Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Principe d'utilisation des engrais organiques

Utilisation des engrais de ferme

Raphael.charles@fibl.org
Progrès Sol
Moudon
08.11.2019

Fonctionnement de l’exploitation

Publication spéciale
Recherche Agronomique Suisse | Juin 2017
Agroscope une bonne alimentation, un environnement sain
PRIF 2017
Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse
Coordinateurs
Sokrat Sinaj et Walter Richner
Auteurs principaux
Christoph Carlen, René Flisch, Céline Gilli, Olivier Huguenin-Elie, Thomas Kuster, Annett Latsch, Jochen Mayer, Reto Neuweiler, Walter Richner, Sokrat Sinaj et Jean-Laurent Spring
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Département fédéral de l'économie, de la formation et de la recherche DEFR
Agroscope

Objectifs de la fertilisation

Réaliser un cycle des éléments nutritifs de l'exploitation aussi fermé que possible

- Entretien de la fertilité du sol à long terme

Optimaliser la production végétale sans puiser dans les réserves du sol ni les enrichir inutilement

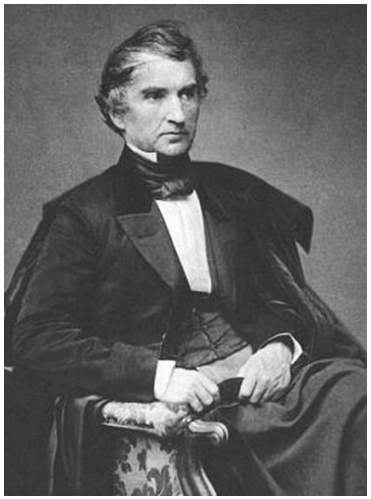
- Efficacité maximale des engrais / pertes minimales des éléments

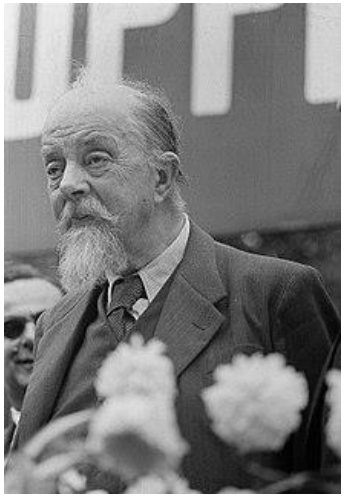
Apporter les éléments nutritifs indispensables aux plantes

- Macronutriments (N, P, K, Ca, Mg, S)
- Micronutriments ou oligoéléments (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, etc.)

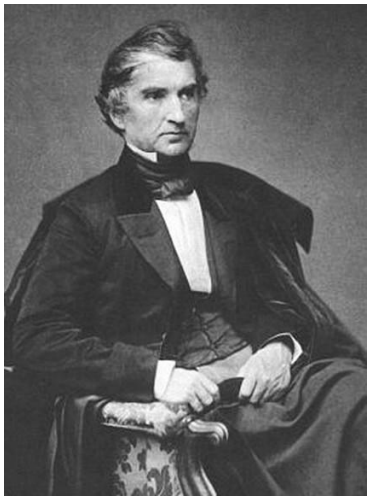
Croissance harmonieuse des plantes pour une production optimale: besoins des cultures, rendement, qualité, environnement

Deux lois fondamentales

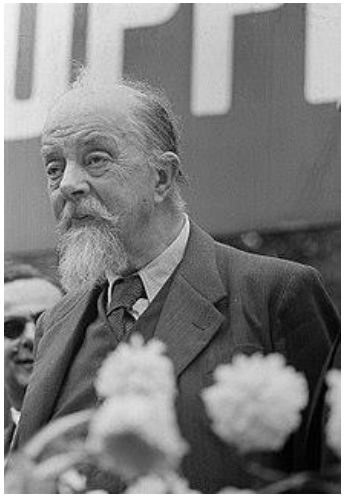




Deux lois fondamentales



Loi du minimum
Justus von Liebig



Loi des accroissements moins que proportionnels
Eilhard Alfred Mitscherlich

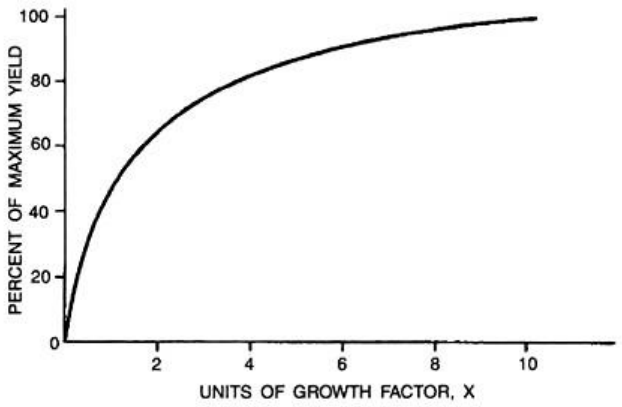


Fig. 20.2. Percentage of maximum yield as a function of increasing additions of a growth factor, *x*.

Illustrations wikipedia

Deux lois fondamentales

Loi du minimum (Liebig 1855)

L'élément le moins représenté ou le moins disponible pour la plante définit le niveau de rendement et la qualité de la récolte

Loi des accroissements moins que proportionnels (Mitscherlich 1909)

Quand on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, le rendement ne croit pas proportionnellement.

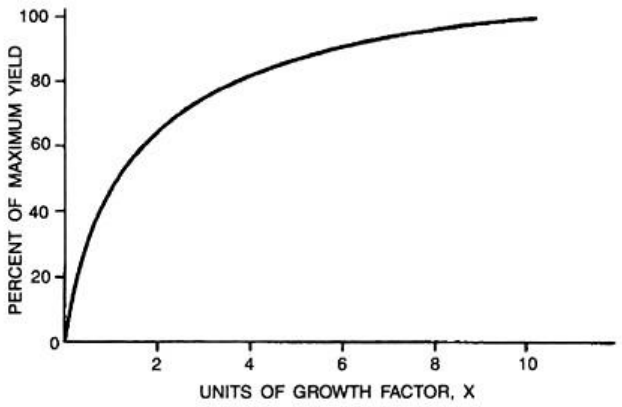
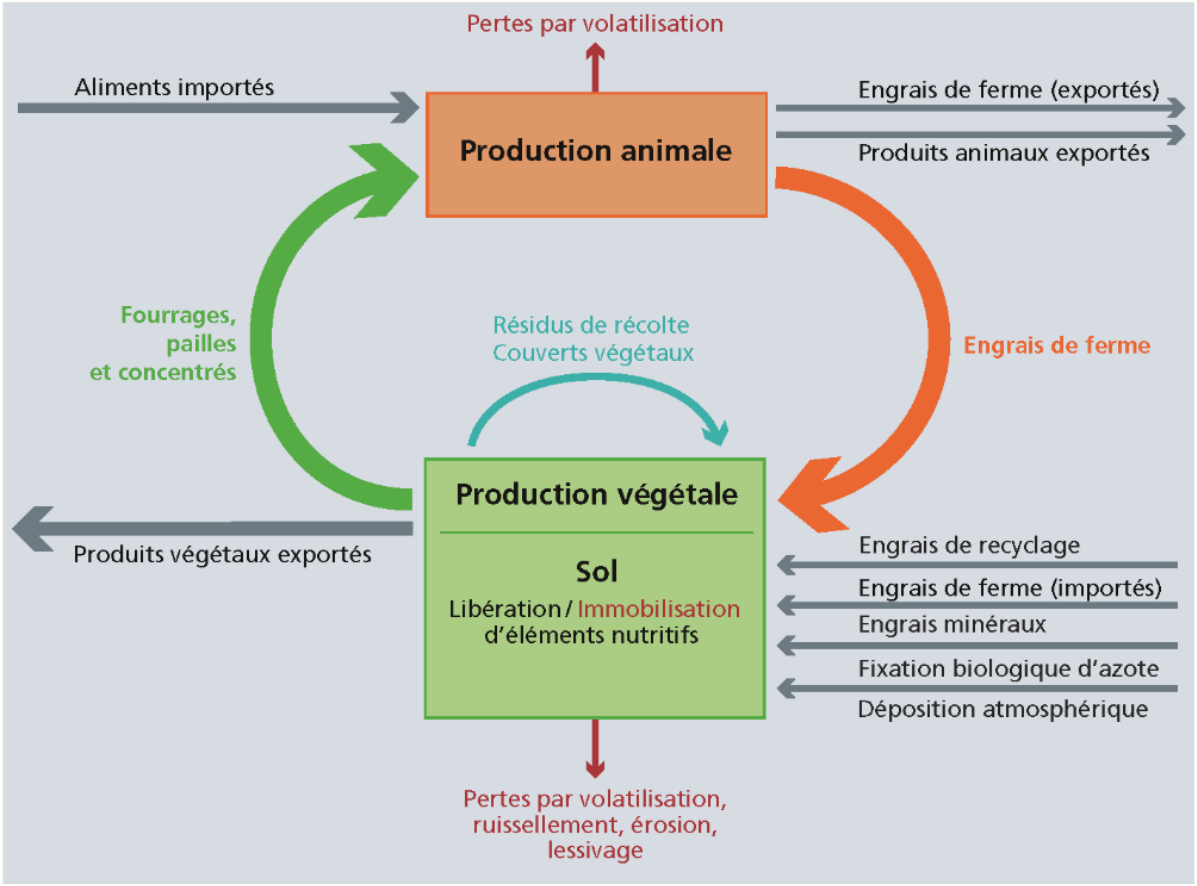


Fig. 20.2. Percentage of maximum yield as a function of increasing additions of a growth factor, *x*.

Exigences de la fertilisation raisonnée

- Besoin des plantes
- Teneur et disponibilité dans le sol
- Restitution des résidus précédents
- Besoins des plantes
- Quantité et qualité des éléments apportés
- Devenir dans le système sol-plante-environnement
- Rentabilité économique

Cycle des éléments dans une exploitation



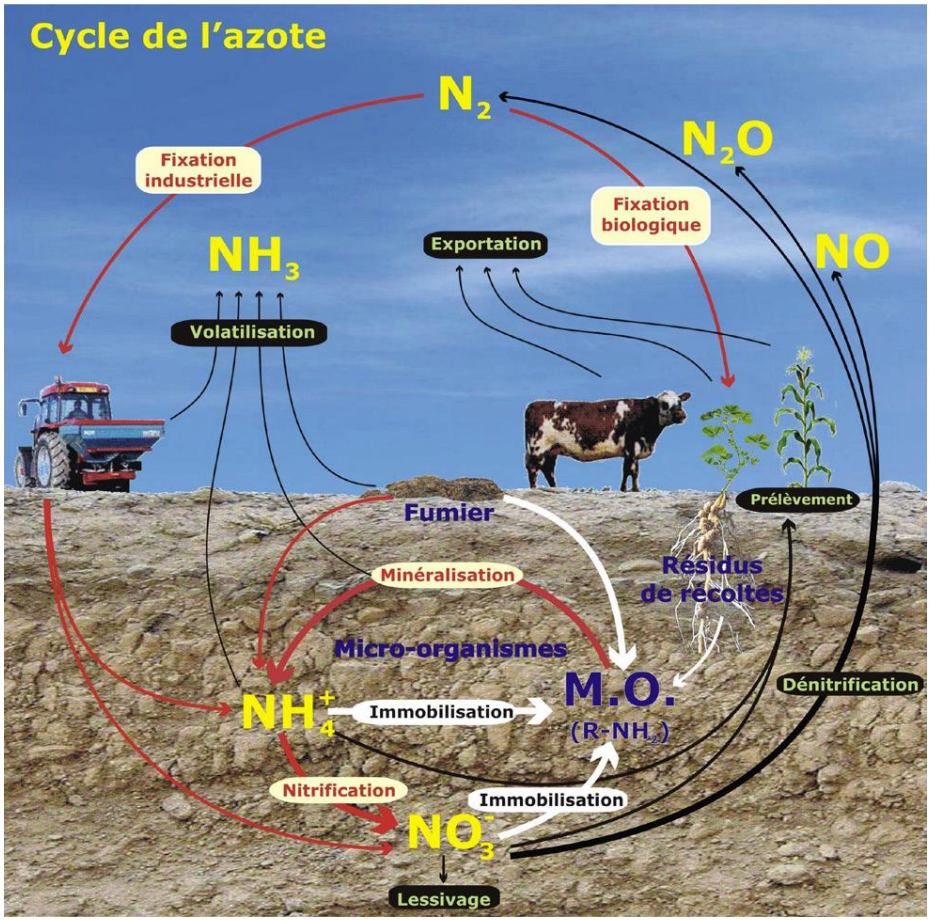
Cycle de l'azote et amendements organiques

Risques de pertes

- ammoniac, protoxyde d'azote
- nitrate

Contributions du bétail

- Engrais de ferme
- Fixation biologique
- Rotation des cultures

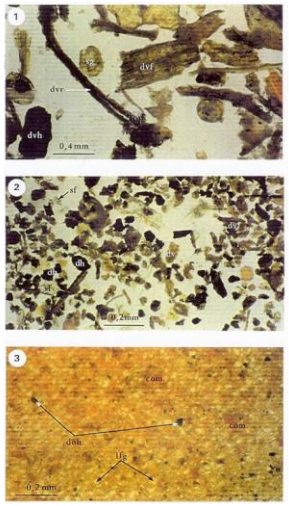


Humus et amendements organiques

Sol	Qualité de l'humus et effet	Appréciation
Macropores Pores moyen Micropores Organismes du sol et humus Argile Silt Sable Squelette	**Matière organique facilement décomposable** *Type «engrais de ferme liquides, engrais verts frais»* Effet: stimulation directe de l'activité biologique → Amélioration de la structure du sol (ameublissement, formation d'agrégats) → Augmentation de la minéralisation des éléments nutritifs (avant tout N, mais aussi P et S) **Matière organique difficile à décomposer** *Type «engrais de ferme solides, compost mûr»* Effet: amélioration directe des propriétés du sol → Amélioration de la structure du sol (stabilité) → Amélioration de la capacité de rétention des éléments nutritifs et de l'eau	**Mesure de la teneur en humus** et/ou **Bilan humique**

1- La caractérisation du « carburant » des sols : ractionnement granulométrique des MO (NF X31-516)

(Photos Feller, 1994)



Fraction 50 – 2000 µm

15 ans

MO libre
= *MO particulaires*
(C/N)

STATUT ORGANIQUE

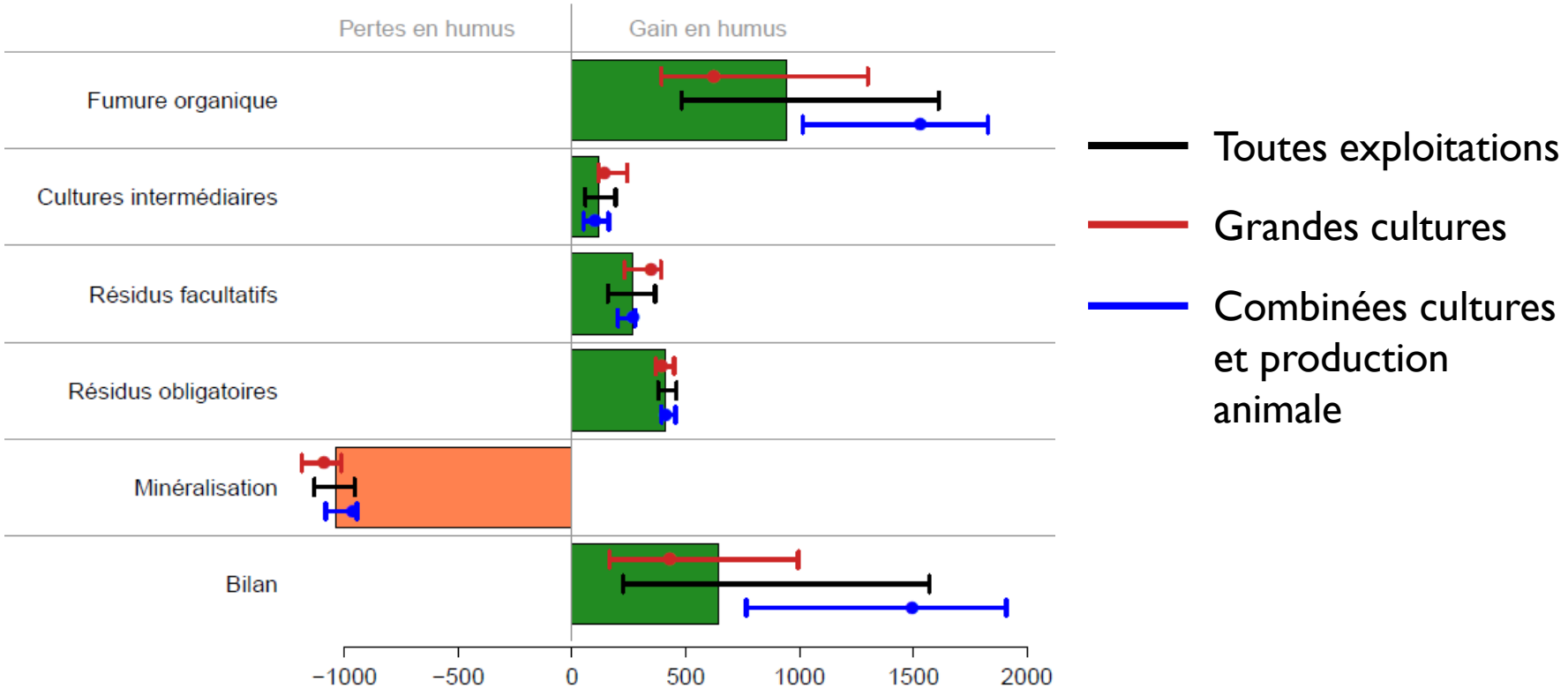
MO liée
(C/N)

Fraction < 50 µm

50 ans

Celesta-lab /FIBL-ProConseil-Mandaterre / Morges -28/09/2018 5

Bilan humique : résultats Progrès sol



- Variabilité du bilan expliquée par variabilité de la fumure organique
- Fumure organique : exploitations combinées > grandes cultures

Apport de C des engrais organiques: reproduction de l'humus

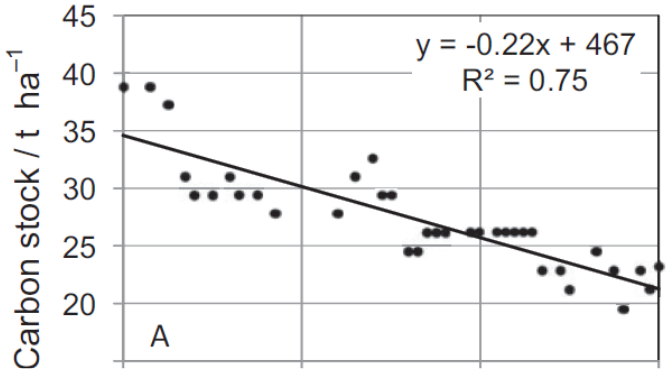
Facteur de caractérisation des engrais organiques (VDLUFA, 2014) utilisés dans le bilan humique, ainsi que valeurs C/N selon PRIF

- Capacité de reproduction de l'humus en Equivalent Humus (Reinhold, 2006)
- Facteur de stabilité (Ebersteder, 2014)

Matériel	Teneur en MO	Capacité de reproduction		Facteur de stabilité	C/N
	% MF	Häq / t MF	Häq / dt C	1/2 Häq / t MO	(PRIF)
Paille	81	100	21	0.62	
Engrais verts	10	8	14	0.4	
Fumier frais	17	28	28	0.82	19
Fumier décomposé	20	40	34	1	21
Fumier composté	25	62	43	1.27	
Lisier porc	3	4	23	0.6	3
Lisier bovin	3	6	34	0.9	9
Crottes de poules	11	12	19	0.55	7
Compost non décomposé	17	30	30	0.9	
Compost frais	16	40	43	1.25	18
Compost mûr	16	46	49	1.45	
Digestat liquide	6	9	26	0.8	9
Digestat solide	18	36	34	1	23
Digestat composté	16	40	43	1.25	

Evolution du carbone du sol dans différents essais de longue durée

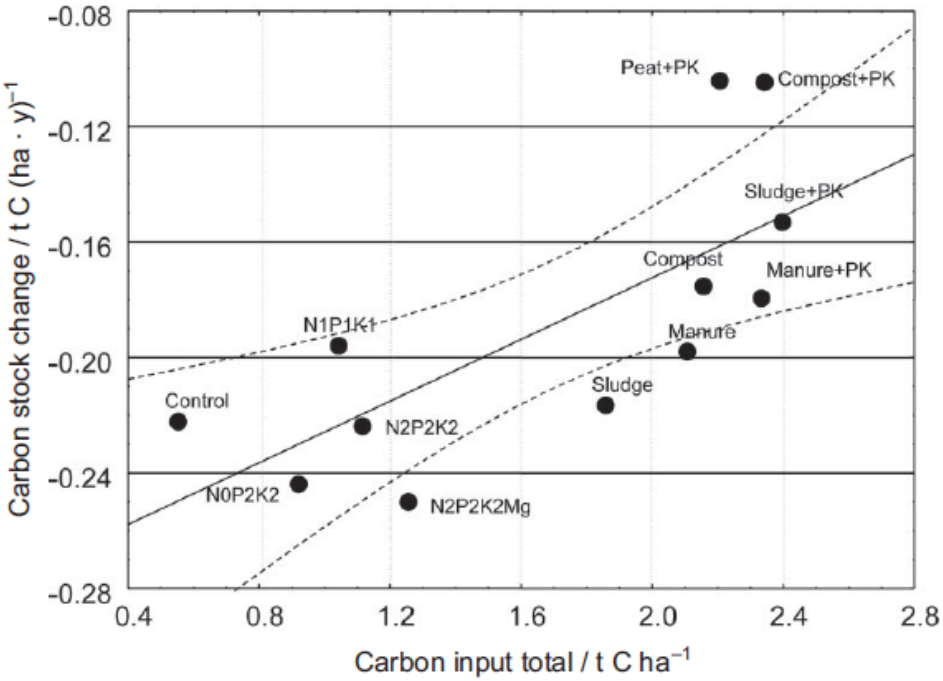
Evolution de 1949 à 2009 dans le procédé sans fertilisation



ZOFE Reckenholz

Oberholzer et al., 2014

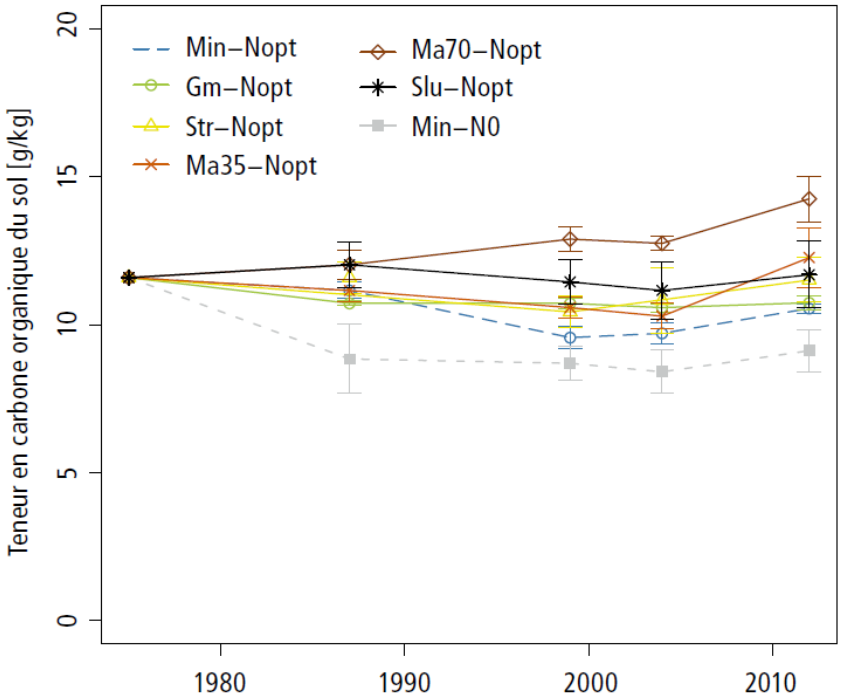
Relation entre le changement annuel de stock de carbone du sol et les apports annuel en carbone par les engrais et les résidus pour la période 1949-2009



Apports organique pour un équivalent de 2500 kg MO /ha et an: boue (sludge, fumier (manure), compost, tourbe (peat).

Evolution du carbone du sol dans différents essais de longue durée

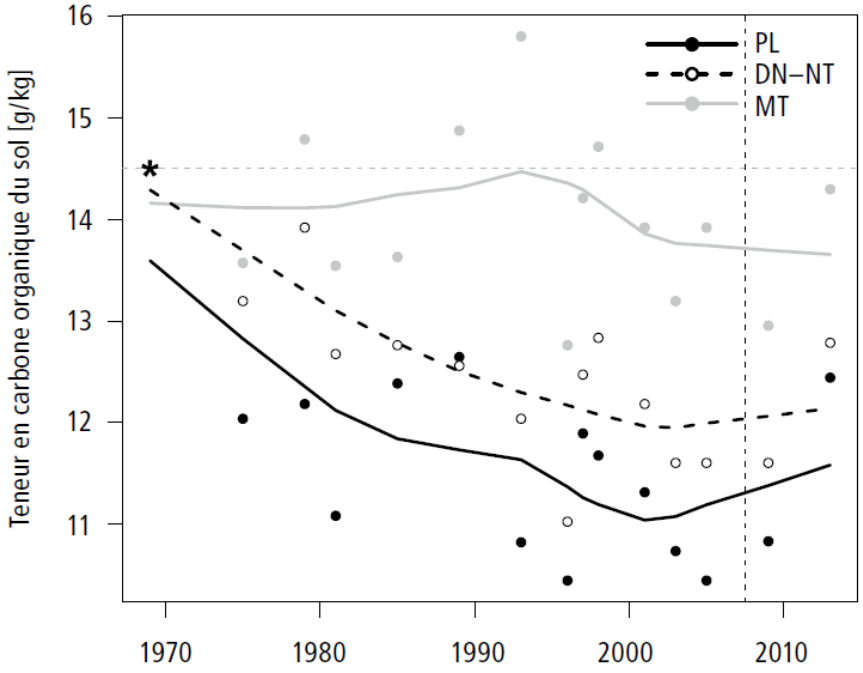
Engrais organique P24a Changins



Min : minéral
Gm : engrais vert
Str : paille restituée
Ma35: fumier 35 t/ha
Ma7o: fumier 70 t/ha
Slu: lisier

Maltas et al., 2018

Travail du sol P29c Changins



PL: labour
MT: travail minimum
DN-NT: travail profond, puis semis direct (2007)
Ajout de couverts dans la rotation depuis 2007

Büchi et al., 2017

Combinaison des facteurs travail du sol et amendements

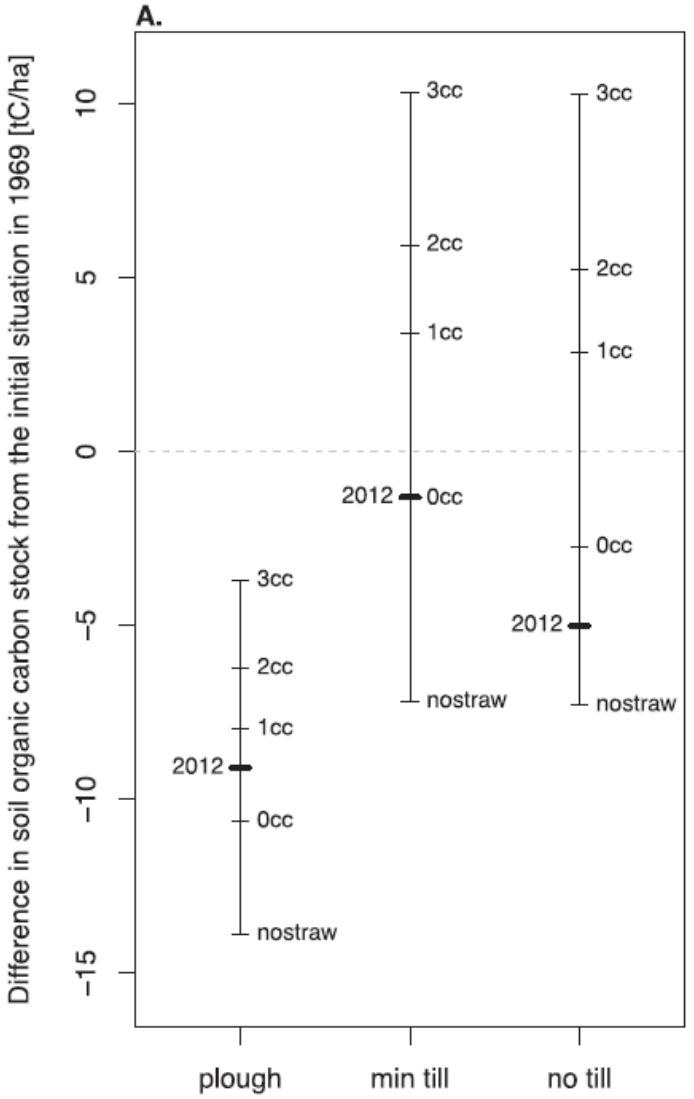
Différences de stock carbone dans le sol entre 1969 et 2067 selon différents scénarios

Labour, travail minimum du sol, semis direct (depuis 2007)

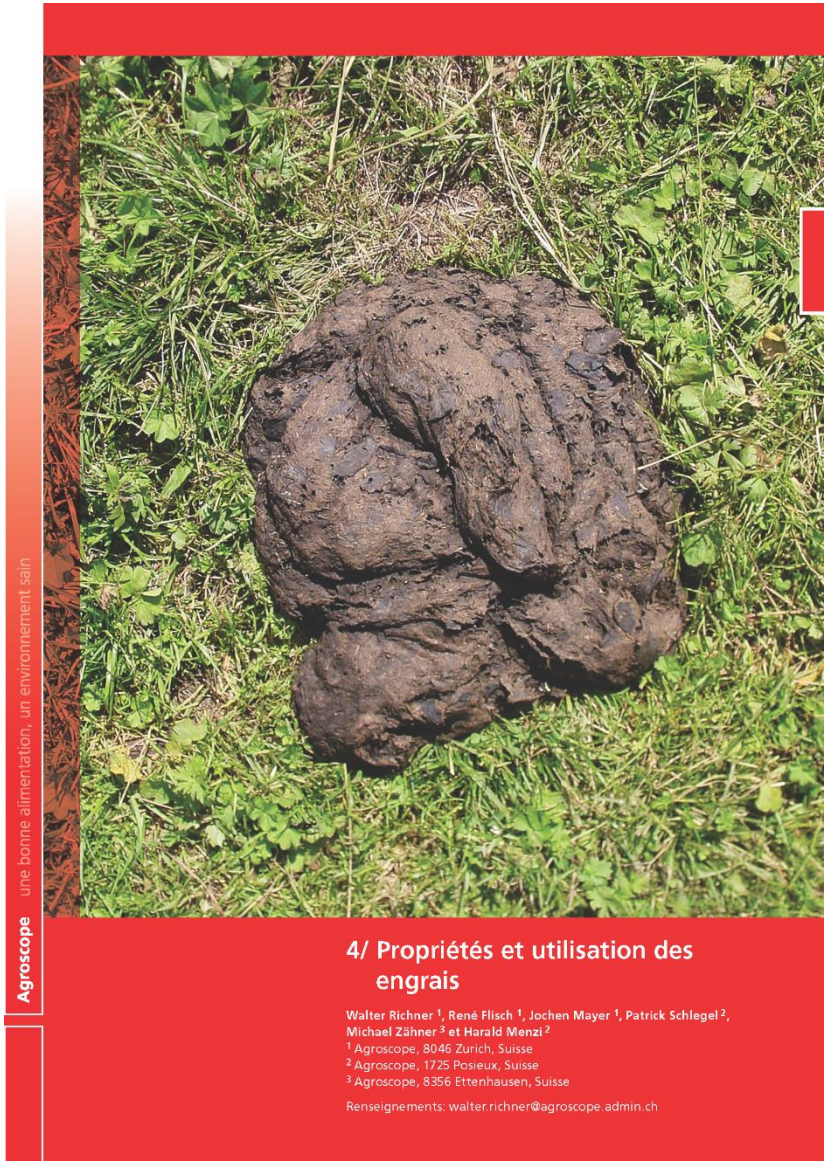
Etat en 2012

Sans paille (nostraw)

0, 1, 2 ou 3 couverts végétaux sur une rotation de 4 ans



Büchi et al., 2017


Agroscope une bonne alimentation, un environnement sain
4/ Propriétés et utilisation des engrais
Walter Richner [1], René Flisch [1], Jochen Mayer [1], Patrick Schlegel [2], Michael Zähner [3] et Harald Menzi [2]
[1] Agroscope, 8046 Zurich, Suisse
[2] Agroscope, 1725 Posieux, Suisse
[3] Agroscope, 8356 Ettenhausen, Suisse
Renseignements: walter.richner@agroscope.admin.ch

Production d'engrais de ferme et teneurs en éléments nutritifs

Teneurs en éléments nutritifs des corps d'animaux, du lait et des oeufs

Quantités d'éléments nutritifs dans les fèces et l'urine

Quantités d'engrais de ferme produits annuellement

Quantités d'eaux usées déversées dans la fosse

Teneur indicative des engrais de ferme

Teneurs en éléments nutritifs des corps d'animaux, du lait et des oeufs

- Type d'animal
- Teneur en éléments nutritifs (g/kg PV, g/l lait, g/kg œufs)

Quantités d'éléments nutritifs dans les fèces et l'urine

- Type d'animal/type de production
- Eléments nutritifs excrétés (kg/unité)

nible pour les plantes à moyen terme. En tenant compte des pertes inévitables à l'étable et pendant le stockage, la disponibilité effective de la quantité de N excrétée par les animaux se situe autour de 50 %.

2.2.2 Les déjections des animaux de rente

Le tableau 2 présente les quantités d'éléments nutritifs contenues dans les déjections des animaux de rente par place d'animal et par année en conditions de production moyennes. Toutes ces données se rapportent aux déjections animales, litière non comprise, pour une intensité de production moyenne et un affourragement conforme aux recommandations d'Agroscope (Agroscope 2015, 2016). Pour des calculs spécifiques à certains types d'exploitations, d'éventuelles différences par rapport aux valeurs de référence peuvent être corrigées d'après les indications présentées dans le tableau 3. Les données utilisées pour les calculs sont documentées dans l'annexe 2.

Tableau 1. Teneurs en éléments nutritifs des corps d'animaux, du lait et des œufs. Ces valeurs sont prises en compte dans les calculs de bilans pour déterminer les quantités d'éléments nutritifs dans les déjections.

Type d'animal/produit	Teneur en éléments nutritifs (g/kg de poids vif, g/l de lait, g/kg d'oeufs)						
	N	P	P_2O_5	K	K_2O	Mg	Ca
Vache laitière	25	6,0	14	1,6	1,9	0,50	11,6
Veau	24	5,9	14	1,6	1,9	0,35	11,0
Taureau à l'engrais	28	7,0	16	2,1	2,5	0,40	13,0
Mouton	22	6,0	14	1,2	1,4	0,30	11,0
Chèvre	21	5,3	12	1,5	1,8	0,35	9,0
Porcelet	25	5,3	12	2,3	2,9	0,34	8,3
Porc, accroissement (25–120 kg)	26	5,4	12	2,3	2,8	0,30	8,0
Porc à l'engrais, truie[1]	25	5,1	12	2,2	2,7	0,30	8,0
Volaille	29	5,8	13	2,6	3,1	0,30	10,0
Lait	5,5	1,0	2,3	1,6	1,9	0,10	1,2
Oeufs	18	1,8	4,2	1,2	1,4	0,50	33,0

[1] La truie n'est en général pas prise en compte dans les bilans.

Tableau 2. Valeurs indicatives des quantités d'éléments nutritifs dans les fèces et l'urine de différents animaux de rente. Des données pour d'autres animaux de rente sont consignées dans l'annexe 3.

Type d'animal/type de production		Eléments nutritifs excrétés annuellement en kg par unité (animal ou place animal)							Consommation de fourrage de base (dt matière sèche/an)
		N	P	P_2O_5	K	K_2O	Mg	Ca	
Vache laitière	Production annuelle: 7'500 kg[1]	112	17	39	143	172	14	36	56
Vache allaitante[2]	Races lourdes (> 700 kg)	95	14	31	131	158	10	30	50
	Races moyennes (600–700 kg)	85	12	28	117	141	9,0	27	45
	Races légères (< 600 kg)	72	10	24	98	118	8,0	23	38
Génisse d'élevage[A1]	Moins de 1 an	25	3,3	7,5	29	35	4,0	10	11
	1 à 2 ans	40	5,7	13	50	60	5,0	15	22
	Plus de 2 ans	55	8,7	20	62	75	7,0	23	33
Veau à l'engrais[A2]	Par place	18	3,1	7,1	9,4	11	1,1	7,0	1,0
	Par animal engraissé	5,5	0,9	2,1	2,8	3,4	0,3	2,1	0,3
Veau de vache allaitante[A3]	Jusqu'à env. 350 kg/animal engraissé	22	3,1	7,0	20	24	1,3	3,8	6,0
	Jusqu'à env. 220 kg/animal engraissé	9,0	1,4	3,2	5,5	6,6	0,6	1,5	1,0
Bovin à l'engrais (65–530 kg)[A4]	Age max. 160 j., par place	23	2,2	5,0	19	23	1,3	2,9	6
	Age > 160 jours, par place	49	5,7	13	34	42	4,2	15	21
Bovin engraissé au pâturage									

Quantités d'engrais de ferme produits annuellement

- Type d'animal/type de production
- Production d'engrais de ferme et utilisation de paille par année selon le système de stabulation

Valeurs pour le calcul des quantités d'eaux usées déversées dans la fosse

- Provenance des eaux usées par type d'animal
- Quantité en m3/mois (hiver/été) ou par année

Tableau 4. Quantités indicatives d'engrais de ferme produits annuellement par différentes espèces d'animaux de rente dans différents systèmes de stabulation.

	Type d'animal/type de production	Production d'engrais de ferme et utilisation de paille par année [1] selon le système de stabulation [2]					
			Purin/fumier [3, 4]			Fumier seul [4]	
		Lisier seul [3] (m^3)	Paille utilisée (dt/an)	Purin (m^3)	Fumier (t)	Paille utilisée (dt/an)	Fumier (t)
1	Vache laitière, production 7'500 kg/an [5]	23	6,8	11	8,9	30	21
1	Vache allaitante, lourde [6]	19	5,0	9,4	7,6	25	18
1	mi-lourde [6]	17	5,0	8,7	6,7	25	16
1	légère [6]	15	5,0	7,0	5,7	25	13
1	Génisse d'élevage, moins de 1 an	4,8	1,5	2,4	2,0	8,0	4,6
1	Génisse d'élevage, 1 à 2 ans	8,0	2,5	4,0	3,2	12	7,6
1	Génisse d'élevage, plus de 2 ans	12	3,5	5,4	4,4	16	10
1	Place de veau à l'engrais					4,2	3,2
1	Veau de vache allaitante, jusqu'à env. 350 kg	4,1	1,3	2,0	1,6	4,2	3,8

Tableau 5. Valeurs indicatives pour le calcul des quantités d'eaux usées déversées dans la fosse à lisier/purin (OFEV et OFAG 2011).
La quantité d'eau utilisée par unité de gros bétail (UGB) peut varier fortement. Seul un compteur d'eau peut permettre une mesure précise pour l'exploitation.

Provenance des eaux usées	Unité de référence	Quantité en m^3/mois		Quantité en m^3/an
		Eté	Hiver	
Bovins				
Eau pour le nettoyage de l'étable et des soins aux animaux [1]	UGB	1,0	0,2	7,0
Evacuation des déjections par flottation [2]	UGB	0,5	0,5	6,0
Porcins				
Eau pour le nettoyage de la porcherie et des soins aux animaux [3]	PPE [9]	0,04		0,5
Volaille				
Eau pour le nettoyage des poulaillers de poules pondeuses [3]	1'000 PP [10]	0,2		2,5
Eau pour le nettoyage des poulaillers de volaille à l'engrais [3]	1'000 PE [11]	0,4		5,0
Jus d'écoulement de la **fumière**, des **aires d'exercice** imperméabilisées et exposées à la pluie, des **plateformes de silo-couloirs** exposées à la pluie, dont toutes les eaux sont évacuées vers la forsse à lisier/purin, etc.	m^2 et 100 mm de précipitations	0,1		1,2
Plateformes de silo-couloirs exposées à la pluie dont les eaux sont évacuées par une rigole à jus de silo [4]	m^2 et 100 mm de précipitations	0,025		0,3
Eaux de lavage				
Chambre à lait	Postes de traite (PT)	0,5 + 0,05 × PT		6 + 0,6 × PT
Citerne de refroidissement [5]	Volume de la citerne (L)	0,0015 × L		0,018 × L
Installation de traite à pots	Poste de traite (PT)	3 + 0,5 × PT		36 + 6 × PT
Installation de traite directe (salle de traite ou étable à stabulation entravée)	Poste de traite (PT)	4 + 0,5 × PT		48 + 6 × PT
Stalles dans la salle de traite [6]	Stalle (S)	0,5 × S		6 × S
Installation de traite automatique [7]	Unité	25		300
Eaux usées domestiques [8]				
Conditions usuelles (lave-linge, douche/bain et WC)	Habitant	5,0		60
Installations sanitaires simples	Habitant	3,5		42
Cas particuliers avec quantités d'eaux usées régulièrement inférieures à				

Teneur indicative des engrais de ferme

- Type d'engrais de ferme/Type d'animal
- Teneurs en éléments (kg/m3, kg/t)
- Azote disponoble

Tableau 6. Teneurs indicatives en matière sèche (MS), en matière organique (MO) et en éléments nutritifs des engrais de ferme pour différentes espèces d'animaux de rente en stabulation.

Type d'engrais de ferme/Type d'animal	Teneurs (kg/m³ de lisier/purin non dilué et kg/t de fumier)										
	MS	MO	N_{tot} [3]	N_{sol} [3]	N_{disp} [3]	P	P_2O_5	K	K_2O	Mg	Ca
Vache/bovin d'élevage											
Lisier [1]	90	70	3,9	2,1	2,0–2,7	0,74	1,7	6,2	7,5	0,61	1,5
Purin [1]	75	40	4,5	2,9	2,9–3,8	0,47	1,1	9,0	11	0,58	1,0
Fumier au tas [2]	190	150	4,5	0,7	0,9–1,8	1,3	3,0	5,1	6,1	0,93	3,0
Fumier de stabulation libre [2]	210	175	4,9	1,2	1,2–2,5	0,94	2,2	8,4	10	0,82	2,2
Bovin d'engraissement											
Lisier [1]	90	65	4,0	2,1	2,0–2,8	0,55	1,3	3,7	4,5	0,37	1,2
Fumier de stabulation libre [2]	210	155	4,1	1,0	1,0–1,8	0,57	1,3	4,4	5,3	0,42	1,5
Veau											
Fumier de veau [2]	200	150	5,0	1,9	1,3–2,5	1,1	2,5	4,7	5,7	0,89	1,7
Cheval											
Fumier de cheval frais [2]	350	300	4,4	1,2	0,3–0,8	1,1	2,5	8,1	9,8	0,6	2,5
Fumier de cheval mûr [2]	350	240	6,8	0,7	0,7–1,8	2,2	5,0	16,2	19	1,3	5,0
Mouton/chèvre											
Fumier de mouton/chèvre [2]	270	200	8,2	2,4	3,3–4,9	1,6	3,7	14	17	1,3	4,9
Porc											
Lisier de porc, engrais [1, 4]	50	36	6,5	4,6	3,3–4,6	1,4	3,2	3,0	3,6	0,88	2,1
Lisier de porc d'élevage [1, 5]	50	33	4,7	3,3	2,4–3,4	1,2	2,7	2,5	3,0	0,56	1,5
Fumier de porc [2]	270	230	8,8	2,6	3,5–5,3	2,9	6,6	6,0	7,3	1,5	5,0
Volaille											
Crottes de poules/poulettes (tapis à crottes) [2]	350	250	21	6,3	8,4–13	7,4	17	9,3	11	2,4	37
Fumier de poule/poulette (Fosse à crottes, élevage au sol) [2]	500	330	26	7	11–16	13	30	17	20	4,3	67
Fumier de poulet [2, 6]	650	440	32	10	13–19	7,5	17	23	28	5,5	5
Fumier de dinde [2]	600	400	28	7,5	12–18	10	23	10,8	13	6,0	12

Tableau 7. Proportion de N_{disp} à moyen terme et durant l'année de l'épandage dans différents engrais de ferme.

Type d'engrais de ferme	N_{disp} à moyen terme en % de la teneur en N_{tot} [1]	N_{disp} l'année de l'épandage en % de la teneur en N_{tot} [2]	
		Cultures fourragères	Grandes cultures
Lisier (bovin)	50–70	55	45
Purin de bovin	65–85	70	60
Fumier au tas	20–40 [3]	20	15
Fumier de stabulation libre	25–50 [3]	25	20
Fumier de cheval	10–25 [3]	15	10
Fumier de mouton/chèvre	40–60 [3]	40	30
Lisier de porc	50–70	60	50
Fumier de porc	40–60 [3]	[4]	35
Crottes de poules (tapis roulant)	40–60 [3]	[4]	40
Fumier de poule (fosse à crottes, élevage au sol)	40–60 [3]	[4]	35
Fumier de volaille (engraissement), poulet, dinde	40–60 [3]	[4]	35

FiBL

www.fibl.org