Chaque parcelle est partagée en deux sous-parcelles de 92 x 30 m = 27.6 ares.
- L'essai comprend deux procédés :
 - procédé A = aucune fumure extérieure (sous-parcelles a);
 - procédé B = apport de compost de déchets verts (sous-parcelles b).
- L'essai ne comprend pas de répétitions.
- La largeur de 30 mètres est bien adaptée aux travaux des machines.
- Un passage de 10 mètres sépare les sous-parcelles a et b.

La rotation des cultures dure six ans. Elle comprend quatre cultures semées en automne, un tournesol et un trèfle violet pour la production de semences (ou "trèfle violet semence") (tableau 1; détails à l'annexe 1).

Tableau 1 : Rotation des cultures 2000 à 2005, cultures secondaires et travaux après récolte.

Place dans la rotation	Culture principale (densité de semis)	Culture secondaire Travaux après récolte	Remarques
1	Blé d'automne (~ 450 grains / m ²)	Semis de trèfle violet dans le blé au printemps comme engrais vert.	Si mauvaise installation du trèfle dans le blé : déchaumage puis engrais vert
2	Tournesol (~ 74 grains / m ²)		
3	Blé d'automne (~ 450 grains / m ²)	Déchaumage après récolte	Seigle les trois premières années (2000-2002)
4	Féverole d'hiver (30 - 50 grains / m ²)	Déchaumage après récolte	Pois protéagineux de printemps les deux premières années (2000-2001)
5	Blé d'automne (~ 450 grains / m ²)		
6	Trèfle violet semence (~ 20 kg / ha)		Implantation par sous-semis dans le blé précédent ou par semis d'automne après la récolte du blé. Broyage de la 1 ^{ère} coupe.

Cette rotation des cultures est risquée pour les raisons suivantes : forte part de cultures d'automne (67 %), faible part de prairie temporaire (17 %, le trèfle violet semence fait office de prairie temporaire). Elle devrait permettre de tester les limites du système de grandes cultures bio sans bétail.

2.3 Fertilisation

La fertilisation s'appuie sur trois piliers :

- pilier 1 = production maximale d'azote par les légumineuses. Il y a deux cultures principales de légumineuses dans la rotation, à savoir le trèfle violet semence, qui occupe le sol pendant 12 à 18 mois, et la féverole d'hiver. Il y a également un engrais vert de légumineuses, à savoir le sous-semis de trèfle violet dans le 1^{er} blé de la rotation;
- pilier 2 = restitutions. Toutes les pailles ainsi que la 1^{ère} coupe du trèfle violet semence sont broyées sur place;
- pilier 3 = fertilisation de fond avec des engrais extérieurs. Seul le procédé B bénéficie d'une fertilisation extérieure sous la forme d'un apport de compost de déchets verts. Ce compost est âgé d'au moins un an. Il est épandu sur le blé, en automne entre le labour et le semis, ou en hiver si cela n'a pas été possible en automne. Ainsi, le procédé B reçoit 32 m³ par ha un an sur deux, ce qui représente 16 m³ par ha et par an en moyenne. Cette quantité a été calculée de manière à équilibrer les besoins en phosphore (méthode Suisse-Bilanz). Le choix s'est porté sur le compost de déchets verts, engrais organique bon marché et facilement disponible, car dans les régions de grandes cultures sans bétail, la possibilité de reprise d'engrais de ferme chez des agriculteurs et agricultrices du voisinage est pratiquement inexistante.

Figure 3 : Gestion de la fumure azotée : deux cultures de légumineuses et un engrais vert légumineuses



Trèfle violet semence
1^{ère} coupe mulchée



Légumineuse à graines
en 4^{ème} année



Trèfle violet comme engrais vert
en sous-semis dans le blé

3. Résultats et commentaires

3.1 Rotation des cultures

De 1999 à 2005, la rotation des cultures a évolué de la manière suivante :

- dès 2002, la féverole d'hiver a remplacé le pois protéagineux de printemps. Explication : le semis du pois protéagineux est difficile en février ou mars en sol lourd et humide;
- dès 2003, le blé d'automne remplace le seigle d'automne. Explication : après la récolte du tournesol, il est difficile de semer le seigle d'automne à temps. D'autre part, les plantules de seigle sont fortement attaquées par les limaces.

3.2 Fertilisation

Les apports de compost de déchets verts dans le procédé B ont eu lieu comme prévu sauf en hiver 2004-2005. Cet hiver-là, le compost n'a pas pu être épandu sur le blé en raison de conditions trop humides. Sur la période 2000 à 2005, le taux de couverture des besoins a été de 10 % pour l'azote disponible (N_{disp}) et de 89 % pour le phosphore (tableau 2). Les apports en K et Mg ont été excédentaires.

Tableau 2 : Taux de couverture des besoins (en %) selon Suisse-Bilanz de 2001 à 2005

	N_{tot}	N_{disp}	P_2O_5	K_2O	Mg
Procédé A	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Procédé B	101 %	10 %	89 %	212 %	405 %

Les apports en azote total (N_{tot}) dans le procédé B ont atteint 51 kg d'azote par ha et par an, tandis que l'azote disponible n'a représenté en moyenne que 5 kg par ha et par an.

Remarque : le Suisse-Bilanz ne tient pas compte des apports d'azote par les légumineuses.

3.3 Analyses de sol

Des analyses de sol détaillées ont été effectuées en 1999 et en 2005. Les résultats figurent au tableau 3 et à l'annexe 2. Les résultats principaux sont commentés ci-après.

3.3.1 Teneur en humus

La teneur en humus est satisfaisante. Elle est restée stable de 1999 à 2005 : elle n'a pas diminué sous l'influence de la forte proportion de terres ouvertes, de la fréquence élevée des labours ou de l'absence de fertilisation extérieure dans le procédé A. Il est toutefois prématuré de tirer des conclusions, car l'évolution de la teneur en humus dans des sols riches en argile est très lente.

3.3.2 Activité biologique

L'activité biologique a été mesurée selon une méthode expliquée à l'annexe 2.

Il y a une tendance à l'amélioration de l'activité biologique de 1999 à 2005, aussi bien dans le procédé A que le procédé B, mais cette évolution n'est pas statistiquement assurée. Par ailleurs, il n'y a pas d'influence de la fumure (pas de différence entre les procédés A et B en 2005).

3.3.3 P, K, Mg

Le sol est normalement pourvu en phosphore, potasse et magnésium. De 1999 à 2005, l'évolution des teneurs de certaines sous-parcelles est parfois contradictoire. Certaines parcelles, considérées comme pauvres en 1999, sont normalement pourvues en 2005; pour d'autres parcelles, c'est exactement le contraire. Les résultats de 2005 ont été confirmés par des analyses en 2006. Par contre, il n'est plus possible de vérifier si les résultats 1999 sont fiables. On ne peut donc exclure à 100 % une erreur de laboratoire ou de prélèvement en 1999. En conséquence, il n'est pas possible d'identifier une influence du temps ou de la fumure sur les résultats d'analyse.

Tableau 3 : Evolution des principaux résultats d'analyse du sol

Procédé	Année	pH	Humus (%)	Activité biologique	P (DL)	K (DL)	Mg (DL)
A *	1999	7.9	5.4	4.9	7	8	18
A *	2005	7.9	5.2	4.3	13	9	20
B **	1999	8.0	5.3	4.7	12	9	18
B **	2005	8.0	5.5	4.1	8	9	21

Méthodes d'analyses utilisées : voir annexe 2

* Moyenne des sous-parcelles a

** Moyenne des sous-parcelles b

3.3.4 Azote disponible du sol

Des analyses de l'azote disponible du sol N_{min} (ou azote nitrique et ammoniacal disponible) ont été effectuées de 2001 à 2005 :

- en automne et au printemps sur toutes les parcelles de blé;
- de sept à neuf fois par saison sur les sous-parcelles 1a et 1b.

En voici les résultats :

- il n'y a pas de différence d'azote disponible entre les procédés A et B;
- les niveaux sont élevés en général, sauf pour les blés après tournesol;
- la quantité d'azote disponible dans le blé après tournesol est toujours inférieure à celle dans les blés après trèfle violet semence ou féverole;
- la quantité d'azote disponible dans le blé après trèfle violet semence (dont la 1^{ère} coupe est broyée) est du même niveau que celle dans le blé après féverole.

Bien que les quantités d'azote disponible ne soient de loin pas le seul facteur de rendement, ces résultats appuient les observations au champ :

- pas de différence de rendement entre les procédés A et B;
- un niveau général de rendement supérieur à ce qui était attendu;
- des rendements du blé plus faibles après tournesol qu'après les autres précédents culturaux;
- des rendements du blé semblables après féverole ou après trèfle violet semence.

3.3.5 Réceptivité aux maladies liées au sol

Figure 4 : Test de germination du sol de parcelles de Mapraz.



La réceptivité aux maladies liées au sol de quatre parcelles de la Ferme pilote de Mapraz a été testée par le FiBL en 2003 :

- aucune différence significative n'a été trouvée entre le procédé A et le procédé B;
- l'effet du compost sur la vie microbienne du sol étant un effet à long terme, on peut supposer qu'il lui faudra plus de temps pour se manifester.

3.4 Adventices

3.4.1 Stratégie de maîtrise des adventices

La lutte contre les adventices a été menée de la manière suivante :

- déchaumage après la féverole d'hiver et après les blés ne comportant pas de sous-semis de trèfle violet;
- labour presque systématique;
- densité de semis élevée pour la féverole d'hiver (50 grains / m² au lieu des 25 à 30 grains / m² conseillés);
- herse étrille dans les céréales et la féverole d'hiver;
- sarcluse dans le tournesol;
- coupe manuelle des chardons.

Les faux-semis n'ont pas été pratiqués. En effet, par temps humide, le sol lourd de Mapraz se ressuie mal s'il est aplani par des faux-semis successifs entre le labour et le semis.

3.4.2 Stratégie par culture

Blé d'automne :

- désherbage à la herse étrille au printemps, entre la sortie de l'hiver et le début de la montaison;
- un à trois passages selon les années (en moyenne 2.1 passages).

Tournesol :

- désherbage avec deux passages de sarleuse;
- la sarleuse étoile a été remplacée par une sarleuse à socs pour le premier passage dès 2004, afin de mieux lutter contre les chardons.

Féverole :

- désherbage à la herse étrille, entre mi-mars et début avril;
- un à deux passages selon les années (en moyenne 1.2 passages).

Trèfle violet semence :

- au printemps, la 1^{ère} coupe est broyée aux environs du 20 mai;
- aucun désherbage manuel n'est effectué. A la récolte, le trèfle violet est très dense, quelques adventices dont des chardons.

3.4.3 Résultats généraux

Les deux seules adventices posant réellement problème sont le chardon des champs (*Cirsium arvense*) et dans une moindre mesure le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*). Cette évolution était prévisible étant donné les caractéristiques de la rotation (voir chapitre 2.2).

Figure 5 : Blé après tournesol



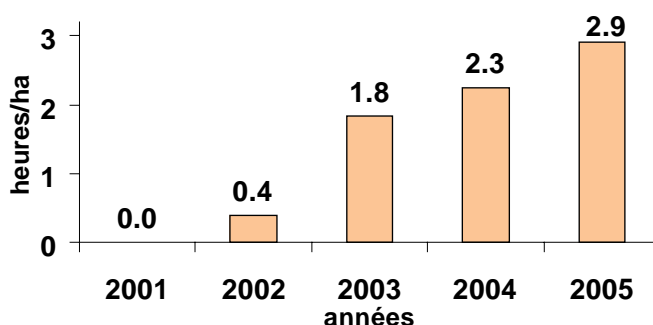
- D'une manière générale, les blés ont un degré de propreté tout à fait acceptable.
- En raison du manque d'azote, le blé après le tournesol (photo) est plus court que les blés après les autres précédents culturaux, il laisse donc passer davantage de lumière jusqu'au sol; malgré cela, la densité d'adventices n'a pas été supérieure à celle constatée dans les autres blés.

3.4.4 Chardon des champs

Présent dans toutes les parcelles, le chardon se multiplie par taches à partir des bords des parcelles. La taille restreinte des parcelles ainsi que des travaux des champs moins intensifs sur les bords des parcelles favorisent cette multiplication.

La densité du chardon des champs a augmenté d'année en année. La durée du trèfle violet semence (12 à 18 mois tous les six ans) n'est pas suffisante pour réduire la pression des chardons. Le déchaumage et le désherbage mécanique doivent être complétés par une intervention manuelle (coupe des chardons avant l'ouverture des capitules) et cette dernière est passée de 0.4 à 2.9 heures / ha entre 2000 et 2005, atteignant ainsi des niveaux difficilement supportables (voir chapitre 3.6, tableau 4).

Figure 6 : Temps consacré à la coupe manuelle des chardons



La herse étrille n'est pas efficace contre le chardon. La féverole concurrence bien le chardon et peu d'entre-eux parviennent à y mûrir. La densité élevée de semis de la féverole permet la maîtrise de cette adventice. C'est dans le tournesol que le chardon se développe le plus. Pour lutter contre ce problème, la sarleuse à pattes d'oies a remplacé, dès 2004, la sarleuse étoile pour le 1^{er} sarclage car elle coupe mieux les chardons; le 2^{ème} sarclage continue d'être effectué avec la sarleuse étoile mais aussi tard que possible, à la limite de passage du tracteur. Le tournesol est alors suffisamment développé pour freiner les chardons. Dans le trèfle violet semence, seuls quelques rares chardons arrivent à produire des graines lors de la 2^{ème} coupe.

3.4.5 Vulpin des champs

Il est fortement présent dans les cultures semées en automne (blé et féverole). Après le démarrage de la végétation au printemps, ces deux cultures prennent toutefois le dessus. La herse étrille n'a que peu d'efficacité contre le vulpin.

Figure 7 : Vulpin dans la féverole

Féverole d'hiver en mai, le vulpin dépasse la féverole.



Féverole d'hiver en juin, le vulpin est étouffé.

Le vulpin pénalise probablement le rendement du blé et surtout celui de la féverole. Au moment de la récolte, la présence de vulpin est en général tout à fait acceptable dans ces deux cultures. En 2004, le 3^{ème} passage de herse étrille dans le blé, effectué le 24 avril, a couché le vulpin; ce dernier ne s'est pas relevé par la suite.

Dans la féverole, le vulpin est fortement présent jusqu'en mai, puis la culture prend le dessus et "l'engloutit" littéralement, sans en empêcher totalement la production de semences. La densité élevée de semis de la féverole contribue à la maîtrise de cette adventice.

Le trèfle violet est également fortement colonisé par le vulpin quand il est semé en automne. Le broyage de la 1^{ère} coupe de trèfle au printemps le détruit presque entièrement.

3.4.6 Autres adventices

Elles sont présentes en quantité limitée et leur densité semble rester stable. Le gaillet gratteron (*Galium aparine*), le coquelicot (*Papaver rhoeas*), le mouron des oiseaux (*Stellaria media*), la véronique à feuille de lierre (*Veronica hederifolia*) et la véronique de Perse (*Veronica persica*) sont présents dans toutes les cultures mais en faible quantité. Le chiendent (*Agropyron repens*) et le liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) sont présents par petites taches et sont bien maîtrisés par le déchaumage. La folle-avoine (*Avena fatua*) est surtout présente le long des bordures de parcelles. La prêle des champs (*Equisetum arvense*) est présente dans la cuvette du champ. Dans le tournesol, le chénopode blanc (*Chenopodium album*), la renouée des oiseaux (*Polygonum aviculare*) et les différents millets sont combattus, sans difficulté majeure, par le sarclage. Il n'y a pratiquement pas de rumex (*Rumex obtusifolius*) à Mapraz.

3.4.7 Evolution de la stratégie de lutte contre les adventices

De 1999 à 2005, la stratégie de maîtrise des adventices a progressivement évolué :

- remplacement de la sarleuse étoile par la sarleuse à pattes d'oies;
- intensification du déchaumage;
- dès 2005, choix d'une variété de blé plus haute et avec des feuilles larges et retombantes (Pollux) permettant une meilleure concurrence face aux adventices.

Figure 8 : Désherbage de la féverole à Mapraz



La lutte contre les mauvaises herbes se fait :

- avec la herse étrille pour le blé et la féverole;
- avec une sarleuse à pattes d'oies et avec une sarleuse étoile dans le tournesol.

Entre 2001 et 2005, en moyenne :

- 1,2 hersages dans la féverole;
- 2,1 hersages dans le blé;
- 1,6 sarclages dans le tournesol.

3.5 Maladies et ravageurs

Les maladies et ravageurs ont peu affecté l'essai. Les quatre problèmes principaux sont :

- septoriose sur feuilles dans le blé;
- oiseaux dans le tournesol (en 2004 et surtout 2005);
- dégâts aux semis dus aux limaces;
- pucerons sur la féverole (seulement en 2002).

Tous les problèmes (principaux ou secondaires) rencontrés sont mentionnés ci-après.

Blé

- Septoriose sur feuille (*Septoria ssp*) : exerce une pression moyenne.
- Rouille brune (*Puccinia recondita*), rouille jaune (*Puccinia striiformis*), oïdium (*Erysiphe graminis*), piétin-verse (*Pseudocercospora herpotrichoides*) : pratiquement absents.
- Limaces : dégâts occasionnels et localisés à la levée du blé, mais plus faibles que pour le seigle.
- Criocères (*Oulema ssp*) : il y en a pratiquement chaque année, mais sans dégâts.
- Pucerons : pratiquement absents.

Seigle

- Limaces : dégâts chaque année à la levée, particulièrement sur des bandes de 3 à 6 m situées dans les bords des parcelles.

Tournesol

- Limaces : faibles dégâts (la densité de semis du tournesol est supérieure aux recommandations usuelles (74'000 graines / ha) pour compenser des éventuels dégâts).
- Phoma (*Phoma macdonaldi*) : présence marquée seulement en 2004 (toutes les plantes ont des taches de phoma à mi-août).
- Oiseaux : forts dégâts à la récolte en 2004 et dans une moindre mesure en 2005, pratiquement aucun les autres années. Les pertes de rendement sont très inégales d'un bout à l'autre des différentes parcelles. Les oiseaux s'attaquent surtout aux petites parcelles de tournesol (= moins de 1 ha), ce problème est donc inévitable en raison de la taille restreinte des parcelles d'essai (0.54 ha).

Figure 9 : dégâts d'oiseaux en 2004 et 2005



Féverole d'hiver

- Rouille (*Uromyces fabae*) : souvent présente mais exerce une pression négligeable.
- Puceron noir (*Aphis fabae*) : a occasionné la perte totale de la récolte en 2002. Il a exercé une pression insignifiante les autres années.

Figure 10 : Culture de féverole anéantie par les pucerons noirs 2002.



Trèfle violet semence

- En 2004, les limaces ont provoqué la perte partielle du semis de trèfle violet semence, tant lors du sous-semis dans le blé que lors du ressemis en septembre.

3.6 Interventions culturales

De 2001 à 2005, le nombre d'interventions mécaniques est resté relativement stable (tableau 4 et annexe 3). Malgré la pression du chardon et du vulpin, le recours aux machines a été limité par l'amélioration constante de la connaissance de la parcelle et de la gestion de la ferme pilote. Par contre, le nombre d'heures consacré au désherbage manuel a constamment augmenté en raison de la prolifération des chardons (annexe 4).

Figure 11 : Semis des cultures d'automne à Mapraz



L'installation des cultures dans le sol lourd de Mapraz est difficile. Le semis directement sur le labour est la méthode la plus pratiquée pour installer les cultures d'automne.

Tableau 4 : Interventions culturales mécaniques et manuelles

	2001	2002	2003	2004	2005
Interventions mécaniques : nombre	5.5	7.2	6.7	8.3	6.0
Interventions mécaniques : heures / ha	6.7	8.5	7.9	9.5	7.3
Désherbage manuel : heures / ha	0.0	0.4	1.8	2.3	2.9
<i>Méthodologie de calcul : voir annexe 4</i>					

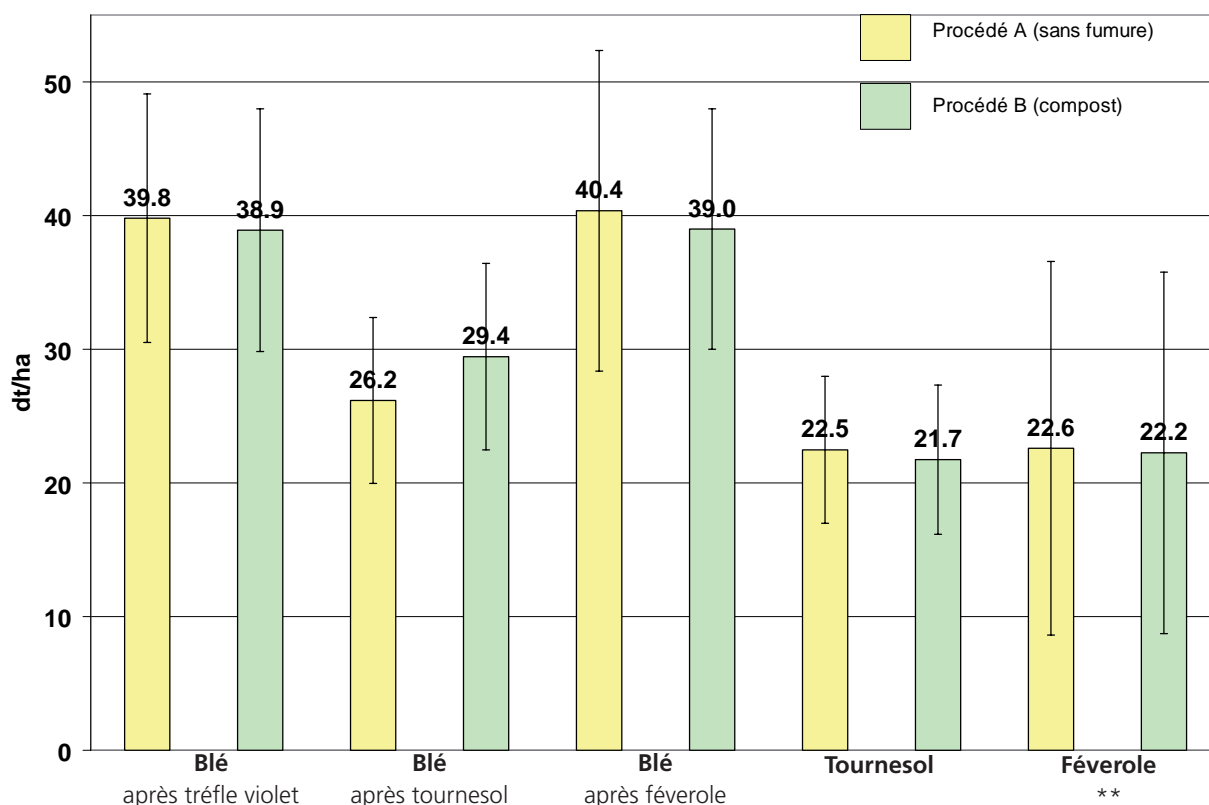
Aucune mesure exacte de l'évolution de la structure du sol n'a été faite à Mapraz, mais il a été observé que les sols se travaillaient plus facilement en 2005 que lors du démarrage de l'essai en 1999.

3.7 Rendements et qualité des produits

3.7.1 Influence de la fumure

Il n'y a pas de différence de rendement entre les procédés A et B (moyenne des années 2001 à 2005). Les apports de compost de déchets verts n'ont donc pas eu d'influence sensible sur les rendements (voir graphique). Explications : les apports d'azote disponible sont faibles (cinq unités d'azote par ha et année) et la réaction aux apports d'engrais organiques est lente sur sol lourd.

Figure 12 : Rendements des cultures dans les procédés A et B (moyenne de 2001 à 2005) et écart-type.



* Seigle au lieu de blé en 2001 et 2002

** Pois protéagineux de printemps au lieu de féverole d'hiver en 2001

3.7.2 Niveau des rendements (tableau 5)

Blé d'automne

L'influence du précédent cultural est très marquée. Les rendements des blés après trèfle violet semence et féverole sont similaires à la référence (catalogue marges brutes). Ceux du blé après tournesol lui sont inférieurs de 30 %. Le blé profite des reliquats azotés et d'une bonne structure du sol après trèfle violet semence et féverole. Après tournesol, le blé est toujours plus frêle que les blés après les autres précédents et il ne talle pas. Ceci est dû à une carence azotée (sols "vides") en 3^{ème} année de rotation et à la part d'azote mobilisée pour la dégradation des résidus de tournesol.

Le rendement moyen des blés après féverole est égal à celui des blés après trèfle violet semence. Le précédent trèfle violet semence, avec le broyage de la première coupe, n'a donc pas été plus "efficace" que la culture de féverole d'automne en terme d'effet sur le rendement de la culture suivante (effet azote, structure du sol, etc.).

La terre est plus facile à travailler après la féverole qu'après le trèfle violet semence et la mise en place du blé y est facilitée. Les plus belles parcelles de blé à l'entrée de l'hiver sont toujours celles de blé après féverole.

Le remplacement du seigle par du blé après le tournesol, dès 2003, n'a pas permis de gain de rendement, bien qu'il y ait moins de problèmes de mise en place (risque de limaces) pour le blé que pour le seigle.

Tournesol

Le rendement moyen du tournesol (22.1 dt/ha) est identique à la référence. Les rendements ont plus ou moins régulièrement baissé entre 2001 et 2005. Une part importante de cette baisse est due aux dégâts d'oiseaux en augmentation dans cette région urbaine.

Féverole

Le rendement moyen de la féverole d'hiver (22.4 dt / ha) est nettement inférieur à la référence (34 dt / ha pour la féverole de printemps). La récolte de féverole a été complètement détruite par une attaque de pucerons en 2002.

Trèfle violet semence

Sur cinq ans, deux récoltes n'ont pas pu être effectuées :

- le trèfle violet n'a pas supporté l'hiver 2001-2002. Au printemps 2002, il a été remplacé par un semis de trèfle d'Alexandrie et de Perse qui a servi d'engrais vert;
- en 2004, le broyage de la 1^{ère} coupe a été effectué trop tôt, rendant nécessaire le broyage de la 2^{ème} coupe car celle-ci était envahie par les vulpains. La 3^{ème} coupe, trop tardive, n'a pas pu servir à la production de graines.

De plus, sur cinq ans, les implantations par sous-semis dans le blé d'automne n'ont pas réussi à trois reprises à cause de la sécheresse. Le trèfle violet semence a dû être ressemé après la récolte du blé. Ces résultats montrent que la production de trèfle violet semence est aléatoire dans les conditions de Mapraz.

Tableau 5 : Rendements à Mapraz (moyennes procédés A et B) et rendements de référence (dt / ha)

Culture	Blé d'automne après			Tournesol	Féverole d'hiver	Trèfle violet semence	Somme des rendements de toutes les cultures
	Trèfle violet semence	Tournesol	Féverole				
2001	28.2	20.4*	26.6	28.5	28.9**	1.2	133.8
2002	50.7	25.7*	47.7	23.3	0.0	0.0	147.4
2003	32.6	23.7	31.4	20.2	20.8	2.0	130.7
2004	42.8	34.0	48.8	21.2	26.7	0.0	173.5
2005	42.4	35.2	43.8	17.4	35.7	3.3	177.8
Moyenne 2001-2005	39.4	27.8	39.7	22.1	22.4	1.3	
Référence		39		22	34***	3.5	

Référence : Catalogue marges brutes, 2005; pour le trèfle violet semence, données de l'Association suisse des sélectionneurs, Lausanne, 2005.

* Seigle au lieu du blé en 2001 et 2002.

** Pois protéagineux de printemps au lieu de la féverole d'hiver en 2001.

***Féverole de printemps.

3.7.3 Evolution des rendements de 2001 à 2005

La somme des rendements de toutes les cultures est restée stable de 2001 à 2005 en raison d'une adaptation permanente des techniques culturales et d'un climat très favorable en 2004 et 2005.

3.7.4 Qualité des produits

Le poids à l'hectolitre du blé a été satisfaisant quatre ans sur cinq. Les valeurs standard de 77 kg / hl au minimum n'ont pas été atteintes en 2002 (75.0, respectivement 75.4 kg / hl pour les blés des procédés A et B après pois protéagineux). Les temps de chute ont toujours été supérieurs à 300. Aucun autre critère de qualité n'a été mesuré.

3.8 Résultats financiers

3.8.1 Méthodologie

La marge brute a été calculée de la manière suivante : rendements moyens 2001 à 2005 (moyenne des procédés A et B) et prix 2005 (annexe 5 et tableau 6). Les coûts de semences ont été calculés à partir de la densité de semis moyenne (2001 - 2005) et des prix 2005. Les autres détails concernant la méthodologie figurent au bas de l'annexe 5.

Etant donné qu'il n'y a pas de différence de rendement entre les procédés A et B et que les coûts spécifiques sont identiques, la marge brute n'a pas été calculée séparément pour les deux procédés. La seule différence entre A et B du point de vue du résultat financier final est due aux coûts de l'épandage du compost de déchets verts dans le procédé B (Fr. 200.- / ha). Ce coût n'est pas intégré dans les calculs qui suivent.

3.8.2 Marge comparable par culture

Tableau 6 : Marge comparable par culture, moyenne des procédés A et B et de 2001-2005 (en Fr. / ha)

Place dans la rotation	1	2	3	4	5	6	Moyenne de la rotation
Cultures	Blé	Tournesol	Blé	Féverole	Blé	Trèfle violet	
Rendements (dt / ha)	39.4	22.1	27.8	22.4	39.7	1.3	
Prestation	4498	3931	3291	3102	4529	2037	3565
Coûts spécifiques *	525	407	455	546	526	570	505
Marge comparable	3973	3524	2836	2556	4003	1467	3060
* sans les coûts d'épandage du compost							

La marge comparable du blé après trèfle violet semence et après féverole est similaire aux références (catalogue marges brutes, 2005). Il en va de même pour celle du tournesol.

Les marges comparables de la féverole et du blé d'automne après tournesol sont faibles. Ce résultat est dû au faible rendement de ces deux productions et non pas à des coûts spécifiques spécialement élevés.

La marge comparable du trèfle violet semence est spécialement faible : la rentabilité de cette production est insuffisante à Mapraz.

Les meilleures marges comparables sont celles des deux blés avec une légumineuse comme précédent (Fr. 3973.- / ha et Fr. 4003.- / ha) et les deux moins bonnes sont celles de ces deux légumineuses (Fr. 2556.- / ha pour la féverole et Fr. 1467.- / ha pour le trèfle violet).

3.8.3 Marge comparable de la rotation

La marge comparable de la rotation (tableau 7, première colonne) est comparée à la marge comparable de la même rotation mais calculée selon les références. Les résultats sont présentés au tableau 8.

Tableau 7 : Marge comparable de la rotation, moyenne des procédés A et B et de 2001-2005 (en Fr. / ha)

	Mapraz	Références
Prestation	3565	4369
dont vente des produits	2778	3524
Coûts spécifiques	505	554
Marge comparable	3060	3815
<i>Références : Catalogue marges brutes, 2005; pour le trèfle violet semence, données de l'Association suisse des sélectionneurs, Lausanne, 2005.</i>		

Par rapport aux références, les résultats de Mapraz diffèrent sur les points suivants :

- la prestation est inférieure de Fr. 800.- / ha dont Fr. 745.- / ha pour la vente de produits;
- les coûts spécifiques sont inférieurs de Fr. 50.- / ha;
- la marge comparable est inférieure de Fr. 755.- / ha.

4 Discussion et conclusions

4.1 Teneur en humus

Dans l'essai de Mapraz, la teneur en humus n'a pas varié de 1999 à 2005. Par ailleurs, il n'y a pas de différenciation entre le procédé A (sans fumure) et B (avec compost de déchets verts). Toutefois, il se pourrait que la teneur en humus diminue à long terme.

Dans d'autres essais de longue durée, sur des sols moins lourds qu'à Mapraz, des baisses statistiquement significatives de la teneur en humus ont eu lieu, parfois après cinq à dix ans déjà.

Ainsi, dans l'essai DOC, mis en place à Therwil / BL en 1977, la teneur en humus (en %) a baissé pour le procédé NOFERT (sans aucune fumure, culture bio-dynamique) de 2.7 % à 2.1 % en 21 ans. Seul le procédé avec des apports d'engrais de ferme équivalent à 1.4 UGBF et le mode de culture biodynamique ont réussi à maintenir le taux d'humus à son niveau initial. Le sol contient 15 % d'argile et 70 % de silt; la rotation culturale comprend deux ans de prairie temporaire sur sept (Fließbach et al., 2006).

Dans l'essai d'Agroscope ACW à Changins / VD, mis en place en 1963, la teneur en humus a baissé de 3.5 % à 2.7 % les huit premières années puis s'est stabilisée pendant 20 ans et a diminué à nouveau les 12 dernières années pour s'établir à 2.4% en 2003 (2.2 à 2.6 selon les procédés). Le mode de culture est conventionnel, le sol contient 21 % d'argile et 43 % de silt; la rotation de quatre ans ne comprend aucune prairie temporaire. Tous les procédés reçoivent de la fumure (minérale ou / et organique) (Vullioud et al., 2004).

4.2 Approvisionnement en azote

Figure 13 : Broyage du trèfle violet : résultats décevants



- Les rendements du blé après trèfle violet semence, avec broyage de la 1^{ère} coupe du trèfle violet, ne sont pas supérieurs à ceux après féverole.

L'approvisionnement en azote a été un des points forts des réflexions lors de la journée des chercheurs ou chercheuses et des conseillers ou conseillères bio du 2 juin 2004 à Mapraz. Parmi les propositions émises, retenons les suivantes :

- ne pas cultiver de blé après le tournesol;
- récolter la 1^{ère} coupe du trèfle violet semence au lieu de la broyer;
- éventuellement la composter et l'épandre sur les blés.

Les résultats des analyses de N_{\min} dans les blés à Mapraz confirment qu'il n'y a pas davantage d'azote disponible après trèfle violet (dont la première coupe est broyée) qu'après féverole.

Ces réflexions rejoignent en bonne partie celles de Schmidt (2004). En ce qui concerne les prairies broyées, Schmidt constate que les légumineuses de ces prairies diminuent voire arrêtent leur fixation symbiotique d'azote, que les pertes d'azote par évaporation ou par lessivage peuvent être grandes et que l'arrière-effet sur la culture suivante est difficilement appréciable (déficits voire dans certains cas excès d'azote). Il propose de renoncer au broyage au profit de coupes récoltées, ou par défaut, d'introduire des mesures d'optimisation du broyage (date de mise en place de la prairie, technique du broyage, technique de l'enfouissement de la prairie avant la prochaine culture, etc.).

4.3 Adventices

A Mapraz, la pression du chardon des champs a continuellement augmenté. En Allemagne (Schmidt, 2004), les mesures les plus fréquemment recommandées pour contenir le chardon sur les exploitations bio de grandes cultures sans bétail sont :

- l'allongement de la durée de la prairie temporaire dans la rotation;
- l'installation de mélanges de prairies temporaires comprenant des légumineuses de haute taille telles la luzerne;
- des interventions mécaniques intensives (déchaumage, labour, sarclage);
- l'augmentation de la part de cultures de printemps concurrentielles, précédées d'un labour de printemps;
- sur des surfaces fortement infestées, des mesures d'assainissement, telles que le semis d'engrais verts au printemps (féverole et légumineuses fourragères), suivi de broyage puis de déchaumages répétés (Schmidt, 2004).

La forte proportion de vulpin des champs est due à la part importante de cultures d'automne dans la rotation. Le blé et la féverole arrivent à concurrencer assez bien cette adventice mais leurs rendements sont très probablement affectés. Il en serait autrement pour des cultures d'automne peu concurrentielles, comme le pois d'hiver par exemple, qui pourraient subir des chutes de rendements plus importantes. Une réduction de la pression du vulpin passe obligatoirement par une diminution de la part des cultures d'automne.

4.4 Rendements

A Mapraz, les rendements ont été stables, voire en légère augmentation pour le blé de 2000 à 2005. Les rendements des cultures sont supérieurs aux attentes lors de la mise en place de l'essai. Toutefois, les rendements de la féverole, du trèfle violet semence et du blé après tournesol sont faibles.

Pour le blé d'automne, il est possible que des baisses de rendement aient lieu à long terme en raison de l'absence de fumure. Pour comparaison, dans l'essai DOC, le rendement du blé d'automne du procédé NOFERT a progressivement chuté pendant les 15 premières années de l'essai, puis s'est stabilisé à 65 à 70 % du rendement des procédés avec fertilisation (Fliessbach et al., 2001).

4.5 Durabilité du système de production mis en place à Mapraz

A Mapraz, un dispositif adapté aux conditions locales mais aussi cohérent que possible sur le plan écologique a été mis en place :

- rotation avec le moins possible de prairie temporaire (dans une région avec peu de bétail, les possibilités de vente des fourrages sont limitées, elles peuvent engendrer d'importants coûts de transports);
- rotation avec le plus possible de légumineuses afin d'intégrer le maximum d'azote de l'air au sol (deux cultures de légumineuses sur six ans, un engrais vert légumineuse, ainsi que le broyage de la première coupe de trèfle violet);
- rotation avec forte proportion de cultures d'automne en raison de la difficulté de mise en place de cultures de printemps en sols très lourds;
- fumure du procédé B avec du compost de déchets verts (pas ou peu de possibilité de se procurer du fumier ou du lisier dans des rayons raisonnables dans une région avec peu de bétail; et grande disponibilité de déchets verts près d'une ville).

Par contre, il n'y a pas eu d'innovation dans les itinéraires culturaux; ceux-ci correspondent à la pratique courante en grandes cultures bio.

Le dispositif de Mapraz a permis de tester les limites du système de grandes cultures sans bétail. Les résultats obtenus conduisent aux réflexions suivantes :

- sur le plan du sol (humus, productivité), le système mis en place n'a pas encore montré ses limites. Le trèfle violet semence fait office de prairie temporaire, ce qui permet de dire que la rotation comporte un an sur six ou 17 % de prairies temporaires. Ce pourcentage est conforme au cahier des charges de Bio Suisse mais sera-t-il suffisant pour maintenir en bon état les sols à long terme (état structural et facilité de mise en place des cultures, gestion de l'azote, humus) ?;
- sur le plan des adventices, le système a montré ses limites (augmentation du vulpin et du chardon). Pour faire face à cette situation, il serait risqué d'augmenter la part de cultures de printemps car elles sont difficiles à mettre en place dans les conditions de Mapraz; par contre, il serait facile d'augmenter la part de prairies temporaires.

4.6 Durabilité des systèmes de cultures bio sans ou avec peu de bétail

Selon Schmidt (2004), il n'est pas encore possible de répondre définitivement à la question de la durabilité de tels systèmes en raison d'un nombre insuffisant de références (essais de longue durée, exploitations bio sans bétail depuis des décennies). Etant donné que l'effet très positif de la prairie temporaire et des engrais de ferme sur le sol et la plante est bien attesté, il n'est pas encore possible d'affirmer avec sécurité que des systèmes ne comprenant pas ces deux composantes puissent être durables.

4.7 Leçons de Mapraz pour la pratique

Figure 14 : Visite de cultures à Mapraz en juin 2006



Les enseignements de Mapraz ont pu être diffusés aux agricultrices et agriculteurs à l'occasion de plusieurs visites de groupes.

Des chercheuses et chercheurs suisses et de l'étranger ont également visité la Ferme pilote de Mapraz.

En 2003, les producteurs et productrices bio de grandes cultures, sans ou avec peu de bétail (Clerc et al, 2004), ont résumé leurs principaux problèmes comme suit :

- le manque d'azote organique bon marché;
- les adventices (chardon, folle-avoine, vulpin, rumex, amarante, chénopode, renouée persicaire, liseron);
- les ravageurs (puceron sur pois et féveroles, limaces sur seigle);
- les pointes de travail;
- les rendements stagnants ou en baisse.

L'essai de Mapraz apporte quelques réponses à ces préoccupations.

Il montre :

- qu'en sols très lourds, avec un taux d'humus satisfaisant, le manque d'azote ne provoque pas de baisse de rendements à court ou à moyen terme;
- qu'il faut sans cesse adapter les techniques culturales pour faire face aux adventices (choix des variétés, des techniques de désherbage, des itinéraires culturaux);
- que le choix des cultures et de leur place dans la rotation est limité lorsqu'il s'agit de trouver un système productif et durable;
- qu'une année de prairie temporaire est insuffisante pour maintenir le chardon à un niveau acceptable;
- qu'il faut développer des stratégies adaptées à chaque situation; ce qui a été développé à Mapraz n'est pas forcément reproductible ailleurs.

5 Modification du dispositif d'essai pour 2006-2011

Pour tenir compte des problèmes observés et pour faire face aux questions ouvertes, il a été décidé de modifier le dispositif d'essai en automne 2005 en vue de la 2^{ème} rotation de six ans :

- les apports de compost de déchets verts dans le procédé B sont supprimés. L'essai ne reçoit plus aucune fertilisation extérieure;
- deux nouvelles rotations de culture sont définies (tableau 8). Ainsi, l'essai ne consiste plus à comparer deux procédés de fumure, mais il devient une comparaison de rotations de cultures;
- le tournesol et le trèfle violet semence disparaissent de la rotation culturale. Dans la rotation A, le pois protéagineux de printemps est réintroduit pour couper quelque peu la succession de cultures d'automne. Dans la rotation B, l'orge d'automne est introduite. Cette plante est moins concurrentielle que le blé d'automne par rapport au vulpin, mais elle permet la succession de deux céréales qui est conforme aux directives de Bio Suisse concernant la rotation des cultures qui interdit le réépiage;
- une prairie temporaire avec la luzerne, de un, respectivement de deux ans selon la rotation, est introduite; le fourrage sera récolté et vendu;
- les analyses N_{min} sont abandonnées;
- il est envisagé d'effectuer des observations précises de la structure du sol.

Tableau 8 : Rotation des cultures de 2006 à 2011

Année	Rotation A (sur sous-parcelles a)	Rotation B (sur sous-parcelles b)
1	Blé d'automne	Blé d'automne
2	Pois protéagineux de printemps	Orge d'automne
3	Blé d'automne	Féverole d'hiver
4	Féverole d'hiver	Blé d'automne
5	Blé d'automne	Mélange standard avec luzerne (2 ans)
6	Mélange standard avec luzerne (1 an)	Mélange standard avec luzerne (2 ans)

Lausanne, avril 2007
 Josy Tamarcaz, AGRIDEA et Maurice Clerc, FiBL

Remerciements

Il nous tient à cœur de remercier les institutions et personnes suivantes pour leur appui à la réalisation de cet essai :

- COOP (financement du projet).
- Paul Maeder, FiBL (interprétation des résultats d'analyse de sol).
- Jean-Auguste Neyroud, Agroscope ACW Changins-Wädenswil (interprétation des analyses Nmin).
- Jacques Fuchs, FiBL (tests de la réceptivité aux maladies liées au sol).
- Christophe Poupon, AGRIDEA Lausanne (tests statistiques).
- Sylvain Boéchat, AGRIDEA Lausanne (interventions mécaniques, nombre et heures / ha).
- Raphaël Charles, Agroscope ACW Changins-Wädenswil (références en matière d'essais de rotations culturales de longue durée en conditions non bio et relecture du texte).
- Hansueli Dierauer, FiBL (références en matière de grandes cultures bio sans bétail, conseils de rédaction).
- Pascal Olivier, CNAV et Jean-Daniel Etter, ProConseil (relecture du texte).

Annexes

- Annexe 1 Plan de rotation
- Annexe 2 Analyses de sol
- Annexe 3 Interventions culturales mécaniques (détails)
- Annexe 4 Interventions culturales mécaniques et manuelles
- Annexe 5 Marges brutes

Littérature

- Fliessbach A., Oberholzer H.-R., Gunst L., Mäder P., 2006. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. AGEE - 2852, 2006.
- Fliessbach A., Maeder P., Pfiffner P., Dubois D. et Gunst L. 2001. Le bio améliore la fertilité du sol et la biodiversité. FiBL.
- Clerc M., Dierauer H.-U., 2004. Enquête sur les problèmes spécifiques aux exploitations bio de grandes cultures sans ou avec peu de bétail. FiBL.
- Schmidt H., 2004. Viehloser Oeko-Ackerbau, Beiträge, Beispiele, Kommentare. Professur für organischen Landbau, Universität Giessen.
- Vullioud P., Mercier E., Ryser J.-P., 2004. Bilan de 40 ans d'un essai portant sur différentes fumures organiques (Changins 1963-2003). Revue suisse d'agriculture 36 (2) : 43-51, 2004.
- AGRIDEA, FiBL, 2005. Marges brutes, édition 2005.

Ferme pilote de Mapraz

Annexes 1 - 5

Annexes

- Annexe 1 Plan de rotation
- Annexe 2 Analyses de sol
- Annexe 3 Interventions culturales mécaniques (détails)
- Annexe 4 Interventions culturales mécaniques et manuelles
- Annexe 5 Marges brutes

Annexes 1 à 5

Annexe 1 : plan de rotation

Année	1		2		3		4		5		6		
	2000		2001		2002		2003		2004		2005		
Parcelles	1	Blé de printemps Lona	Trèfle violet semence Formica	Blé d'automne Titlis	Tournesol Cadasol	Féverole d'hiver Olan	Tournesol Aurasol	Blé d'automne Titlis	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Féverole d'hiver Olan		
	2	Prairie temporaire Mst 330	Blé d'automne Titlis	Tournesol Cadasol	Blé d'automne Titlis	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis		
	3	Blé d'automne Titlis	Tournesol Cadasol	Seigle d'automne Octavian	Seigle d'automne Octavian	Féverole d'hiver Olan	Féverole d'hiver Olan	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Trèfle violet semence Formica Sativa	
	4	Tournesol Cadasol	Seigle d'automne Danko	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Trèfle violet semence Formica	Trèfle violet semence Formica	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Pollux	Blé d'automne Pollux
	5	Seigle d'automne Danko	Pois prot. printemps Classic	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Trèfle violet semence Milvus	Trèfle violet semence Milvus	Trèfle violet semence Milvus	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Tournesol Aurasol	Tournesol Aurasol
	6	Pois prot. printemps Classic	Blé d'automne Titlis	Trèfle Alexandrie / Perse	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Blé d'automne Titlis	Tournesol Aurasol	Tournesol Aurasol	Tournesol Aurasol	Blé d'automne Pollux	Blé d'automne Pollux

Annexe 2 : analyses de sol (laboratoire Balzer)

Sous-parcelles	Moyenne procédé A (Sans compost)										Moyenne procédé B (Avec compost)	Moyenne générale			
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	1b	2b	3b	4b	5b	6b			
Année 1999															
pH (H ₂ O)	7.6	7.8	7.9	8.1	7.9	7.9	7.9	7.8	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0	7.9
Humus %	4.5	4.9	4.6	5.6	6.2	6.5	4.4	5.3	5.5	5.3	5.4	5.8	5.4	5.3	5.3
Activité biologique	4.5	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	4.3	4.3	4.8	5.0	5.0	5.0	4.9	4.7	4.8
P (DL)	12	14	12	1	1	1	13	18	11	11	8	15	7	12	10
K (DL)	10	8	8	6	7	8	9	9	10	9	8	9	8	9	8
Mg (DL)	20	21	21	16	16	15	15	19	20	20	16	15	18	18	18
Cu	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
Fe	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	3.6	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.8	0.6
Mn	7.3	7.3	5.0	0.6	0.5	0.5	9.0	6.3	3.3	3.6	2.2	5.4	3.5	5.0	4.3
Zn	1.2	1.1	0.8	0.1	0.1	0.1	0.6	1.7	0.4	0.6	0.2	0.6	0.6	0.7	0.6
Année 2005															
pH (H ₂ O)	7.7	7.9	7.9	8	8.1	8	7.9	7.9	7.9	8	8.1	8.1	7.9	8.0	8.0
Humus %	4.7	5.2	5.4	5.4	5.4	5	4.7	4.9	5.6	5.4	5.9	6.3	5.2	5.5	5.3
Activité biologique	3.8	3.9	4.9	5.0	4.6	3.8	3.8	3.8	3.7	5.0	4.7	3.8	4.3	4.1	4.2
P (DL)	14	15	12	9	7	19	13	14	17	2	2	1	13	8	10
K (DL)	11	7	9	9	7	10	11	9	13	6	6	6	9	9	9
Mg (DL)	19	20	23	20	18	19	22	23	25	18	19	17	20	21	20
Cu	0.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2
Fe	2.2	1.2	0.7	0.7	0.2	0.8	0.5	1.2	0.7	0.2	0.3	0.3	1.0	0.5	0.8
Mn	8.9	7.2	5.5	2.9	2.4	5.8	6.9	8	8.3	1	0.7	0.3	5.5	4.2	4.8
Zn	0.9	1.9	0.6	0.4	0.3	0.7	1	1.4	1.2	0.1	0.1	0.1	0.8	0.7	0.7

Méthodes d'analyse

Activité biologique Méthode propre au laboratoire du Dr F.M. Balzer (dès 2006 : laboratoire Agrofor, Allemagne) se basant sur la capacité du sol à extraire le phosphore avec différents acides.

Le calcul des relations entre les quantités de phosphore mesurées avec les différents extraits permet de tirer des conclusions concernant la capacité des microorganismes du sol à extraire le phosphore et à le mettre à disposition de la plante.

Cette capacité est considérée par Balzer comme tout aussi importante que la teneur en phosphore elle-même.

Interprétation : plus de 5 = faible; 4.9 - 4 = médiocre; 3.9 - 3 = moyen; 2.9 - 2 = bon; moins de 2 = très bon

P, K, Mg (DL) Extraction du phosphore, du potassium et du magnésium à l'aide de l'acide lactique.

Interprétation des analyses pour sols lourds, dans la rotation culturale :

P (DL), K (DL) et MG (DL) : A = 0-10; B = 11-20; C = 21-30; D = 31-45; E = plus de 45.

Teneur en P, K, Mg : A = bas, B = moyen, C = haut, D = très haut, E = extrêmement haut.

Annexe 4 : interventions culturales mécaniques et manuelles

Place dans la rotation	1		2		3		4		5		6	
	Blé		Tournesol		Blé *		Féverole **		Blé		Trèfle violet semence	
	Interventions mécaniques	Désherbage manuel	Interventions mécaniques	Désherbage manuel	Interventions mécaniques	Désherbage manuel	Interventions mécanique	Désherbage manuel	Interventions mécaniques	Désherbage manuel	Interventions mécaniques	Désherbage manuel
	Nombre	H / ha	Nombre	H / ha	Nombre	H / ha	Nombre	H / ha	Nombre	H / ha	Nombre	H / ha
2001	6.0	7.1	8.0	10.4	5.0	6.4	6.0	7.2	5.0	6.4	3.0	2.8
2002	7.0	8.1	9.0	11.8	8.0	8.8	7.0	8.5	8.0	8.8	4.0	4.9
2003	7.0	8.1	8.0	10.8	7.0	8.1	6.0	7.5	8.0	8.8	4.0	3.8
2004	8.0	8.8	9.0	11.8	7.0	7.8	9.0	10.3	10.0	10.9	7.0	7.2
2005	5.0	6.4	10.0	12.3	4.0	5.4	5.0	6.4	6.0	7.1	6.0	6.4
Moyenne	6.6	7.7	8.8	11.4	6.2	7.3	6.6	8.0	7.4	8.4	4.8	5.0

Explications

* Seigle au lieu du blé en 2001 et 2002.

** Pois protéagineux de printemps au lieu de la féverole d'hiver en 2001.

Méthodologie de calcul

Dans les interventions mécaniques, les interventions suivantes ne sont pas comptées :

- l'épandage de compost sur le procédé B;
- le semis du trèfle violet semence quand il s'effectue par sous-semis dans le blé précédent.

Par contre, quand le semis du trèfle violet semence a raté dans le blé et qu'il doit être répété dès l'automne, il compte comme intervention mécanique.

Les interventions mécaniques ne comprennent que le travail sur parcelle, y compris la récolte : les heures de préparation (déplacement sur la parcelle, réglage des machines, etc.) ne sont pas comptées.

Les heures / ha d'interventions mécaniques sont calculées à partir de la capacité de travail (en ares / h) définie par Agroscope ART Reckenholz Tänikon, 2006.

Annexe 5 : marges brutes Base de calcul : rendements moyens 2001-2005, moyenne des procédés A et B, prix 2005

Culture	Blé d'automne 1		Tournesol 2		Blé d'automne 3		Féverole d'hiver 4		Blé d'automne 5		Trèfle violet semence 6					
	Q	PU Fr.	Q	valeur Fr.	Q	PU Fr.	Q	valeur Fr.	Q	PU Fr.	Q	valeur Fr.				
Place dans la rotation de cultures (année)	unités															
Rendement net standardisé	39.4	104	22.1	110	2431	27.8	104	2891	22.4	72	39.7	104	4129	1.3	1165	1515
Charges	3.8		2.3			3.9			5.3		3.8			2.0		
Primes de culture ou extenso		400			1500			400		1500						
Primes production																
Prestation		4498		3931			3291		3102			4529		2037		2037
Semences	200	1.79	1	188.40	188	1.79	337	256	1.62	415	200	1.79	358	32	15.23	487
Réception, triage, conditionnement	40.9	4.00	22.6	5.50	124	4.00	116	23.6	5.50	130	41.2	4.00	165	1.3	50.00	66
Séchage	39.4	0.00	22.6	4.06	92	0.00	0	23.6	0.00	0	39.7	0.00	0	1.3	0.00	0
Divers, contributions	39.4	0.09	22.1	0.09	2	27.8	0.09	3	22.4	0.09	2	39.7	0.09	1	16.00	16
Total coûts spécifiques		525		407			455		546			526				570
Marge comparable		3973		3524			2836		2556			4003				1467
Semis par tiers		0	1	130	130		0		0			0				0
Récolte par tiers	1	400	1	500	500	1	400	400	1	400	1	400	400	1	400	400
Total travaux de tiers		400		630			400		400			400				400
Marge brute planification globale		3573		2894			2436		2156			3603				1067
Paiements directs généraux		1200		1200	1200		1200		1200			1200				1200
Supplément bio		800		800	800		800		800			800				200
Contribution terre ouverte		400		400	400		400		400			400				200
Contributions totales		2400		2400			2400		2400			2400				1400
Marge brute avec contributions		5973		5294			4836		4556			6003				2467

Méthodologie

Les éléments suivants de la méthodologie officielle de calcul (Catalogue marges brutes, AGRIDEA et FIBL, 2005) ont été abandonnés : le risque de germination, la valorisation des déchets, l'assurance grêle, les frais de séchage, les frais variables des machines, les intérêts calculés, les frais de contrôle et de label. Ainsi, la marge brute planification globale est égale à la marge brute. L'épandage de compost sur le procédé B n'est pas pris en considération.