

Ferme pilote de Mapraz

Rapport (2006-2011)



Impressum

Edition	AGRIDEA Avenue des Jordils 1 Case postale 128 CH-1006 Lausanne Tél. 021 619 44 00 / Fax 021 617 02 61 www.agridea.ch
Auteurs	Maurice Clerc, FiBL Josy Taramarcaz, AGRIDEA
Mise en page	Sacha Pavlovic, AGRIDEA
Impression	Atelier de reproduction, AGRIDEA © AGRIDEA, janvier 2013
Photographies et graphiques	Josy Taramarcaz, sauf figure 2 : Google Earth, figure 12 : Sébastien Gassmann et figure 15 : Maurice Clerc

Table des matières

	Résumé	5
1	Introduction	6
2	Matériel et méthodes	7
2.1	Dispositif de l'essai	7
2.2	Fertilisation	8
2.3	Stratégie de maîtrise des adventices	8
2.4	Paramètres observés et mesurés	8
2.5	Essais divers	8
3	Résultats et discussion	9
3.1	Rotation des cultures	9
3.2	Sol et fertilisation	9
3.2.1	Analyses de sol	9
3.2.2	Bilan humique	9
3.2.3	Activité biologique du sol	10
3.2.4	Mesure des lombrics	10
3.2.5	Observation des mini-profils culturaux	11
3.2.6	Réflexions sur les apports en éléments fertilisants P, K, Mg	11
3.3	Adventices	12
3.3.1	Tendances générales	12
3.3.2	Adventices et rotation culturale	13
3.3.3	Désherbage des différentes cultures	13
3.3.4	Chardon des champs	14
3.3.5	Vulpin des champs	14
3.3.6	Folle avoine	15
3.4	Aspects phytosanitaires	15
3.4.1	Maladies et ravageurs	15
3.4.2	Verse	15
3.5	Rendements et qualité des produits	16
3.5.1	Rendements des différentes cultures	16
3.5.2	Evolution des rendements de 2007 à 2011	18
3.5.3	Rendements moyens à Mapraz	18
3.6	Résultats financiers	19
3.7	Temps de travail	21
3.8	Résultats climatiques	22
3.9	Comparaison avec d'autres résultats de la recherche	22
3.9.1	Durabilité des systèmes de cultures bio sans ou avec peu de bétail	22
3.9.2	Fertilité et productivité des systèmes de cultures bio sans ou avec peu de bétail	22
3.9.3	Fatigue des légumineuses	23
4	Conclusions pour la pratique	24
	Annexes	27

Résumé

Un essai de rotation culturale en grandes cultures bio sans bétail est mené sur la ferme pilote de Mapraz à Thônex/GE depuis l'automne 1999. Une première période d'essai de 6 ans comparant deux procédés (avec et sans fumure) sur une même rotation de 1999 à 2005 a permis de démontrer le potentiel et les risques. Les rendements moyens n'ont pas été influencés par la fumure (compost de déchets verts) et sont restés stables d'année en année. Ils ont été équivalents aux références, sauf pour la féverole, le trèfle violet et le blé après tournesol, pour lesquels ils ont été inférieurs aux références. Le chardon des champs et le vulpin des champs ont provoqué des limitations de rendement (le rapport intermédiaire 2000-2005 est disponible sur : www.srva.ch/files/mapraz_rapport_2005.pdf).

L'essai s'est poursuivi de 2006 à 2011 sur la base suivante :

- abandon de la fumure externe et de la comparaison entre les procédés avec et sans fumure;
- introduction de la comparaison entre deux rotations culturales de 6 ans comportant une, respectivement deux années de prairies temporaires (PT) à base de luzerne.

Les teneurs en humus et en éléments fertilisants (P, K, Mg) sont restées stables de 2006 à 2011. Elles n'ont pas été influencées par l'introduction de 2 ans de prairies temporaires (PT).

La biomasse des micro-organismes du sol est faible, mais son activité est élevée. Il y a, par contre, pas de différence notable de biomasse ou d'activité de cette biomasse entre les rotations avec un ou deux ans de PT. Le nombre de lombrics n'a non plus été influencé par l'introduction d'un ou deux ans de PT.

Les adventices problématiques lors de la première période d'essai (chardon des champs et vulpin des champs) sont toujours présentes, mais les mesures prises pour les maîtriser ont donné un certain succès :

- l'augmentation du déchaumage ciblé contre les chardons a permis de stabiliser cette mauvaise herbe dans la rotation avec un an de PT et de la faire diminuer dans la rotation avec 2 ans de PT.
- le vulpin était une des mauvaises herbes principales lors de la première période et au début de la deuxième période, il est devenu une adventice secondaire grâce à l'application presque systématique du faux-semis pour les cultures d'automne depuis 2009.

La folle avoine est en progression, mais à un niveau non dommageable. D'autres mauvaises herbes sont présentes en quantité limitée 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). Les interventions directes sur les cultures se sont faites avec la herse étrille (de 0 à 3 passages/année selon les cultures). Leur nombre est resté stable (1.5 passage en moyenne sur toutes les cultures). Aucune intervention n'a été effectuée dans les prairies temporaires.

Les maladies n'ont posé aucun problème notoire. Les dégâts des limaces ont nécessité un ressemis ou un sursemis des PT durant trois ans sur six. Aucun autre dégât de ravageurs dépassant le seuil de nuisibilité n'a été constaté dans d'autres cultures.

Les rendements moyens sont équivalents aux références pour l'avoine (45.9 dt/ha) et la féverole (31.7 dt/ha). Ils sont inférieurs de 8% pour le blé (38.7 dt/ha), de 25% pour les prairies temporaires (90 dt MS/ha) et de 70% pour les pois (10.2 dt/ha). À part les pois, le niveau général des rendements peut être considéré comme satisfaisant pour un système sans bétail ni fumure. La raison des échecs à répétitions de la culture du pois protéagineux pur est sa faible capacité concurrentielle face aux mauvaises herbes. Une solution a été trouvée grâce à la «culture associée pois-orge». Les prairies temporaires, à base de luzerne, présentent des rendements plus faibles à cause du déficit hydrique et des dégâts des limaces.

La moyenne des marges brutes comparables pour chacune des deux rotations est inférieure aux références. La différence est de Fr. 255.-/ha pour la rotation avec 2 ans de prairies et de Fr. 672.-/ha pour celle avec un an de prairie.

Les meilleures marges brutes comparables sont celles des blés avec une légumineuse ou une prairie temporaire (PT) comme précédent et les moins bonnes sont celles du pois pur et des PT.

L'essai se poursuit au-delà de 2012, sur la base des deux mêmes rotations, mais avec des essais de diminution du labour avec optimisation des engrais verts, l'amélioration de la fourniture en éléments fertilisants des cultures par le compostage de fourrages et la recherche de solutions pour diminuer les dégâts des limaces lors des semis de PT.

1 Introduction

Le nombre d'exploitations de grandes cultures bio sans bétail ne cesse d'augmenter. De nombreux agriculteurs conventionnels sans bétail se demandent si une reconversion de leur domaine à l'agriculture biologique serait techniquement et économiquement possible. L'objectif principal de la ferme pilote de Mapraz consiste à trouver des réponses à leurs questions dans l'optique de la conduite de ces exploitations en mode biologique.

Pour réaliser cet objectif, COOP a mis à disposition, dès l'automne 1999, 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 Tamarcaz (AGRIDEA) est gérant et Jacques Chollet (agriculteur à Gy/GE) effectue les travaux des champs.

Quelques caractéristiques de la ferme pilote de Mapraz :

- sol lourd (39 à 49% d'argile) et profond. Sous-sol hétérogène;
- teneur en matière organique normale à élevée (3.8 à 5.7%);
- précipitations annuelles représentent 900 à 950 mm en moyenne (déficit hydrique moyen de 100 mm par année).

Sur la ferme pilote, un essai de longue durée consistant à conduire des rotations culturales de 6 ans pendant au moins 12 ans (deux rotations) et dans des conditions bio «sans bétail» a été mis en place en automne 1999.

La ferme pilote bénéficie d'une certification selon le label Bourgeon de Bio Suisse.

Figure 1 : la ferme pilote de Mapraz en mai 2010 – A droite : rotation A et à gauche : rotation B



De 2000 à 2005, une première rotation de 6 ans a été mise en place. Elle comprend les cultures successives suivantes : blé d'automne – tournesol – blé d'automne – féverole d'hiver – blé d'automne – trèfle violet pour la production de semence. L'essai comprenait deux procédés (avec et sans fumure). Le procédé avec fumure consistait en des apports de 16 m³ de compost de déchets verts/ha*an. Le taux de couverture des besoins était de 10% pour l'azote disponible (N_{disp}) et de 89% pour le phosphore. Les couvertures en K et Mg étaient excédentaires.

Les principaux résultats de la période 2000 à 2005 sont résumés ci-après :

- la teneur en humus est restée stable et n'a pas été influencée par la fumure;
- l'activité biologique du sol a montré une tendance à l'amélioration;
- les rendements moyens n'ont pas été influencés par la fumure et sont restés stables d'année en année; ils ont été équivalents aux références, sauf pour le blé après tournesol, la féverole et le trèfle violet (pour lesquels ils ont été inférieurs aux références);
- les deux seules adventices ayant posé réellement problème sont le chardon des champs et le vulpin des champs. Le temps de travail pour l'élimination manuelle du chardon des champs a augmenté d'année en année. Par contre, le nombre d'interventions mécaniques est resté stable grâce à l'adaptation permanente des techniques culturales (voir rapport intermédiaire 2000-2005).

L'essai s'est poursuivi de 2006 à 2011 avec les changements principaux suivants :

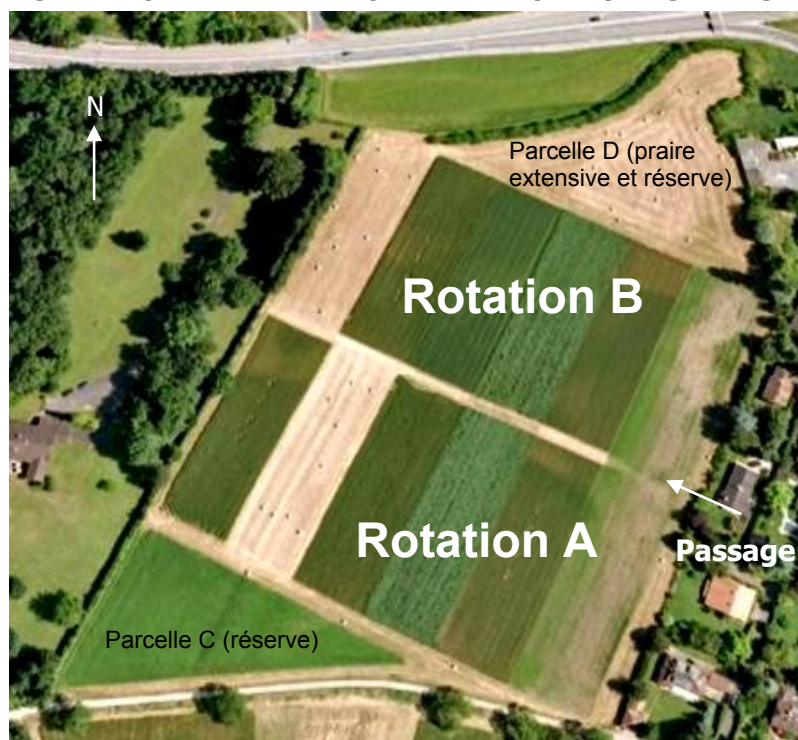
- abandon de la fumure extérieure sous forme de compost de déchets verts, ainsi que de la culture du tournesol et du trèfle violet semence;
- introduction de deux rotations culturales de 6 ans comportant une, respectivement deux années de prairies temporaires à base de luzerne. Le fourrage a été récolté et exporté et non plus broyé.

2 Matériel et méthodes

2.1 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).

Figure 2 : plan de la ferme pilote de Mapraz (Image Google Earth 2008)



- Le dispositif comprend 12 parcelles de 92 x 30 m = 27.6 ares chacune.
- Essai sans répétition, ni randomisation.
- La largeur de 30 mètres est bien adaptée aux travaux des machines.
- Un passage de 10 mètres sépare les parcelles des rotations A et B.
- Les parcelles C et D (parcelles de réserve) sont utilisées pour des essais annexes.
- Le sol n'est pas très homogène à l'intérieur d'une même parcelle et entre les différentes parcelles (comme sur la photo satellite Google Earth).

Les deux rotations mises en place de 2006 à 2011 sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1 : les deux rotations des cultures de Mapraz de 2006 à 2011

Rotation A (parcelles A)	Sole	Rotation B (parcelles B)
Blé d'automne	1	Blé d'automne
Pois protéagineux de printemps*	2	Avoine de printemps**
Blé d'automne	3	Féverole d'hiver
Féverole d'hiver	4	Blé d'automne
Blé d'automne	5	Prairie temporaire avec luzerne (1 ^{ère} année)
Prairie temporaire avec luzerne (1 an)	6	Prairie temporaire avec luzerne (2 ^e année)

* Rotation A : le pois protéagineux a été cultivé en association avec des céréales (CerPro) en 2008 et en 2011.

** Rotation B : l'orge d'automne a été cultivée à la place de l'avoine de printemps en 2006.

Prairie temporaire (PT) : mélange standard 320 (luzerne, trèfle violet longue durée, dactyle tardif, fléole, ray-grass hybride).

La rotation A est proche de la rotation pratiquée de 2000 à 2005 : le tournesol a été remplacé par le pois protéagineux de printemps et le trèfle violet pour la production de semence a été remplacé par une prairie temporaire d'un an constituée d'un mélange standard avec luzerne. La succession de trois cultures d'automne (blé d'automne, féverole d'hiver, blé d'automne) demeure.

La rotation B apporte plus de changements. Elle est, à priori, intéressante pour vérifier si les problèmes de chardon rencontrés de 2000 à 2005 peuvent être mieux maîtrisés avec deux années de prairie temporaire au lieu d'un.

2.2 Fertilisation

Aucun apport en fumure extérieure n'a été réalisé dans ces rotations. En effet, un des objectifs de la ferme pilote est d'identifier le potentiel de production qu'il est possible d'obtenir à partir des éléments nutritifs fournis par le sol et par les légumineuses (particulièrement pour l'azote).

L'entretien de la fertilité du sol et de l'approvisionnement en éléments nutritifs se base sur la stratégie suivante :

- deux légumineuses à graines et une prairie temporaire d'une année dans la rotation A;
- une légumineuse à graines et une prairie temporaire de deux ans dans la rotation B;
- restitution de toutes les pailles dans les deux rotations.

La stratégie de lutte contre les chardons (déchaumage) a limité les possibilités d'implantation d'engrais verts. Un engrais vert constitué d'un mélange de trèfle d'Alexandrie et phacélie a été installé entre le blé et l'avoine de printemps en 2008 et 2009.

2.3 Stratégie de maîtrise des adventices

Le contrôle des adventices a été mené de la manière suivante :

- **rotation culturale** : l'introduction de 2 ans de prairie temporaire dans la rotation B a pour but de lutter contre les chardons;
- **labour** presque systématique;
- **déchaumage** soutenu, principalement pour la lutte contre le chardon : en moyenne 2.5 déchaumages avec une herse à disque, un chisel léger ou un chisel lourd;
- **faux semis** : avant le semis de toutes les cultures dès l'automne 2009;
- **densités de semis plutôt élevées** : blé et avoine : 450 grains/m²; féverole d'hiver : 50 grains/m²;
- **herse étrille** : sur toutes les cultures, sauf les prairies (un à trois passages);
- **coupe manuelle des chardons** : au stade début floraison des chardons.

2.4 Paramètres observés et mesurés

Sol

- Analyse standard des sols (matière organique, pH P, K, Mg) en début et fin de rotation.
- Divers relevés et analyses ont été réalisés dans les blés suivant et précédant la prairie dans la rotation A, ainsi que dans le blé suivant la prairie dans la rotation B :
 - analyses de l'activité biologique (selon la méthode BSA de 2007 à 2009);
 - mesures des lombrics de 2007 à 2010;
 - mini-profils de sol 2007 à 2010.

Plantes en croissance

- Etat sanitaire (maladies et ravageurs) des céréales et de la féverole (relevés effectués selon la méthodologie de Swissgranum).
- Adventices : estimation de la couverture du sol par les adventices (propre méthodologie) et mesure du temps nécessaire à l'arrachage manuel des chardons.

Récoltes

- Rendements physiques.
- Critères commerciaux (poids/hl, humidité, temps de chute).
- Teneur en gluten humide des blés en 2010 et 2011.

Résultats économiques

- Marges brutes comparables par culture et pour chaque assolement (ou rotation).

Résultats climatiques

- Calcul des émissions des équivalents de CO₂ et de la consommation d'énergie.

2.5 Essais divers

La ferme pilote de Mapraz a également été utilisée pour divers essais qui ne sont pas directement axés sur la question principale du projet, comme par exemple des essais sur la capacité de mise en valeur de l'azote de diverses variétés de céréales, le suivi d'une culture d'esparcette et la comparaison de variétés de féverole.

3 Résultats et discussion

3.1 Rotation des cultures

Dans la rotation A, le pois d'automne prévu à l'origine en 2^e année après la prairie temporaire a été remplacé, dès 2007, par du pois de printemps en raison de la pression du vulpin. Puis dès 2011, par l'association pois-orge de printemps en raison de la pression des adventices en général.

3.2 Sol et fertilisation

3.2.1 Analyses de sol

Des analyses détaillées de sol ont été effectuées après les moissons de 2005 et 2011. Les résultats détaillés figurent dans l'annexe 2 et les résultats résumés dans le tableau 3.

Tableau 2 : évolution des principaux résultats d'analyse du sol (EDTA 1/10, Sol conseil)

Parcelles	Année	pH	Humus (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
A *	2005	7.7	4.3	53.8	163.4	200.7
	2011	7.8	4.5	48.3	184.1	209.3
B **	2005	7.8	4.6	36.0	146.8	234.0
	2011	7.8	4.8	26.9	165.5	254.8

* Moyenne des parcelles A1 à A6.
 ** Moyenne des parcelles B1 à B6.

Les valeurs d'analyse de sol sont globalement restées stables de 2006 à 2011.

- Les valeurs de pH ne montrent pas de variation.
- Les valeurs d'analyse en phosphore fléchissent légèrement, celles en potasse et magnésium montrent une légère augmentation.
- Aucun apport extérieur n'est fait à Mapraz et le bilan des éléments nutritifs est négatif. Cette situation peut encore durer de nombreuses années. On s'attend donc à ce que les teneurs du sol en éléments fertilisants diminuent à terme.

Pour comparaison, dans l'essai de fumure phosphopotassique de longue durée d'Agroscope ACW-Changins, l'évolution du niveau de fertilité P et K est à peine perceptible entre les variantes «Fumure aux normes» et «Sans apport», après 30 ans d'essai. Il s'agit également d'un sol très lourd (Ryser P. et Vuilloud P., 2003).

3.2.2 Bilan humique

- Les teneurs en matière organique montrent une augmentation du taux d'humus de 4.3% à 4.5% dans la rotation A, respectivement de 4.6% à 4.8% dans la rotation B.

L'intégration de 2 ans de prairie temporaire dans la rotation B contre un an dans la rotation A n'a pas apporté d'amélioration sensible de la teneur en humus pendant cette période.

Un calcul du bilan humique, selon la méthode des unités humiques de U. Thome, a été réalisé.

Tableau 3 : unités humiques des rotations A et B selon le «Humusbilanzierer» (Leithold et al.)

Rotation A	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Rotation
	Blé	Pois/orge	Blé	Féverole	Blé	PT	
Culture	-1.05	-0.70	-1.05	0.35	-1.05	1.80	-1.70
Paille restée sur le champ	0.42	0.36	0.42	0.36	0.42	0.00	1.96
Engrais vert		0.05					0.05
Bilan	-0.63	-0.29	-0.63	0.71	-0.63	1.80	0.31

Rotation B	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Rotation
	Blé	Avoine	Féverole	Blé	PT	PT	
Culture	-1.05	-0.70	0.35	-1.05	1.80	1.40	0.75
Paille restée sur le champ	0.42	0.36	0.36	0.42	0.00	0.00	1.54
Engrais vert		0.05					0.05
Bilan	-0.63	-0.29	-0.69	-0.63	1.80	1.40	2.34

Une unité humique (UH) = 1 tonne d'humus avec 50 kg N et 580 kg C.

Les cultures de la rotation avec un an de PT présentent à elles seules un bilan humique négatif de -1.7 UH, tandis que celles avec deux ans de PT ont un bilan positif de 0.75 UH. Grâce à la restitution de toutes les pailles, au final, la rotation avec un an de PT présente un bilan humique légèrement positif (+0.3 UH) et celle avec 2 ans de PT un bilan positif avec 2.3 unités humiques (UH).

Les taux d'humus devraient rester stables ou présenter une légère augmentation à plus ou moins long terme selon ce calcul.

Des apports réguliers de matière organique, le recours au travail réduit du sol dans la mesure du possible et une augmentation de la part des engrais verts dans la rotation amèneraient encore une amélioration.

3.2.3 Activité biologique du sol

Trois échantillons par parcelle ont été prélevés et analysés selon la méthode BSA, de 2007 à 2009, en mai de chaque année. Les résultats détaillés se trouvent dans l'annexe 3. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- la quantité des micro-organismes (ou «Biomasse ATP», ng ATP/g, voir annexe 3) est faible dans tous les blés étudiés;
- l'activité des micro-organismes (Min C Org) est élevée à très élevée. Elle est similaire dans tous les blés étudiés;
- le type d'activités des micro-organismes est plus minéralisateur qu'humificateur (rapport CO_2/ATP).

A Mapraz, la quantité des **micro-organismes** du sol est faible et leur **activité** est élevée. Il n'y a pas de différence d'activité biologique dans les différents blés. Cette activité ne semble pas avoir été influencée par l'architecture des deux rotations ou par la place du blé dans la rotation, mais probablement davantage par les teneurs en humus des parcelles.

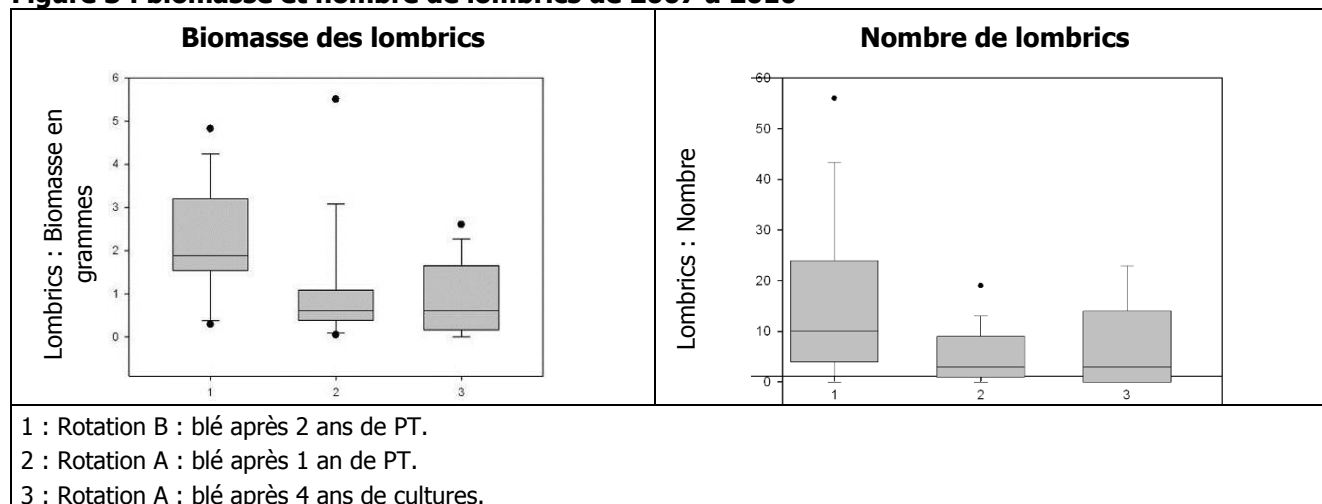
La quantité des micro-organismes pourrait être augmentée par l'apport de fumure organique, ainsi que par le développement de l'utilisation des engrais verts. Le recours plus fréquent au travail réduit du sol pourrait favoriser une activité plutôt «humificatrice» que «minéralisatrice» des micro-organismes.

Remarque : dans le réseau d'observation des sols fribourgeois (FRIBO), qui a débuté en 1987 et comprend des sols non bio pour la plupart, la quantité des micro-organismes est généralement faible et en diminution depuis 25 ans. Un travail scientifique pour trouver des explications est en cours (effets du changement climatique ? Barème d'interprétation des résultats à revoir ? Etc.), (Rossier N., 2012).

3.2.4 Mesure des lombrics

Des prélèvements de lombrics ont été effectués au mois de mai de 2007 à 2010, dans les mêmes parcelles que celles sélectionnées pour les analyses de l'activité biologique. Ces mesures n'ont pas été faites en 2011 à cause de la forte sécheresse.

Figure 3 : biomasse et nombre de lombrics de 2007 à 2010



A Mapraz, le nombre de **lombrics** est faible. La biomasse de lombrics (et dans une moindre mesure le nombre de lombrics) :

- est plus élevée dans le blé après deux ans de prairie temporaire que dans le blé après un an de prairie temporaire;
- il n'y a pas de différence ni de biomasse, ni du nombre de lombrics entre les parcelles de blé en début et en fin de rotation dans la rotation A.

Les sols lourds comme ceux de Mapraz ne sont pas favorables aux lombrics. Le recours systématique à la charrue freine aussi leur développement. Une diminution du labour, au profit du travail réduit du sol, pourrait contribuer à augmenter le nombre de lombrics.

3.2.5 Observation des mini-profil cultureux

Quatre tests à la bêche permettant d'observer un mini-profil sur une tranche de sol de 40 cm de profondeur ont été effectués dans les mêmes parcelles que celles sélectionnées pour les analyses de l'activité biologique et les lombrics. Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- la structure du sol est en général bonne sur les 20 à 25 premiers centimètres;
- il y a assez souvent une semelle de labour dès 28 cm de profondeur;
- aucune différence visible de structure du sol n'a pu être constatée entre les différents blés (après un ou deux ans de prairie temporaire), la structure du sol n'aurait donc pas été améliorée par l'introduction de deux ans de prairie temporaire à la place d'un an.

Figure 4 : observation d'un mini-profil à Mapraz



- La structure du sol n'est pas toujours optimale à Mapraz, (ici un mini-profil de la parcelle A2 en 2007 présente une semelle de labour à 30 cm).
- Le labour profond, entre 24 et 28 cm, est lié au type de charrue disponible, à savoir une charrue losange qui ne permet pas de retourner le sol si elle est utilisée à moins de 24 cm de profondeur, alors qu'un labour à 18 cm est recherché.

On peut supposer qu'il faut plus que deux ans de prairie temporaire dans la rotation pour améliorer durablement la structure du sol en profondeur dans les sols lourds de Mapraz. La diminution de la fréquence des labours et de leur profondeur permettrait de réduire la formation d'une semelle de labour.

3.2.6 Réflexions sur les apports en éléments fertilisants P, K, Mg

Sans apport extérieur d'engrais sur l'exploitation de Mapraz, la situation des éléments nutritifs présente un bilan négatif, ce qui tendra certainement à diminuer les réserves du sol à moyen terme.

Tableau 4 : besoins en éléments fertilisants selon le Suisse-Bilanz (en kg par ha et par an)

	Rotation A				Rotation B			
	Total	dont cultures	dont PT	PT (en % du total)	Total	dont cultures	dont PT	PT (en % du total)
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	%	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	%
Phosphore (P ₂ O ₅)	39	26	13	33%	50	25	25	50%
Potasse (K ₂ O)	58	19	39	67%	93	17	76	81%
Magnésium (Mg)	9	4	5	55%	13	4	9	69%

La vente des fourrages des prairies temporaires engendre d'importantes exportations en phosphore, potasse et magnésium.

D'après le Suisse-Bilanz, la vente du fourrage des prairies temporaires (PT) représente de 33 à 67% des besoins en phosphore, potasse et magnésium pour la rotation A et 50 à 81% des exportations pour la rotation B.

L'utilisation des fourrages des prairies temporaires comme apport de matière organique et fumure sur les autres soles de la rotation permettrait de minimiser les exportations en éléments fertilisants tout en améliorant la situation de la matière organique. Le «pré fait le fumier» en quelque sorte !

Des essais de «prai-fumier», comme nous l'appelons, seront conduits pendant la 3^e phase du projet. Les récoltes des prairies temporaires ne seront plus vendues, mais utilisées pour les cultures. La forme reste à trouver, mais le compostage semble une piste intéressante. Il s'agira également de déterminer si la confection de ce compost est techniquement faisable et économiquement supportable.

Apports en azote et légumineuses

Les apports en **azote** pour les cultures à Mapraz se basent sur ce que peuvent fournir la rotation et le sol. La rotation A comprend deux cultures de légumineuses à graines et une année de prairie temporaire à base de luzerne et trèfle violet (mélange standard 320). La rotation B comprend une culture de légumineuses à graines et deux ans de prairie temporaire à base de luzerne et trèfle violet (mélange standard 320). Les deux rotations comprennent 50% de cultures de légumineuses à graines et de prairie temporaire à base de légumineuses.

La part importante de cultures de légumineuses présente à Mapraz depuis 1999 semble avoir porté ses fruits, elle a été bénéfique pour le rendement des cultures.

Il serait possible d'utiliser encore davantage les engrais verts pour apporter de l'azote aux cultures, mais cette utilisation reste en conflit avec la nécessité de déchaumer pour contrôler les adventices.

Pour des cultures plus exigeantes comme le maïs, le colza ou la betterave, les apports azotés de la seule rotation culturale seraient insuffisants et nécessiteraient des apports extérieurs.

Observations sur un blé après prairie temporaire

Aucune mesure particulière n'a été effectuée pour apprécier l'état de nutrition des plantes sur la base du concept de fertilisation décrit au chapitre 2.2. Toutefois, une observation intéressante a pu être effectuée dans un blé qui suivait une prairie temporaire (parcelle A6 en 2009). Suite à des dégâts de limaces sur une partie de la parcelle lors du semis de la prairie temporaire, la moitié de la parcelle a été sursemée avec des légumineuses. Au final, la prairie comprenait une bonne part de légumineuses sur la partie sursemée et pratiquement que des graminées sur l'autre. Les deux moitiés de parcelle ont été récoltées séparément. Le rendement du blé était de 25.5 dt/ha sur la partie sans légumineuses dans la prairie temporaire, alors qu'il a atteint 36.8 dt/ha sur l'autre moitié. Cette observation montre l'importance d'une forte proportion de légumineuses dans une prairie temporaire pour fertiliser correctement la culture suivante.

Les observations faites sur ce blé montrent l'importance d'une proportion élevée de légumineuses dans les prairies temporaires pour approvisionner les cultures suivantes sur des fermes sans bétail. Elles montrent également une grande sensibilité du système aux aléas des cultures.

Figure 5 : deux parcelles de blé «appuyé» en 2007, malgré l'absence de fumure azotée



3.3 Adventices

3.3.1 Tendances générales

Les deux adventices ayant posé problème entre 2006 et 2011 sont le chardon des champs (*Cirsium arvense*) et le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*). La pression du vulpin a fortement diminué depuis 2010 grâce à la pratique du faux-semis avant toutes les cultures.

- Nous notons une tendance à l'augmentation de la folle avoine (*Avena fatua*) dans les cultures d'automne. Elle est surtout présente le long des bordures de parcelles.
- Nous notons également une tendance à l'augmentation du chénopode blanc (*Chenopodium album*), de l'ortie royale (*Galeopsis tetrahit*) et de la renouée liseron (*Polygonum convolvulus*) dans le pois protéagineux cultivé en culture pure où elles ont spécialement posé problème.
- Comme cela était déjà le cas durant la période de 2000 à 2005, les adventices suivantes sont également présentes en faible quantité ou de manière localisée : gaillet gratteron (*Galium aparine*), coquelicot (*Papaver rhoeas*), mouron des oiseaux (*Stellaria media*), véronique à feuille de lierre (*Veronica hederifolia*), véronique de Perse (*Veronica persica*), chiendent (*Agropyron repens*), liseron des champs (*Convolvulus arvensis*). La prêle des champs (*Equisetum arvense*) est présente, comme par le passé, dans la cuvette du champ. Il n'y a pratiquement pas de rumex (*Rumex obtusifolius*) à Mapraz.

- Les hautes variétés de blé avec des feuilles larges et retombantes (Pollux et Ataro), plus concurrentielles contre les adventices ont été remplacées au profit de Titlis, plus courte dès 2010, à cause d'une nouvelle classification des blés rendant les deux variétés précitées économiquement moins rentables. Certaines mauvaises herbes ont certainement été favorisées par cette variété de blé plus courte. La réintroduction de variétés plus hautes est à envisager pour une meilleure concurrence des mauvaises herbes (Wiwa ou Tengri de Sativa par exemple).
- Les interventions directes sur les cultures se font avec la herse étrille (0 à 3 passages/année selon les cultures). Leur nombre est resté stable (1.5 passage en moyenne pour toutes les cultures). Aucune intervention dans les prairies temporaires.

3.3.2 Adventices et rotation culturale

Pour casser les trop longues successions de cultures d'automne, qui favorisent unilatéralement une certaine flore adventice, les agriculteurs sont incités à introduire des cultures de printemps dans la rotation. S'ils le font avec des cultures insuffisamment concurrentielles et sur des sols ayant un stock élevé de graines d'adventices, la nouvelle situation est presque pire que la situation précédente du point de vue de la pression des adventices. C'est ce qui s'est passé à Mapraz avec la culture du pois protéagineux de printemps pur.

La pression des mauvaises herbes, dans un système sans bétail comprenant peu de prairies temporaires, est importante et la culture du pois protéagineux pur y est encore plus difficile que dans les autres systèmes. La culture associée du pois avec l'orge donne des résultats encourageants. La progression des surfaces semées en pois-orge ces dernières années en Suisse démontre l'efficacité de cette technique.

3.3.3 Désherbage des différentes cultures

Blé d'automne

- Un à trois passages de herse étrille, selon les années (moyenne : 1.8 passage), entre la sortie de l'hiver et le début de la montaison, avec semis de la PT au dernier passage sur le blé en fin de rotation.

Féverole d'hiver

- Un à deux passages de herse étrille au printemps, selon les années (moyenne : 1.3 passage).

Avoine de printemps

- Zéro à deux passages de herse étrille, selon les années (moyenne : 1 passage).

Pois protéagineux de printemps (pois-orge dès 2011)

- La maîtrise des mauvaises herbes a toujours été très difficile dans les pois protéagineux purs. L'envahissement du pois de printemps par les adventices (spécialement le vulpin, mais aussi la renouée des oiseaux, le chénopode blanc et l'ortie royale) entraîna des pertes sévères dans cette culture. Le problème n'a été résolu qu'en remplaçant le pois pur par l'association pois-orge.
- Aucun à un passage de herse étrille, selon les années (moyenne : 0.8 passage).

Figure 6 : échec de la culture pure de pois protéagineux et succès de l'association avec l'orge



Les pois purs ont été envahis par les mauvaises herbes. Ils ont été broyés deux fois et ensilés une fois en 6 ans.



Les pois sont cultivés en association avec l'orge depuis 2011 et les parcelles sont plus propres (pois protéagineux plus petits que l'orge et peu visibles sur la photo).

3.3.4 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 qu'un moins bon recouvrement des passages des machines de déchaumage ou des espaces non semés (de 30 à 80 cm parfois) sur les bords des parcelles favorisent cette multiplication.

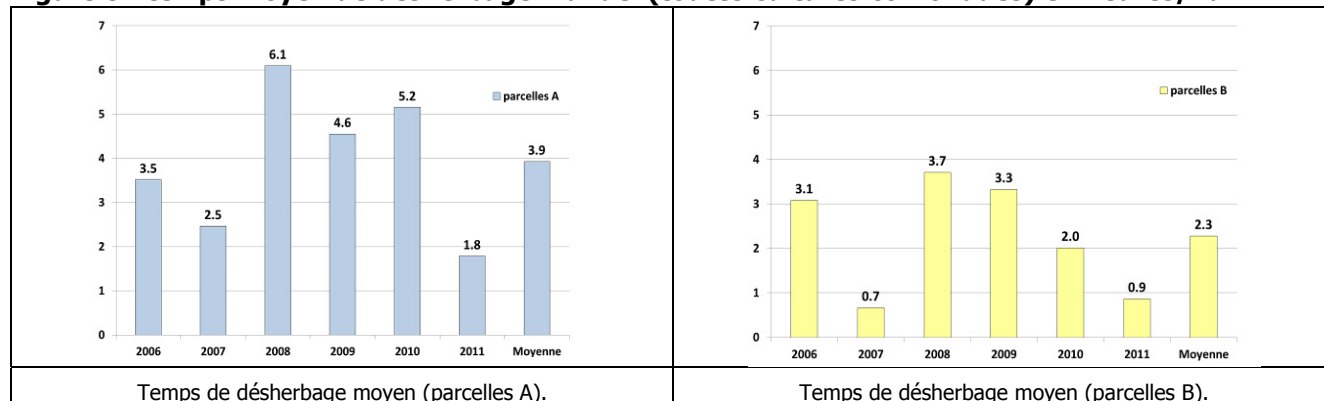
Figure 7 : le déchaumage permet de freiner le développement du chardon



- La stratégie de lutte contre les chardons comprend 2 à 3 passages de déchaumage avec disques et socs permettant de scalper la surface.
- Les socs des machines à disposition n'avaient pas un recouvrement total sur la surface travaillée et l'effet sur les chardons était inférieur à ce qu'on pouvait attendre.

- Lors de la première période d'essai, le temps de coupe manuelle du chardon avait régulièrement augmenté d'année en année, passant de rien en 2001 à 2.9 heures par hectare en 2005.
- Le nombre d'heures nécessaire à la coupe des chardons s'est stabilisé, en bonne partie grâce aux déchaumages intensifs dans la rotation A.
- L'introduction d'une prairie temporaire de 2 ans a permis une réduction du chardon dans la rotation B. Ce qui se traduit aussi par une diminution du temps de coupe manuelle de cette mauvaise herbe. Il n'y a pas d'intervention manuelle sur les prairies et la rotation A contient 5 cultures à désherber manuellement contre 4 pour la rotation B.

Figure 8 : temps moyen de désherbage manuel (toutes cultures confondues) en heures/ha



La durée de la prairie temporaire est décisive pour la maîtrise des chardons. A Mapraz, la pression du chardon a été nettement inférieure dans la rotation B avec 2 ans de prairie temporaire, que dans la rotation A avec un an de prairie temporaire. Ce résultat mérite d'être largement diffusé auprès des agriculteurs bio sans bétail, étant donné leur tendance à produire le moins possible de fourrage grossier (difficultés d'écoulement) et donc à restreindre la durée de la prairie temporaire à un an.

3.3.5 Vulpin des champs

La grande part de cultures d'automne favorise le développement du vulpin des champs. Cette mauvaise herbe s'est rapidement montrée envahissante, particulièrement dans le blé et la féverole. On a dénombré jusqu'à 150 plantules de vulpin par m² sur certaines parcelles en automne. Ces cultures prennent toutefois le dessus après le démarrage de la végétation au printemps. La féverole, plus grande, étouffe mieux le vulpin. Au moment de la récolte, la présence de vulpin est en général visuellement acceptable dans ces deux cultures, mais les rendements sont préjudicés.

Pendant la culture, la herse étrille n'a que peu d'efficacité contre le vulpin. Nous avons systématiquement pratiqué des faux-semis avant l'installation de toutes les cultures dès l'automne 2009. Le résultat montre une forte diminution de la pression du vulpin, le faisant passer de mauvaise herbe à problèmes à adventice secondaire.

Le vulpin des champs ne disparaît pas complètement dans la prairie temporaire. Il occupe entre 2 et 5% de la surface, selon les parcelles et les années. La présence du vulpin est inférieure sur les prairies temporaires bien installées et denses.

3.3.6 Folle avoine

L'augmentation de la pression de la folle avoine dans la région et sur la ferme pilote de Mapraz pose la question d'un moyen de lutte contre cette mauvaise herbe. Le désherbage mécanique n'est pas efficace contre celle-ci. L'utilisation de variétés de blé plus hautes (moins de lumière à disposition pour les adventices) est à envisager pour contrôler cette mauvaise herbe. Le risque de verse avec des variétés plus élevées reste faible dans les conditions sans fumure de Mapraz.

3.4 Aspects phytosanitaires

3.4.1 Maladies et ravageurs

Céréales

- Septoriose sur feuilles de blé (*Septoria spp*) : exerce une pression très faible à moyenne.
- Criocères (*Oulema spp*) : présents chaque année, spécialement sur avoine, mais en dessous du seuil de nuisibilité.
- Pucerons : très faible présence, toujours en dessous du seuil de nuisibilité.

Féverole d'hiver

- Rouille (*Uromyces fabae*) : quelques feuilles atteintes sur 2 à 5% des plantes chaque année.
- Puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) : faible pression, variable d'année en année, mais toujours en dessous du seuil de nuisibilité.
- Bruche de la fève (*Bruchus rufimanus*) : jusqu'à 10% des grains bruchés certaines années.
- Sitone (*Sitona lineatus*) : faible présence, toujours en dessous du seuil de nuisibilité.

Pois protéagineux

- Puceron vert du pois (*Acyrtosiphon pisum*) : pression faible à très faible.
- Sitone (*Sitona lineatus*) : faible présence, toujours en dessous du seuil de nuisibilité.

Prairies temporaires

- Les limaces, principalement les coïtrons (*Deroceras reticulum spp*), ont causé des dégâts notoires à la luzerne et au trèfle violet lors de la levée des prairies temporaires. Le recours à des ressemis ou sursemis de prairie a été nécessaire 4 fois sur 6 ans.

Les sols argileux sont favorables aux limaces. Dans un essai labour/travail réduit du sol sur sol lourd à Frick, les limaces ont également causé des dégâts importants aux semis de PT nécessitant quelques fois un ressemis. Les observations faites à Frick montrent des dégâts moindres dans les variantes de travail réduit du sol par rapport au labour. La raison serait une diminution du nombre de cavités et d'interstices (servant d'abri et de refuge aux limaces) dans la variante travail réduit.

Sachant que Bio Suisse n'autorise pas le recours aux anti-limaces pour les prairies temporaires, il faudra trouver des solutions innovantes, comme par exemple l'adjonction d'une faible proportion de nyger aux semences de prairie temporaire pour attirer les limaces vers le nyger au lieu des légumineuses.

3.4.2 Verse

- La verse sur blé est insignifiante. Quelques petites surfaces versées ont été observées sur 3 parcelles de blé en 2007 (notes 2 à 4*).
- Les pois ont complètement versé en 2009 (note 9*), aggravant le «salissement» de la parcelle.
- De la verse a également été observée sur la féverole en 2009 (note 3*).

* Notes selon le Barème de taxation des maladies et de la verse de Swissgranum (note 1 pas de verse, note 9 complètement versé).

Figure 9 : sursemis d'une prairie temporaire à cause de dégâts de limaces



3.5 Rendements et qualité des produits

Les rendements obtenus de 2007 à 2011 sont représentés graphiquement sur la figure 10 et le tableau 5. L'année 2006 a volontairement été laissée de côté car elle constituait la transition entre l'ancienne et les nouvelles rotations.

Tableau 5 : rendements à Mapraz de 2007 à 2011 et rendements de référence (dt/ha)

Rotation A	Culture	Blé après PT	Pois protéagineux / pois-orge *** après blé	Blé après pois protéagineux / CerPro	Féverole d'hiver après blé	Blé après féverole	PT
	Unité	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt MS/ha
	2007	38.2	B	31.3	33.3	37.4	91
	2008	33.2	E (50 dt MS/ha)	44.9	36.1	34.2	57
	2009	31.0	B	39.8	29.1	42.1	102
	2010	37.5	10.9	37.9	32.9	40.1	125
	2011	36.9	29.8 CerPro	45.2	26.4	37.9	80
	Moyenne 2007 à 2011	35.4	10.2	39.8	31.6	38.3	91.0
	Références*	42	***	42	32 **	42	108
Rotation B	Culture	Blé après PT	Avoine après blé	Féverole d'hiver après avoine	Blé après féverole	PT 1 ^{ère} année	PT 2 ^e année
	Unité	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt/ha	dt /MS/ha	dt /MS/ha
	2007	33.5	42.0	33.8	36.2	91	0
	2008	46.4	52.2	38.2	40.8	57	116
	2009	44.3	44.1	27.0	39.9	102	107
	2010	38.2	52.4	31.5	39.0	119	130
	2011	42.9	38.7	28.8	39.5	72	99
	Moyenne 2007 à 2011	41.0	45.9	31.9	39.1	88.2	90.4
	Références*	42	44	32 **	42	108	108
Remarques		• Rendements standardisés : céréales 14.5% d'humidité; pois et féverole 12.5% d'humidité; prairie en dt MS/ha. • * Catalogue Marges brutes, 2011. • ** Féverole : dans le catalogue Marges brutes 2011 il n'est pas précisé s'il s'agit de féverole de printemps ou de féverole d'hiver. • *** Pas de norme fiable pour la culture associée pois-orge. Estimation : 10 dt/ha en printemps sec, jusqu'à 35 dt/ha en printemps humide; le rendement de la culture associée pois-orge (CerPro) est toujours supérieur à celui du pois pur. • E = ensilage plante entière; B = culture broyée. Sur une moyenne de 5 ans, le pois protéagineux/CerPro n'a produit que 10.2 dt/ha de grain.					

3.5.1 Rendements des différentes cultures

Prairie temporaire

Pour des raisons de simplification du travail, le même mélange standard a été semé dans les deux rotations, à savoir le mélange standard 320 (ou «Mst 320») à base de luzerne. La prairie temporaire a été semée dans le blé ou après la récolte du blé. Deux à trois coupes sont effectuées par année. Le fourrage est vendu, sauf la dernière pousse qui est laissée sur pieds.

En raison des problèmes répétés de limaces à la levée des prairies temporaires, il a fallu ressemer ou pratiquer des sursemis à de fréquentes reprises. Cela a bien sûr péjoré leur rendement qui est inférieur à la référence.

La levée des prairies temporaires semées après le blé a aussi été préteritiée par le manque d'eau lors d'étés secs.

Blé d'automne

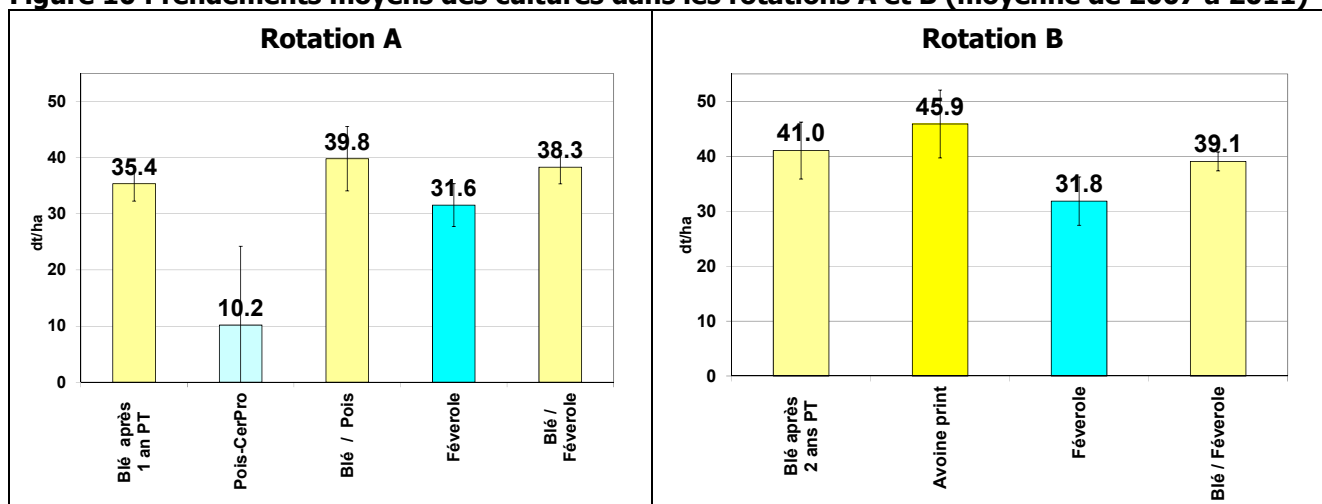
Le rendement moyen pondéré de tous les blés de 2007 à 2011 s'élève à 38.7 dt/ha. Ce résultat est inférieur de 3.3 dt/ha ou 8% au rendement de référence du blé bio qui est de 42 dt/ha (catalogue des Marges brutes AGRIDEA-FiBL 2011). C'est un bon résultat si on tient compte du fait que les cultures de Mapraz se pratiquent sans aucune fumure.

La différence des rendements entre les blés de la rotation A et ceux de la rotation B n'est pas très grande (2.3 dt/ha en moyenne). Le rendement moyen pondéré est de 37.8 dt/ha pour les blés de la rotation A et respectivement de 40.1 dt/ha pour ceux de la rotation B.

La moindre performance des blés de la rotation A s'explique entre autres par trois situations particulières :

- blé sale après pois protéagineux : rendement de 31.3 dt/ha (parcelle A4 en 2007);
- mauvaise levée et faible nombre de plantes et d'épis par m² après prairie temporaire : rendement de 33.2 dt/ha (parcelle A1 en 2008);
- blé après prairie temporaire où les légumineuses étaient absentes sur la moitié de la parcelle : rendement de 31.0 dt/ha (parcelle A6 en 2009, voir chapitre 3.2).

Figure 10 : rendements moyens des cultures dans les rotations A et B (moyenne de 2007 à 2011)



Les rendements du blé après féverole ou pois sont comparables à ceux obtenus après prairie temporaire.

Le **poids à l'hectolitre** des blés de 77 kg/hl a été atteint chaque année, sauf en 2007 où il était de 74 kg/hl, entraînant, cette année-là, une déduction de 15 ct./dt de blé.

Les **temps de chute** ont toujours été en dessus de 250 secondes et l'**humidité** en dessous de 14%. Aucun séchage n'a été nécessaire.

Les teneurs en **protéines** et en **gluten humide** ont été analysées en 2010 et 2011.

	2010		2011		Moyenne	
	Mapraz	Réseau	Mapraz	Réseau	Mapraz	Réseau
Protéine (%)	12.9	12.5	13.1	12.2	13	12.35
Gluten humide (%)	34.1	30	26.9	26.5	30.5	28.25

Les teneurs en protéines et en gluten humide à Mapraz sont supérieures à la moyenne du réseau suisse pour les deux années 2010 et 2011 :

- les teneurs moyennes en protéines sont plus élevées de 0.65%.
- les teneurs moyennes en gluten humide sont plus élevées de 2.05%.

Il est intéressant de constater que des teneurs en protéines et en gluten humide sont plus élevées à Mapraz que dans le réseau suisse, malgré l'absence de fumure. La variété Titlis est connue pour ses bonnes teneurs en protéines et les sols de Mapraz semblent disposer d'une bonne capacité naturelle de fourniture en azote. Faute de données à disposition, une interprétation plus fine des résultats obtenus n'est, pour l'instant, pas possible. Les résultats détaillés se trouvent dans l'annexe 8.

Pois protéagineux ou association orge-pois

L'envahissement par les mauvaises herbes a causé la destruction de plusieurs récoltes de pois de printemps. Le pois n'a pu être récolté en grains qu'en 2010 et 2011.

- Rendement de 10.9 dt/ha en culture pure en 2010.
- Rendement de 29.8 dt/ha en 2011 (association pois-orge). La récolte de pois-orge en 2011 était composée de 8.5% de pois et 91.5% d'orge, ce qui s'explique par les conditions extrêmement sèches du printemps 2011.

Un mélange pois-triticales-avoine a été semé en 2008 pour la récolte en ensilage plante entière : rendement 50 dt MS/ha (au stade maturité pâteuse du triticale).

Féverole

Le rendement moyen de la féverole d'hiver (31.7 dt/ha) est équivalent à la référence, avec des variations de 26.4 à 38.2 dt/ha selon les années et les parcelles. Pas de différence de rendement entre les deux rotations.

Figure 11 : moissons sur la ferme pilote de Mapraz



Rendements moyens des cultures à Mapraz de 2007 à 2011 :

- Blé : 38.7 dt/ha.
- Féverole : 31.7 dt/ha.
- Avoine : 45.9 dt/ha.
- Pois protéagineux : 3.7 dt/ha.
- Pois-orge (2011) : 29.8 dt/ha.

Avoine de printemps

L'avoine a donné de bons rendements (45.9 dt/ha en moyenne), mais avec un poids/hl moyen de 52.1 kg/hl, insuffisant 3 années sur 5 (fourchette de 40.4 kg/hl en 2010 à 68.0 kg/hl en 2007). Le prix moyen de l'avoine a subi une réfaction de 60 ct./kg récolté.

3.5.2 Evolution des rendements de 2007 à 2011

Dans la rotation A, la somme des rendements des cinq cultures était faible en raison de la perte totale de la récolte du pois protéagineux en 2007, 2008 et 2009. Dès 2010 et surtout 2011, cette somme des rendements s'est nettement améliorée.

3.5.3 Rendements moyens à Mapraz

Les rendements sont en général inférieurs d'environ 10% par rapport aux références (-8% pour le blé, -70% pour les pois, -25% pour les prairies temporaires) et équivalents pour l'avoine et la féverole. Le niveau général des rendements peut être considéré comme satisfaisant pour un système sans bétail ni fumure, mais il faut chercher à améliorer le système. Une solution face aux échecs de la culture des pois a été trouvée grâce à la culture associée pois-orge.

Les prairies à base de luzerne présentent des rendements plus faibles à cause du déficit hydrique chronique dont souffre la région, mais aussi, pour une part non négligeable, à cause des dégâts des limaces qui nécessitent un ou des resemis et provoquent une mise en production plus tardive.

3.6 Résultats financiers

La marge brute comparable de chaque culture et chaque parcelle a été calculée de la manière suivante : rendements moyens 2007 à 2011 et prix 2011 (voir le tableau 6 et l'annexe 5). Les coûts des semences ont été calculés à partir de la densité de semis moyenne (2007-2011) et des prix de 2011. Une «marge brute comparable d'assolement» a été calculée pour chacune des deux rotations de cultures. Les marges brutes comparables sont comparées avec une valeur de référence (marges brutes du «catalogue Marges brutes FiBL/AGRIDEA» 2011). Des détails concernant la méthodologie figurent au bas de l'annexe 5.

Tableau 6 : marge brute comparable par culture et pour l'assolement (moyennes 2007-2011)

Tableau 6 - Marge brute comparable par culture et pour l'assolement (des années 2007-2011)									
Rotation A	Marge brute comparable en Fr./ha								
	Par culture						Pour l'assolement		
Place dans la rotation (année)	1	2	3	4	5	6	Mapraz : Ø Rotation A	Références (catalogue Marges brutes AGRIDEA/FIBL 2011)	
Cultures	Blé	Pois/ CerPro *	Blé	Féverole	Blé	PT			
Rendements (dt/ha)	35.4	10.2	39.8	31.6	38.3	91.0			
Prestations	4'152	1'483	4'619	3'844	4'460	2'730			
... dont primes	400	400	400	1'000	400	-			
Coûts spécifiques *	542	629	562	579	555	775	607	889	
Marge brute comparable	3'610	854	4'057	3'265	3'905	1'955	2'939	3'611	
Rotation B	Marge brute comparable en Fr./ha								
	Par culture						Pour l'assolement		
Place dans la rotation	1	2	3	4	5	6	Mapraz Ø Rotation B	Références (catalogue Marges brutes AGRIDEA/FIBL 2011)	
Cultures	Blé	Avoine	Féverole	Blé	PT	PT			
Rendements (dt/ha)	41	45.9	31.9	39.1	88.2	90.4			
Prestations	4'746	3'384	3'862	4'545	2'646	2'712			
... dont primes	400	400	1'000	400	-	-			
Coûts spécifiques *	567	552	580	559	387	387	505	866	
Marge brute comparable	4'179	2'832	3'282	3'986	2'259	2'325	3'137	3'393	
Remarques	• Les primes comprises dans la marge brute sont les primes Extensio et protéagineux. • * Pois/CerPro : le rendement est faible. Les explications à cette situation se trouvent dans le tableau 5. • Prime pour les pois : seulement 2 ans sur 5 à Fr. 1'000.- = Fr. 400.- en moyenne (2 fois broyé, 1 fois ensilé). • La marge brute de référence pour la prairie temporaire prend en compte une coupe valorisée sous forme de bouchons (augmentation du produit de Fr. 208.-/ha, mais avec Fr. 756.-/ha frais de séchage en plus). Nous avons repris ces chiffres tels quels. • La marge brute comparable d'assolement est calculée à partir de la somme des marges brutes de chaque culture divisée sur 6 ans. Pour Mapraz, avec les données effectives des parcelles et pour la référence à partir des marges du catalogue de Marges brutes 2011.								

La marge brute comparable de la rotation B est inférieure de Fr. 255.-/ha à la référence.

La marge brute comparable de la rotation A est inférieure de Fr. 672.-/ha à la référence. Ceci s'explique principalement par l'échec de la culture des pois protéagineux purs :

- rendement catastrophique des pois protéagineux à cause de l'envahissement par les mauvaises herbes;
- primes pour protéagineux obtenues seulement deux ans sur cinq (2 ans détruits et 1 an ensilé).
- Les marges brutes comparables des deux rotations sont inférieures aux références. La différence est de Fr. 255.-/ha pour la rotation avec deux ans de PT et de Fr. 672.-/ha pour celle avec un an de prairie.

Les marges brutes comparables des cultures à Mapraz peuvent être regroupées en 3 catégories.

Tableau 7 : catégories de marges brutes comparables (Fr./ha) à Mapraz

Catégories de marges brutes		Cultures
Faible	< Fr. 2'500.-/ha	Prairie temporaire, pois protéagineux purs
Moyenne	Fr. 2'500.- à 3'500.-/ha	Féverole, avoine, association pois-orge
Elevée	> Fr. 3'500.-/ha	Blé

Les meilleures marges brutes comparables sont celles des blés et les moins bonnes sont celles du pois pur et des PT.

Le remplacement des pois protéagineux par l'association pois-orge, dans la rotation A (rendement moyen de 35 dt/ha à Fr. 86.-/dt), permettrait d'améliorer la marge brute comparable moyenne de la rotation de l'ordre de Fr. 350.- à Fr. 400.-/ha.

La rotation avec deux ans de prairies temporaires présente une meilleure marge brute comparable avec moins de travail manuel.

Le fourrage est vendu sous forme d'ensilage à Fr. 30.-/dt de matière sèche. Une différence du prix de vente des herbages de Fr. 5.-/dt de MS entraîne une réduction de la marge brute comparable de la rotation de Fr. 150.-/ha pour la rotation B et de Fr. 75.-/ha pour la rotation A.

La marge brute de la rotation B est donc plus sensible aux conditions du marché des fourrages grossiers bio que la rotation A (marché des fourrages grossiers bio difficile actuellement en Suisse).

Figure 12 : la ferme pilote de Mapraz en décembre

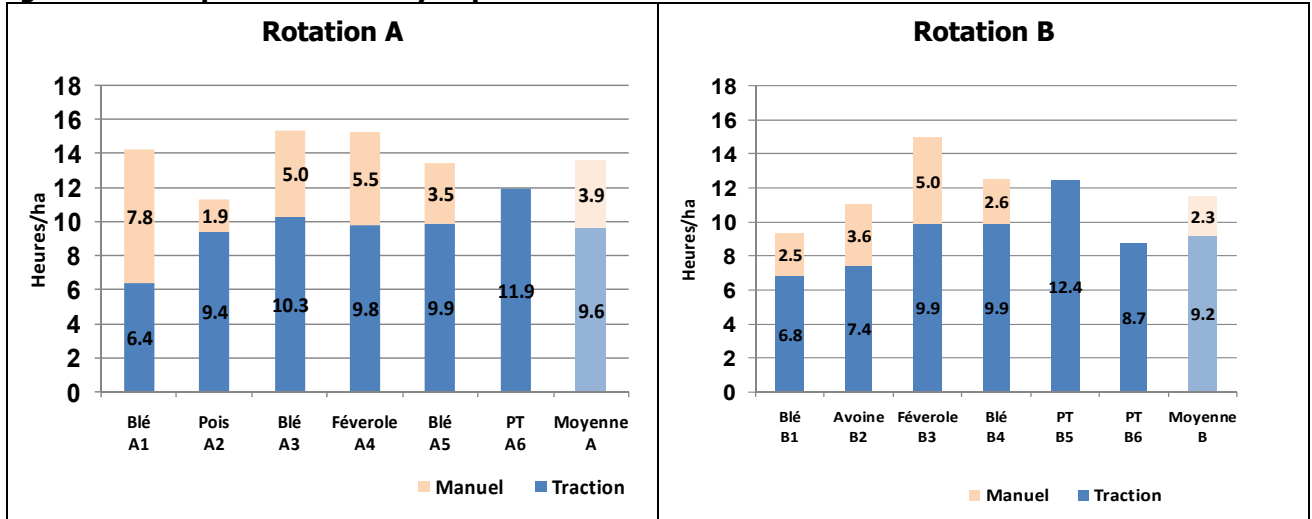


3.7 Temps de travail

Les temps de travail (ne comprenant que les travaux des champs sans les travaux complémentaires ont été calculés :

- d'après le nombre réel de passages effectués et le type de machine utilisée, comme le labour, le semis, le hersage (temps à l'unité repris du rapport ART);
- selon le temps réel pour les travaux manuels (coupe manuelle des chardons).

Figure 13 : temps de travail moyen pour les différentes cultures



Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- les temps de travail moyens sont de 13.5 h/ha pour la rotation A (9.6 h/ha de traction et 3.9 h/ha de travail manuel) contre 11.5 h/ha pour la rotation B (9.2 h/ha de traction et 2.3 h/ha de travail manuel);
- le nombre d'heures de traction plus élevé dans la rotation A est principalement dû au fait que la PT a été mise en place pour une année seulement au lieu de deux et que leur semis a dû être refait 4 fois en 6 ans à cause des limaces.
- davantage de travail manuel pour la coupe des chardons dans la rotation A (3.9 h/ha dans la rotation A, contre 2.3 h/ha pour la rotation B), soit 1.6 h/ha de différence.

Figure 14 : traction et travaux manuels à Mapraz



Les temps de travail de traction moyens sont de 9.6 h/ha pour la rotation A contre 9.2 h/ha pour la rotation B.



L'arrachage manuel des chardons demande 3.9 heures dans la rotation A, respectivement 2.3 h/ha dans la rotation B.

3.8 Résultats climatiques

Le calcul des émissions en équivalents de CO₂ et de la consommation d'énergie, par ha et par kg de produit récolté, a été effectué par le FiBL (Meier Matthias, Klima-und Energiebilanz nach einem Oekobilanzansatz). Les résultats détaillés figurent dans l'annexe 6. Les émissions de N₂O, liées à l'activité fixatrice d'azote des légumineuses sont également transformées en équivalents de CO₂.

Tableau 8 : émissions d'équivalents CO₂ par ha et consommation d'énergie par ha à Mapraz

Emission d'équivalent CO ₂		Consommation d'énergie	
(kg CO ₂ éq./ha année) (moy. 2006 à 2011)		(MJ/ha année) (moy. 2006 à 2011)	
Rotation A	Rotation B	Rotation A	Rotation B
1'242	1'244	11'539	11'169

Dans la rotation A, le semis et les autres travaux des champs produisent davantage d'émissions et de consommation d'énergie, car il y a cinq années de cultures (au lieu de quatre années dans la rotation B) et seulement une année de prairie temporaire. Par contre, la rotation B génère davantage d'émissions et de consommation d'énergie pour la récolte, car il y a plus d'une récolte par année sur une prairie temporaire et il y a deux ans de prairie temporaire (au lieu d'un an dans la rotation A). Au final, sur le total des émissions et de la consommation d'énergie, il n'y a plus aucune différence notable entre les deux rotations culturales.

Comparée à deux autres essais en grandes cultures bio conduits avec fumure (Frick et Muri), la ferme pilote de Mapraz montre des émissions d'équivalents CO₂ moindres de 14 à 45% selon les procédés (labour ou travail réduit du sol) et les lieux. La consommation en énergie de Mapraz se situe entre celle des deux essais cités.

A Mapraz, la production d'équivalents CO₂ et la consommation d'énergie sont relativement faibles, en raison de l'absence de bétail et donc d'engrais de ferme. Des modifications pour les années à venir pourraient influencer ce bilan climatique :

- le recours à des apports extérieurs d'engrais de ferme venant d'autres exploitations agricoles ou d'engrais du commerce causerait une détérioration du bilan climatique;
- une augmentation des rendements (association orge-pois, meilleure levée des semis de prairie temporaire, etc.) permettrait une amélioration du bilan climatique.

3.9 Comparaison avec d'autres résultats de la recherche

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

Il n'était pas encore possible de répondre définitivement à la question de la durabilité de tels systèmes, il y a environ 10 ans, en raison d'un nombre insuffisant de références (essais de longue durée, exploitations bio sans bétail depuis des décennies). Mais les chercheurs ont tenté de déterminer les facteurs principaux qui pouvaient contribuer à cette durabilité (Schmidt H., 2003). Parmi ces facteurs, citons :

- la présence de prairie temporaire et de légumineuses à graines dans la rotation culturale;
- le renoncement au broyage de la prairie temporaire au profit de la récolte des différentes coupes;
- la bonne maîtrise des adventices;
- le travail réduit du sol autant que possible;
- l'utilisation d'engrais organiques extérieurs (Schmidt H., 2003).

A Mapraz, la question de la durabilité de la grande culture bio sans bétail est ouverte. Le bilan humique est légèrement positif grâce à la restitution des pailles de toutes les cultures (la teneur en humus du sol n'a pas diminué de 1999 à 2011).

3.9.2 Fertilité et productivité des systèmes de cultures bio sans ou avec peu de bétail

Depuis l'étude de 2003 (Schmid, H.), des chercheurs ont tenté de définir des facteurs susceptibles de contribuer à la fertilité et à la productivité du sol dans de tels systèmes. Il s'agit, par exemple, d'améliorer la gestion des légumineuses à graines afin qu'elles puissent apporter le meilleur bénéfice possible (fixation efficiente d'azote) au système. Le programme appelé «Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit» (Köpke et al, 2011) comprenait plusieurs projets réalisés par différentes universités et instituts de recherche.

Pour améliorer la fixation symbiotique d'azote par les légumineuses, les recommandations suivantes furent formulées :

- semer des engrais verts qui ne font pas partie de la famille des légumineuses (par exemple l'association avoine + tournesol) avant une légumineuse. En effet, ces engrais verts provoquent une fixation symbiotique d'azote plus élevée, en particulier chez la féverole;
- s'assurer d'un approvisionnement suffisant en soufre pour les légumineuses. A cet effet, des analyses de feuilles peuvent être effectuées en cours de croissance. Dans les essais, les apports de soufre ont amélioré le rendement de la féverole;
- analyser les possibilités de pratiquer le travail réduit du sol et le semis direct, spécialement pour des espèces comme la féverole, sur sol non infesté d'adventices pérennes. Rajouter éventuellement du mulch de paille sur le semis direct (4 à 6 t/ha) pour contribuer à freiner le développement des chénopodes;
- optimiser la technique de semis afin d'améliorer le taux de levée des graines et l'homogénéité des jeunes cultures. Cela facilitera les travaux d'entretien;
- analyser la possibilité d'effectuer de la fumure localisée pour les cultures à interligne large afin de ne pas nourrir inutilement les adventices de l'interligne.

Depuis l'époque de l'étude de Harald Schmidt en 2003, on remarque donc un souci d'approfondir tous les aspects qui peuvent constituer un frein à la productivité d'un système de grandes cultures bio sans bétail. Les questions liées à l'optimisation des légumineuses illustrent bien ce souci de faire des progrès.

Certaines de ces recommandations peuvent être pertinentes pour Mapraz, par exemple la réduction du travail du sol ou le semis direct de la féverole.

3.9.3 Fatigue des légumineuses

En agriculture biologique, les légumineuses sont cultivées :

- en tant que culture principale (légumineuses à graines);
- en tant que culture dérobée, comme engrais verts ou comme partenaire dans l'un ou l'autre;
- en tant que partenaire d'un mélange fourrager de prairie temporaire.

Les risques de maladies de rotation dues à cette abondance de légumineuses sont potentiellement élevés. Ces risques peuvent conduire à la «fatigue des légumineuses», à savoir une baisse plus ou moins marquée de leurs rendements. Or, toute l'Europe cherche à augmenter la production de protéines fourragères. Comment faire pour éviter les risques de ces maladies ?

Le respect de la fréquence de retour d'une même légumineuse dans la rotation pour les différentes espèces fait partie des principales recommandations de Fuchs J. (FiBL) et du site Internet www.oekolandbau.de. Mais un agriculteur ose-t-il par exemple cultiver du pois protéagineux et de la vesce dans la même rotation ? Concernant ce type d'interactions entre les différentes légumineuses, un rapport scientifique en cours d'élaboration par Schmidt H. sortira en 2013 et permettra d'émettre des recommandations scientifiques (Fuchs J., 2012). En parallèle, une méthode d'analyse de sol, appelée «Diagnostic différencié», a été développée par le FiBL en Allemagne et en Suisse. Elle permet de tester si une parcelle présente un risque potentiel pour les légumineuses et quelle est la nature exacte de ce risque (champignons pathogènes, carence en éléments nutritifs, substances toxiques dans le sol, etc.).

A Mapraz, la rotation A comprend deux légumineuses à graines (pois et féverole) et une prairie temporaire (avec luzerne et trèfle violet). Ces cultures reviennent tous les six ans. Il peut également y avoir des engrais verts comprenant des légumineuses. Le pois (en association avec l'orge) est cultivé un an sur six au lieu des un an sur sept préconisés en Suisse pour prévenir les maladies de rotation comme *Aphanomyces euteiches*. Nous ne savons pas s'il y a une interaction négative entre les différentes légumineuses de la rotation concernant les maladies de la rotation. Aucune maladie de rotation n'a été observée à ce jour. Nous restons prudents quant à affirmer que de tels problèmes sont à exclure. Il s'agira d'être très attentif à ce risque et de chercher à apprécier la santé des légumineuses, peut-être plus précisément que par le passé. Dans la rotation B, il y a une seule légumineuse à graine (féverole) et une prairie temporaire de deux ans (avec luzerne et trèfle violet). Le risque d'interactions négatives entre légumineuses est plus faible.

4 Conclusions pour la pratique

Après 12 ans d'essai de grandes cultures bio sans bétail, nous pouvons tirer les enseignements suivants pour les conditions de Mapraz :

Sol, humus

- Le taux d'humus d'une exploitation sans bétail dans les sols lourds peut être maintenu à condition d'incorporer toutes les pailles.
- L'allongement de la prairie temporaire de un à deux ans permet l'amélioration du bilan humique et du nombre de lombrics.
- Une augmentation de la part des engrais verts dans la rotation et le recours au travail réduit du sol dans la mesure du possible amèneraient aussi une amélioration.
- La diminution de la fréquence des labours, ainsi que des labours plus superficiels, permettent de réduire la formation d'une semelle de labour.

Figure 15 : une visite de culture à la ferme pilote de Mapraz



Les principales questions des agriculteurs pour les grandes cultures biologiques sans bétail sont la lutte contre les mauvaises herbes, la fumure, le niveau des rendements et le travail.

Fertilisation

- La vente des fourrages des prairies temporaires provoque d'importantes exportations en phosphore, potasse et magnésium (voir le chapitre 3.2.2). Pour minimiser les exportations en P, K et Mg, l'utilisation du fourrage des prairies temporaires comme apport de matière organique et de fumure dans la rotation est une solution à explorer.
- Les apports en azote pour les cultures à Mapraz se basent sur ce que peuvent fournir la rotation et le sol. La part importante de légumineuses présentes à Mapraz depuis 1999 semble avoir porté ses fruits; elle a été bénéfique au rendement des cultures.
- L'allongement de la durée de la prairie temporaire permet d'avoir un effet azote intéressant sans intégrer trop de légumineuses à graines dans la rotation, ce qui limite le risque de fatigue des légumineuses.
- Les observations faites sur un blé après une prairie temporaire dont la moitié n'avait pas de légumineuses montrent l'importance d'une proportion élevée de légumineuses dans les prairies temporaires pour approvisionner les cultures suivantes sur des fermes sans bétail. Les semis de PT doivent être soignés, même si on ne vend que peu de fourrage. Le risque «limaces» à la levée de la PT ne doit pas être sous-estimé, particulièrement en sols lourds.
- Pour des cultures plus exigeantes, comme le maïs, le colza ou la betterave, les apports azotés de la seule rotation culturale seraient très probablement insuffisants et nécessiteraient des apports extérieurs.

Adventices

- La durée de la prairie temporaire est décisive pour la maîtrise des chardons :
 - l'allongement de la durée de la PT à deux ans au lieu d'une année permet de réduire les chardons;
 - la réduction de la PT à une seule année se solde par une augmentation du temps nécessaire à la lutte contre le chardon.
- Le vulpin des champs peut être maîtrisé par la pratique régulière du faux semis.

- La pression des mauvaises herbes dans un système sans bétail, comprenant peu de prairies temporaires, est importante et la culture du pois protéagineux pur y est encore plus difficile que dans les autres systèmes. La culture associée du pois avec l'orge donne des résultats encourageants. La progression des surfaces semées en pois-orge ces dernières années en Suisse démontre l'efficacité de cette technique.
- La culture des pois protéagineux en association avec de l'orge permet d'obtenir des cultures propres avec des rendements bien meilleurs qu'en culture pure.

Economie

- Les rendements à Mapraz sont inférieurs de 8% pour le blé, de 16% pour les PT ou comparables aux références bio pour la féverole et l'avoine.
- La rotation avec un an de PT permet d'obtenir une meilleure marge brute comparable moyenne (marge brute comparable d'assolement) que celle avec deux ans de PT. Dans le cas de Mapraz, la culture pure a plombé les résultats de la rotation A par ses mauvaises performances. L'introduction de la culture associée pois-orge permet d'inverser la situation.
- La «marge brute comparable d'assolement» obtenue sur la rotation avec deux ans de PT est supérieure d'environ Fr. 200.-/ha à celle obtenue sur la rotation avec une seule année de PT. En comptant le potentiel d'amélioration de cette marge par la culture des pois en association, la rotation A présenterait une meilleure marge d'assolement d'environ Fr. 150.-/ha.
- La rotation avec deux ans de PT a demandé moins de travail que celle avec un an de PT. C'est surtout le temps de travail pour l'arrachage des chardons qui a fait la différence.
- La marge brute comparable d'assolement est inférieure à la référence de Fr. 670.-/ha pour la rotation A et de Fr. 250.-/ha pour la rotation B.

Prairie temporaire

La durée de la prairie temporaire a des impacts techniques et économiques. L'allongement de la prairie à deux ans au lieu d'une année a les effets suivants :

Avantages

- meilleur bilan humique;
- amélioration de la structure du sol;
- meilleur effet azote;
- diminution des temps de traction;
- diminution des chardons et du temps de travail consacré à la lutte contre les chardons;
- moindre risque de fatigue des légumineuses (moins de cultures de légumineuses à graines).

Inconvénients

- économiquement plus sensible à la mise en valeur des produits des prairies;
- exportations plus importantes en éléments nutritifs;
- moins bonne marge brute de l'assolement, à moyen terme en tous cas.

Figure 16 : la ferme pilote de Mapraz début juillet 2011 (rotation B à droite)



Littérature

- Ryser J, Vuilloud P., 2003. Bilan d'un essai de fumure phosphopotassique de 30 ans dans un sol argileux, Revue suisse d'agriculture, Vol 35, 77-81.
- Rossier N., Institut agricole de Grangeneuve, 2012. Communication personnelle.
- AGRIDEA, FiBL, 2011. Marges brutes, édition 2011 (ou : catalogue Marges brutes).
- Clerc C., Tamarcaz J., ferme pilote de Mapraz, rapport intermédiaire 2000-2005, AGRIDEA. www.srva.ch/files/mapraz_rapportintermediaire.pdf
- Schmidt H., 2003. Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau. Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen. Justus-Liebig-Universität Giessen (<http://orgprints.org/5020/>).
- Gazzarin C., Agroscope ART : Coûts machines 2011 (rapport ART 747).
- Köpke et al, 2011. Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit. Universität Bonn, Universität Göttingen, Institut für Technik und Wirtschaft Dresden (<http://orgprints.org/20737/>).
- SRVA, LBL, FiBL, 2011. Marges brutes, édition 2011 (communément appelé : catalogue Marges brutes).
- **Leithold et al.**, 1997. Humusbilanzierung : Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). Initiativen zum Umweltschutz 5, Umweltverträgliche Pflanzenproduktion, Zeller Verlag Osnabrück, 5, 43-54.
- <http://www.vhe.de/fileadmin/docs/publikation/humusbilanzierer/HumusbilanzOek.htm>.
- <http://www.oekolandbau.de/erzeuger/pflanzenbau/koernerleguminosen/ist-mein-boden-fit-fuer-den-anbau-von-koernerleguminosen/>.
- <http://bodenfruchtbarkeit.org/179.html>.

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).
- Nicolas Rossier, IAG (interprétation des résultats d'analyse de l'activité biologique du sol).
- Gerhard Hasinger (observations du sol).
- Fabien Chambettaz, ProConseil; Hansueli Dierauer, FiBL; Philippe Droz, AGRIDEA; Jacques Dugon, AGRIDEA; Mélanie Roth, AGRIDEA (relecture du texte et conseils de rédaction).

Lausanne, décembre 2012

Maurice Clerc, FiBL et Josy Tamarcaz, AGRIDEA

Annexes

- | | |
|----------|--|
| Annexe 1 | Plan de rotation et assolement Mapraz 2006-2011 |
| Annexe 2 | Analyses de sol (pH, Humus, P, K, Mg) |
| Annexe 3 | Analyses de l'activité biologique du sol (méthode BSA) |
| Annexe 4 | Taxation de mauvaises herbes |
| Annexe 5 | Marges brutes Rotation A et Rotation B |
| Annexe 6 | Résultats climatiques |
| Annexe 7 | Bilan humique en «Unités Humiques» (Leithold et al.) |
| Annexe 8 | Gluten |

Annexe 1 – Plan de rotation et assolement Mapraz 2006-2011

Rotation A

Année		2006	2007	2008	2009	2010	2011
Parcelles	A1	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320	Blé d'automne Ataro	Pois prot. print. Santana	Blé d'automne Titlis	Féverole d'hiver
	A2	Trèfle violet Formica	Blé d'automne Pollux	CERPRO Triticale+avoine+pois d'automne	Blé d'automne Ataro	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis
	A3	Blé d'automne Ataro	Pois prot. de printemps Santana	Blé d'automne Ataro	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Mel Std 320
	A4	Pois prot. d'automne Spirit	Blé d'automne Pollux	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320	Blé d'automne Titlis
	A5	Blé d'automne Ataro	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320	Blé d'automne Titlis	CERPRO Pois prot.+orge de printemps
	A6	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Pollux	Mel Std 320	Blé d'automne Ataro	Pois prot. print. Mascara	Blé d'automne Titlis

Rotation B

Année		2006	2007	2008	2009	2010	2011
Parcelles	B1	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320 (1 ^{ère} année)	Mel Std 320 (2 ^e année)	Blé d'automne Ataro	Avoine de printemps Expander	Féverole d'hiver Olan/Hiverna
	B2	Trèfle violet Formica (1 ^{ère} année)	Trèfle violet Formica (2 ^e année)	Blé d'automne Ataro	Avoine de printemps Expander	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis
	B3	Trèfle violet Formica (2 ^e année)	Blé d'automne Pollux	Avoine de printemps Président	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Titlis	Mel Std 320 (1 ^{ère} année)
	B4	Blé d'automne Ataro	Avoine de printemps Président	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320 (1 ^{ère} année)	Mel Std 320 (2 ^e année)
	B5	Orge d'automne Landi	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Ataro	Mel Std 320 (1 ^{ère} année)	Mel Std 320 (2 ^e année)	Blé d'automne Titlis
	B6	Féverole d'hiver Olan	Blé d'automne Pollux	Mel Std 320 (1 ^{ère} année)	Mel Std 320 (2 ^e année)	Blé d'automne Titlis	Avoine de printemps Président

Annexe 2 – Analyses de sol (pH, Humus, P, K, Mg)

Parcelles →	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	Moyenne parcelles A	Moyenne parcelles B	Moyenne générale
-------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	---------------------	---------------------	------------------

Année 1999 Lullier

pH (H2O)	7.8	7.7	7.8	7.9	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
Humus %	3.8	4.3	4.4	5.2	5.4	5.7	3.9	4.9	4.8	5.1	5.0	5.1	4.8	4.8	4.8
P (NH4 + EDTA)	46	48	43	22	14	12	51	72	47	44	45	54	30.8	52.2	41.5
K (NH4 + EDTA)	488	179	175	186	186	182	177	193	223	232	212	220	232.7	209.5	221.1
Mg (NH4 + EDTA)	218	261	270	302	329	338	190	225	253	271	251	227	286.3	236.2	261.3

Année 2005 Sol-Conseil

pH (H2O)	7.4	7.7	7.7	7.7	7.9	7.7	7.7	7.7	7.6	7.8	7.9	7.9	7.7	7.8	7.7
Humus %	3.8	4.1	4.5	4.5	4.5	4.3	3.9	3.9	4.4	5.1	5.0	5.4	4.3	4.6	4.5
P (NH4 + EDTA)	48.4	67	46.1	48.6	50.6	61.9	57.2	48.7	58.9	25.2	15.9	10	53.8	36.0	44.9
K (NH4 + EDTA)	134.3	145.4	185.5	177.1	168.1	169.8	150	138.9	147.5	145.2	148.4	150.7	163.4	146.8	155.1
Mg (NH4 + EDTA)	168.4	186.4	221.8	220.4	211.5	195.5	194	218.3	222.8	228.9	266	273.9	200.7	234.0	217.3

Année 2011 Sol-Conseil

pH (H2O)	7.7	7.8	7.7	7.8	7.9	7.8	7.7	7.7	7.7	7.9	7.9	8	7.8	7.8	7.8
Humus %	3.9	4.3	4.9	4.8	4.6	4.6	4	4.2	4.6	4.9	5.7	5.6	4.5	4.8	4.7
P (NH4 + EDTA)	45.3	62.0	42.9	40.1	41.3	58.3	40.4	48.2	45.8	14.0	8.4	4.4	48.3	26.9	37.6
K (NH4 + EDTA)	156.4	171.9	183.0	190.9	203.1	199.4	171.2	168.6	166.2	154.4	164.6	168.1	184.1	165.5	174.8
Mg (NH4 + EDTA)	170.3	190.2	226.3	238.4	227.8	202.6	218.0	251.3	239.1	251.2	276.9	292.0	209.3	254.8	232.0

Annexe 3 – Analyses de l'activité biologique du sol (méthode BSA)

		Valeur de référence	Appré- ciation		Valeur de référence	Appré- ciation		Valeur de référence	Appré- ciation
Mai 2007									
Parcelles	A2			A6			B3		
Argile % (SC 1999)	42.2			45.3			44.8		
pH (H ₂ O) (SC 2011)	7.8			7.8			7.7		
Humus % (SC 2005/SC 2011)	4.1			4.3			4.4		
Activité biologique :									
Biomasse ATP	1399	2073	B	1377	2238	B	1425	2211	B
CO ₂ j4	5	5.43	D	6	5.60	D	6	5.68	D
CO ₂ j9	7	5.20	E	6	5.40	E	6	5.50	E
Min C Org	983	914	D	983	948	D	973	965	D
Rapport CO ₂ /ATP	4.0	4.32	D	4.0	4.32	D	4.0	4.37	D
Mai 2008									
Parcelles	A1			A5			B2		
Argile % (SC 1999)	39			42.5			45.2		
pH (H ₂ O) (SC 2011)	7.7			7.9			7.7		
Humus % (SC 2005/SC 2011)	3.8			4.5			3.9		
Activité biologique :									
Biomasse ATP	1350	1903	B	2157	2088	C	1168	2232	A
CO ₂ j4	5	5.17	C	6	5.76	D	4	5.26	C
CO ₂ j9	6	4.89	E	8	5.60	E	6	4.99	E
Min C Org	910	863	D	1131	981	E	814	880	D
Rapport CO ₂ /ATP	4.0	4.37	C	3.0	4.26	B	4.0	4.37	C
Mai 2009									
Parcelles	A6			A4			B1		
Argile % (SC 1999)	45.3			43.4			39.3		
pH (H ₂ O) (SC 2011)	7.8			7.8			7.7		
Humus % (SC 2005/SC 2011)	4.6			4.8			4.0		
Activité biologique :									
Biomasse ATP	1109.0	2238	A	1703.0	2136	C	1121.0	1919	A
CO ₂ j4	9.0	5.85	E	9.0	6.01	E	7.0	5.35	E
CO ₂ j9	6.0	5.70	E	7.0	5.90	E	5.0	5.10	D
Min C Org	1248.0	998	E	1302.0	1031	E	1048.0	897	E
Rapport CO ₂ /ATP	8.0	4.32	E	5.0	4.32	C	6.0	4.37	D

Explications

	Blé qui suit une année de prairie temporaire
	Blé qui suit deux ans de prairie temporaire
	Blé en fin de rotation (5 ^e année de culture)

Classes

A	pauvre
B	médiocre
C	satisfaisant
D	riche
E	très riche

Interprétation

Biomasse ATP	Evaluation de la masse de micro-organismes présents dans le sol
CO ₂ j4 et CO ₂ j9	Mesure de la respiration des micro-organismes au 4 ^e et 9 ^e jour après l'incubation de l'échantillon. Plus il y a de CO ₂ , plus l'activité des micro-organismes dans le sol est intense.
Min C org	Quantité de matière organique minéralisée par les micro-organismes durant 15 jours : indicateur de l'activité des micro-organismes.
Rapport CO ₂ /ATP	Un rapport CO ₂ /ATP élevé indique que la biomasse est plutôt minéralisatrice, un rapport faible qu'elle est plutôt humificatrice. Par exemple, le travail réduit du sol favorise habituellement un rapport CO ₂ /ATP faible, ce qui peut contribuer à une augmentation de la teneur en humus du sol.

Interprétation : Nicolas Rossier, Institut agricole de Grangeneuve (FR), 04.09.2012.

Annexe 4 – Taxation de mauvaises herbes

Adventices	Céréales	Féverole	Pois	Remarques
Note générale (ensemble des adventices à mi-juin)	2 à 3	2 à 3	5 à 7	Céréales : 2 cas de note 4 sur 30 parcelles. Pois : 3 cas de note 7 sur 6 parcelles. Féverole : 2 cas de note 6 sur 12 parcelles.
Chardon des champs	1 à 3	2 à 3	2 à 4	Davantage de chardons dans la rotation A.
Vulpin des champs	2 à 5	1 à 3	1 à 2	Féverole : 1 cas de note 6 sur 12 parcelles.
Folle-avoine	2 à 4	2 à 4	1 à 2	A tendance à passer de la bordure des parcelles à l'intérieur des parcelles.
Gaillet gratteron	1	1	1	
Véronique à feuilles de lierre	1	1	1	Pendant l'hiver, jusqu'à la note 4 dans les céréales et la féverole.
Chénopode blanc	1	1 à 4	2 à 4	Jusqu'à la note 5 dans les pois.
Ortie royale	1	1	3 à 4	Jusqu'à la note 5 dans les pois.
Prêle	1 à 5	1 à 5	1 à 4	Population de prêle dans les parties basses des parcelles (~30% des surfaces).
Renouée liseron	1 à 2	1 à 2	3 à 5	
Coquelicot	1	1	1	

Echelle de taxation du taux de couverture par les mauvaises herbes à Mapraz

Note	Taux de couverture
1	< 1%
2	1-2%
3	2-5%
4	5-10%
5	10-25%
6	25-50%
7	50-75%
8	>75%
9	~100 %

Annexe 5 – Marges brutes Rotation A

Culture	Blé			Pois, CerPro			Blé			Féverole			Blé			PT			Ø Asso- lement A
<i>Place dans la rotation de cultures (année)</i>	1			2			3			4			5			6			
unités	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt MS	PU Fr.	valeur Fr.	
Rend. net standardisé	dt	35.4	105.88	3748	10.2	86.60	883	39.8	105.88	4214	31.6	90	2844	38.3	105.88	4055			0
Charges	%	2.2			5.0			2.2			3.0			2.2					
Ventes fourrages					10	20	200					1000				91	30.00	2730	
Primes de culture ou extenso			400			400			400						400				

Prestations et charges spécifiques : Moyennes réelles de Mapraz 2007-2011.

Frais des travaux par tiers : Selon le «catalogue Marges brutes 2011 d'AGRIDEA/FIBL»; pour les travaux de récolte des prairies : Rapport ART.

Prix	Blé : prix normal 4 ans; avec 0.65/dt de réfaction en 2007 -> prix moyens de Fr. 105.88 fr/dt. Pois : prix 2010 = Fr. 100.-/dt. prix 2011 = prix moyen en fonction de la part de pois et d'orge dans la récolte. Prix moyen général = Fr. 86.60. Avoine : prix normal 2 ans sur 5 et réfaction de 1.-/dt 3 ans -> prix moyen de Fr. 64.40 / dt.
Pois :	Vente de la récolte en grains en 2010 et 2011 : - Vente de fourrage sous forme d'ensilage en 2008 : 50 dt répartis sur 5 ans : 10 dt/an en moyenne. - Primes de cultures : 2 primes de cultures sur 5 ans : donne Fr. 400.- de primes de cultures en moyenne.

Annexe 5 – Marges brutes Rotation B

Culture	Place dans la rotation de cultures (année)	Blé			Avoine de printemps			Féverole			Blé			PT			PT			Ø Asso-lement B
		1			2			3			4			5			6			
	unités	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt	PU Fr.	valeur Fr.	dt MS	PU Fr.	valeur Fr.	dt MS	PU Fr.	valeur Fr.	
Rend. net standardisé	dt	41.0	105.88	4341	45.9	64.40	2956	31.8	90	2862	39.1	105.88	4140			0			0	
Charges	%	2.2			2.0			3.0			2.2					0			0	
Ventes fourrages														88	30.00	2646	90	30.00	2712	
Primes de culture ou extenso				400			400			1000			400							367
Prestations (Produit brut)		4741			3356			3862			4540			2646			2712			3643
Semences	kg/ha et prix/kg	200	1.93	386	185	1.79	331	202	2.15	434	200	1.93	386	32	12.20	387	32	12.20	387	
Fumure																				
Réception, triage, conditionnement		41.9	4.20	176	46.8	4.60	215	32.8	4.40	144	40.0	4.20	168	0.0						

Prestations et charges spécifiques : Moyennes réelles de Mapraz 2007-2011.

Frais des travaux par tiers : Selon le «catalogue Marges brutes 2011 d'AGRIDEA/FIBL»; pour les travaux de récolte des prairies : Rapport ART.

Annexe 6 – Résultats climatiques

Rotation A

Kg CO₂ eq./ha*a⁻¹	Blé	Pois	Blé	Féverole	Blé	Mst 320
Semis	184	382	184	283	184	157
Récolte	154	154	154	154	154	348
Autres travaux des champs	321	414	488	469	480	222
Emissions de N ₂ O	260	328	283	719	275	688
Transport	1	1	1	1	1	7
Total	920	1279	1111	1626	1095	1421

Kg CO₂ eq./kg	Blé	Pois	Blé	Féverole	Blé	Mst 320
Semis	0.0520	0.2136	0.0463	0.0895	0.0481	0.0172
Récolte	0.0436	0.0863	0.0388	0.0489	0.0403	0.0382
Autres travaux des champs	0.0906	0.2312	0.1227	0.1485	0.1255	0.0244
Emissions de N ₂ O	0.0734	0.1832	0.0711	0.2274	0.0718	0.0756
Transport	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0008
Total	0.2600	0.7145	0.2792	0.5146	0.2860	0.1562

MJ/ha*a⁻¹	Blé	Pois	Blé	Féverole	Blé	Mst 320
Semis	1835	3251	1835	2489	1835	1882
Récolte	2392	2392	2392	2392	2392	7124
Autres travaux des champs	4937	6354	7522	7212	7385	3418
Transport	17	9	19	15	19	117
Total	9181	12005	11768	12108	11630	12541

MJ/kg	Blé	Pois	Blé	Féverole	Blé	Mst 320
Semis	0.5184	1.8160	0.4611	0.7878	0.4791	0.2068
Récolte	0.6756	1.3361	0.6009	0.7568	0.6244	0.7829
Autres travaux des champs	1.3946	3.5499	1.8899	2.2822	1.9281	0.3756
Transport	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049	0.0129
Total	2.5934	6.7069	2.9567	3.8316	3.0366	1.3782

Rotation B

Kg CO₂ eq./ha*a⁻¹	Blé	Avoine	Féverole	Blé	Mst 320	Mst 320
Semis	184	228	283	184	191	55
Récolte	154	154	154	154	349	390
Autres travaux des champs	338	400	473	513	218	53
Emissions de N ₂ O	289	372	723	226	669	682
Transport	1	3	1	2	7	8
Total	967	1157	1635	1080	1435	1189

Kg CO₂ eq./kg	Blé	Avoine	Féverole	Blé	Mst 320	Mst 320
Semis	0.0449	0.0539	0.0890	0.0471	0.0216	0.0061
Récolte	0.0377	0.0364	0.0486	0.0395	0.0396	0.0433
Autres travaux des champs	0.0824	0.0942	0.1489	0.1312	0.0247	0.0059
Emissions de N ₂ O	0.0705	0.0877	0.2273	0.0578	0.0758	0.0757
Transport	0.0003	0.0008	0.0003	0.0006	0.0008	0.0009
Total	0.2358	0.2730	0.5140	0.2761	0.1627	0.1318

MJ/ha*a⁻¹	Blé	Avoine	Féverole	Blé	Mst 320	Mst 320
Semis	1835	2500	2489	1835	2416	646
Récolte	2392	2392	2392	2392	7147	8025
Autres travaux des champs	5198	5631	7282	7905	3355	812
Transport	20	50	16	35	118	134
Total	9445	10573	12179	12167	13036	9616

MJ/kg	Blé	Avoine	Féverole	Blé	Mst 320	Mst 320
Semis	0.4476	0.5895	0.7828	0.4693	0.2739	0.0716
Récolte	0.5833	0.5641	0.7521	0.6117	0.8103	0.8896
Autres travaux des champs	1.2678	1.3281	2.2901	2.0218	0.3804	0.0900
Transport	0.0049	0.0119	0.0049	0.0088	0.0134	0.0149
Total	2.3035	2.4936	3.8298	3.1116	1.4780	1.0661

Annexe 6 – Résultats climatiques (suite)

Le calcul des émissions en équivalents de CO₂ et de la consommation d'énergie, par ha et par kg de produit récolté, a été effectué par le FiBL (Meier Matthias, Klima-und Energiebilanz nach einem Oekobilanzansatz). Les résultats détaillés sont dans le tableau 8 et dans l'annexe 6. Les émissions de N₂O, liées à l'activité fixatrice d'azote des légumineuses sont également transformées en équivalents de CO₂.

Sur le plan méthodologique, il n'est pas possible de comparer entre eux les résultats par kg de produit récolté parce que les rotations A et B sont différentes. Par contre, il est autorisé de le faire avec les résultats par ha.

Tableau : émissions d'équivalents CO₂ par ha et consommation d'énergie par ha à Mapraz (moyenne de 2006 à 2011)

	Emission d'équivalent CO₂		Consommation d'énergie	
	(kg CO ₂ éq./ha année)		(MJ/ha année)	
	Rotation A	Rotation B	Rotation A	Rotation B
Semis	229	188	2188	1953
Récolte	187	226	3180	4123
Autres travaux des champs *	399	333	6138	5031
Transport	2	4	33	62
Emissions de N ₂ O	425	494	0	0
Total	1242	1244	11539	11169

* Travail du sol, désherbage, ...

Les différences d'émissions d'équivalents CO₂ et de consommation d'énergie entre les rotations A et B s'expliquent essentiellement par la durée différente de la prairie temporaire. Dans la rotation A, le semis et les autres travaux des champs produisent davantage d'émissions et de consommation d'énergie car il y a 5 années de cultures (au lieu de 4 années dans la rotation B) et seulement une année de prairie temporaire. Par contre, la rotation B génère davantage d'émissions et de consommation d'énergie pour la récolte, car il y a plus d'une récolte par année sur une prairie temporaire et il y a deux ans de prairie temporaire (au lieu d'un an dans la rotation A). Au final, sur le total des émissions et de la consommation d'énergie, il n'y a plus aucune différence notable entre les deux rotations culturales.

Le niveau des émissions en équivalents de CO₂ a été comparé avec celui d'autres essais bio en Suisse. Ces résultats figurent au tableau ci-dessous.

Tableau : émissions d'équivalents CO₂ par ha et consommation d'énergie par ha

Essai	Périodes	Procédés	Engrais organiques	kg CO ₂ éq./ha	MJ/ha
				et année	et année
Mapraz	2006 à 2011	Rotation A : labour	Aucune	1242	11539
Mapraz		Rotation B : labour	Fumure	1244	11169
Frick	2003 à 2009	Labour	Engrais de ferme :	1830	12908
Frick		Travail réduit	~ 0.8 UGBF/ha	1780	12414
Muri	2008 à 2010	Labour	Engrais de ferme	1413	8400
Muri		Travail réduit	~ 0.7 UGBF/ha	1627	8390

Les essais de Frick et Muri ont été conduits avec fumure; c'est ce qui explique que leurs émissions d'équivalents CO₂ sont de 14 à 45 % plus élevées qu'à Mapraz selon les procédés (labour ou travail réduit du sol) et les lieux.

Annexe 7 – Bilan humique en «Unités Humiques» (Leithold et al.)

Bilan humique Mapraz 2^e période

Rotation A

Unités Humiques

Année				Quantité (tonne)	MS (%)	Tonnes MS	UH/tonne	Unité humus	Total
1	Culture	Blé						-1.05	
	Dérobée	EV	1 an/6		100	0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3.5	86	3.01	1.38	0.41538	
	Engrais organique 2					0		0	-0.63462
2	Culture	Pois/orge						-0.7	
	Dérobée	EV		0.4	100	0.4	1.3	0.052	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3	86	2.58	1.38	0.35604	
	Engrais organique 2					0		0	-0.29196
3	Culture	Blé						-1.05	
	Dérobée	EV				0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3.5	86	3.01	1.38	0.41538	
	Engrais organique 2					0		0	-0.63462
4	Culture	Féverole						0.35	
	Dérobée					0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3	86	2.58	1.38	0.35604	
	Engrais organique 2					0		0	0.70604
5	Culture	Blé						-1.05	
	Dérobée	EV				0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3.5	86	3.01	1.38	0.41538	
	Engrais organique 2					0		0	-0.63462
6	Culture	PT Luzerne	1 ^{ère} année					1.8	
	Dérobée	EV				0	1.3	0	
	Engrais organique 1					0	1.38	0	
	Engrais organique 2					0		0	1.8
Rotation		Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Rotation	
A		Blé	Pois/orge	Blé	Féverole	Blé	PT Luzerne		
Culture		-1.05	-0.70	-1.05	0.35	-1.05	1.80	-1.70	
Dérobée		0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	
Paille restée sur le champ		0.42	0.36	0.42	0.36	0.42	0.00	1.96	
Engrais organique 2		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Somme		-0.63	-0.29	-0.63	0.71	-0.63	1.80	0.31	0.31022

Pois/orge : -0.7 unité (moyenne mathématique entre +035 pour la légumineuse à graine et -1.05 pour l'orge).

1 Unité Humique (HE) = 1 tonne (t) Humus avec 50 kg d'azote et 580 kg de carbone.

Bilan humique Mapraz
2^e période
Rotation B

Unités Humiques

Année				Quantité (tonne)	MS (%)	Tonnes MS	UH/ tonne	Unité humus	Total
1	Culture	Blé						-1.05	
	Dérobée	EV	1 an/6		100	0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3.5	86	3.01	1.38	0.41538	
	Engrais organique 2					0		0	-0.63462
2	Culture	Avoine						-0.7	
	Dérobée	EV		0.4	100	0.4	1.3	0.052	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3	86	2.58	1.38	0.35604	
	Engrais organique 2					0		0	-0.29196
3	Culture	Féverole						0.35	
	Dérobée					0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3	86	2.58	1.38	0.35604	
	Engrais organique 2					0		0	0.70604
4	Culture	Blé						-1.05	
	Dérobée	EV	1 an/6		100	0	1.3	0	
	Engrais organique 1	Paille restée sur le champ		3.5	86	3.01	1.38	0.41538	
	Engrais organique 2					0		0	-0.63462
5	Culture	PT Luzerne	1 ^{ère} année					1.8	
	Dérobée					0	1.3	0	
	Engrais organique 1					0	1.38	0	
	Engrais organique 2					0		0	1.8
6	Culture	PT Luzerne	2 ^e année					1.4	
	Dérobée					0	1.3	0	
	Engrais organique 1					0	1.38	0	
	Engrais organique 2					0		0	1.4

Rotation	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6	Rotation
B	Blé	Avoine	Féverole	Blé	PT Luzerne	PT Luzerne	
Culture	-1.05	-0.70	0.35	-1.05	1.80	1.40	0.75
Dérobée	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
Paille restée sur le champ	0.42	0.36	0.36	0.42	0.00	0.00	1.54
Engrais organique 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Somme	-0.63	-0.29	0.71	-0.63	1.80	1.40	2.34
							2.34484

<http://www.vhe.de/fileadmin/docs/publikation/humusbilanzierer/HumusbilanzOek.htm>

Annexe 8 – Gluten

Les teneurs en **protéines** et en **gluten humide** ont été analysées en 2010 et 2011 dans le cadre du projet «Qualité du blé bio» du FiBL, sur un réseau de 100 fermes bio en Suisse (150 échantillons). Les résultats se trouvent dans le tableau 6).

Tableau 6 : teneurs en protéines et gluten humide des blés de Mapraz et du réseau suisse en 2010 et 2011

		2010		2011		Moyenne	
		Mapraz	Réseau	Mapraz	Réseau	Mapraz	Réseau
Protéines (%)	moyenne	12.9	12.5	13.1	12.2	13	12.35
	min.	12.5		12.3			
	max	13.3		14.2			
Gluten humide %	moyenne	34.1	30	26.9	26.5	30.5	28.25
	min.	31.3		23.9			
	max	39.6		30.4			
Remarques :							
Teneur souhaitée en protéines = 12%; teneur souhaitée en gluten humide = 29%.							
La variété de blé cultivée à Mapraz en 2010 et 2011 était Titlis.							

Les teneurs en protéines et en gluten humide à Mapraz sont supérieures à la moyenne du réseau suisse pour les deux années 2010 et 2011:

- Les teneurs moyennes en protéines sont plus élevées de 0.65%.
- Les teneurs moyennes en gluten humide sont plus élevées de 2.05%.

Il est intéressant de constater que des teneurs en protéines et en gluten humide sont plus élevées à Mapraz que dans le réseau suisse malgré l'absence de fumure. La variété Titlis est connue pour ses bonnes teneurs en protéines et les sols de Mapraz semblent disposer d'une bonne capacité naturelle de fourniture en azote. Mais une interprétation plus fine des résultats obtenus n'est pas possible, car nous ne disposons que des résultats de deux années. Rappelons que la teneur en gluten humide du blé dépend de plusieurs facteurs :

- en première ligne du climat de l'année (détermine s'il y aura une minéralisation faible ou élevée de l'azote du sol);
- ensuite du site (le site est déterminant pour faire du rendement et de la qualité. Les bons sites fournissent toujours des hauts rendements et de la qualité quelle que soit l'année);
- et en troisième position vient la variété.

Sources : Dierauer H., www.bioactualites.ch.