

Screening de légumineuses pour couverts végétaux: azote et adventices

Claude-Alain Gebhard¹, Lucie Büchi², Frank Liebisch³, Sokrat Sinaj², Hans Ramseier¹ et Raphaël Charles²

¹Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFL, 3052 Zollikofen, Suisse

²Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Suisse

³Ecole polytechnique fédérale ETHZ, 8092 Zurich, Suisse

Renseignements: Raphaël Charles, e-mail: raphael.charles@agroscope.admin.ch, tél. +41 22 363 46 59



Les légumineuses offrent une complémentarité intéressante dans des mélanges avec d'autres espèces de couverts végétaux dans le but d'offrir une large gamme de services agro-écosystémiques

Introduction

Cette étude évalue le potentiel agronomique de légumineuses comme couverts végétaux semés en pur et en association. Il s'agit en particulier de décrire leur croissance et de quantifier leur capacité à fixer l'azote de l'air en période d'interculture dans les conditions du plateau suisse.

Au cours du 20^e siècle, la présence des légumineuses dans la rotation a constamment diminué, suite à la

découverte du procédé industriel Haber-Bosch permettant de fixer l'azote de l'air et au développement des engrais minéraux. Pourtant, le rôle bénéfique des légumineuses dans le maintien de la fertilité des sols et le développement de systèmes de culture efficaces est connu depuis l'Antiquité. À défaut de cultiver des légumineuses comme cultures régulières de la rotation (Charles *et al.* 2008), les cultures intermédiaires peuvent associer des légumineuses pour en tirer profit, à l'instar des prairies temporaires (Mosimann *et al.* 2012).

En Suisse, la mise en place d'engrais verts en interculture longue est rendue obligatoire par l'Ordonnance fédérale sur les paiements directs, dans le but de réduire les pertes de nitrates, de lutter contre l'érosion et de préserver la fertilité des sols. Cette mesure culturale est efficace et peut être complétée par de nombreux autres services agro-écosystémiques bénéfiques (Justes *et al.* 2012). Pourtant, dans la pratique, les cultures intermédiaires restent parfois décevantes, répondant plutôt aux exigences du cahier des charges qu'à des objectifs agronomiques. Des semis clairs et tardifs sont notamment observés en culture pure de phacélie (*Phacelia tanacetifolia*) ou de moutarde (*Sinapsis arvensis*). Sur le long terme, l'entretien de la matière organique du sol par les engrais verts s'est avéré insatisfaisant dans un essai de longue durée, appelant à une meilleure maîtrise de leur humification, passant par le rapport carbone/azote de leur biomasse (Maltas *et al.* 2012a). Ce même essai a révélé une valeur azotée limitée de la moutarde comme engrais vert, soulignant l'intérêt d'un choix d'espèces mieux fondé et d'un mode de conduite plus pointu (Maltas *et al.* 2012b). Les légumineuses dans l'interculture peuvent améliorer l'efficacité du cycle de l'azote. Les données de base pour la fumure DBF (Sinaj *et al.* 2009) indiquent une réduction de 20 à 30 kg N/ha de la fumure d'une culture suivant un engrais vert à base de légumineuses. En outre, l'efficacité de fixation d'azote varie entre les principales espèces cultivées (Unkovich *et al.* 2008), mais reste mal connue pour la plupart des légumineuses. Il convient donc de mieux quantifier ces variations spécifiques et de les confronter au contexte de l'interculture. Les DBF prévoient aussi la possibilité d'apporter 30 kg N/ha afin d'assurer le bon développement des engrais verts (Sinaj *et al.* 2009). Si cette fumure est justifiée pour quelques situations limitant la disponibilité en azote, elle peut être substituée par des légumineuses pures ou en association, tout aussi favorables à la production de biomasse. En effet, une croissance rapide et une biomasse abondante des cultures intermédiaires sont essentielles pour une bonne couverture du sol et lorsqu'il s'agit de lutter sans herbicide contre les adventices durant l'interculture (Melander *et al.* 2013).

Le renforcement du rôle des légumineuses dans l'interculture pour améliorer l'efficacité du cycle de l'azote et la lutte contre les adventices nécessite une meilleure compréhension du comportement des espèces comme couvert végétal en conditions estivales. Une expérimentation a été mise en place pour mieux connaître leur croissance, leur capacité de fixation symbiotique, leur force de concurrence envers les adventices, ainsi que leur potentiel d'association. ➤

Résumé

Cette étude a évalué 27 légumineuses comme couverts végétaux en pur et en association, dans le but d'en préciser les services agro-écosystémiques. Les résultats montrent des variations de comportement importantes entre les différentes espèces testées. La quantité de biomasse aérienne formée depuis le mois d'août jusqu'au premier gel se situe entre 0,4 et 5,9 t MS/ha. De 377 à 850 degrés-jours sont nécessaires pour atteindre 50 % de couverture du sol. L'azote accumulé par les légumineuses provient principalement de la fixation symbiotique et varie de quelques kilos à 150 kg N/ha en trois mois de végétation. La capacité des légumineuses de concurrencer les adventices est étroitement corrélée avec la quantité de biomasse produite ($R^2 = 0,93$). Elle s'apparente à la faculté d'association des légumineuses testée dans des mélanges avec phacélie et avoine. Cinq espèces (gesse cultivée, féverole, pois, vesce velue et commune) sont particulièrement dominantes et composent plus de 80 % de la biomasse en mélange avec la phacélie et environ 70 % avec l'avoine. Ces mêmes espèces sont celles qui produisent le plus de biomasse, qui couvrent le plus rapidement le sol et fixent le plus d'azote de l'air. De nombreuses autres légumineuses (fenugrec, lentille, lupin blanc, soja, trèfle d'Alexandrie, trèfle de Perse, trèfle incarnat, vesce de Hongrie) sont moins concurrentielles et offrent ainsi une bonne complémentarité pour des associations d'espèces.

Tableau 1 | Caractéristiques physico-chimiques des sols des trois sites d'expérimentation

Dispositif	Argile %	Sable %	pH	MO %	N _{min} kg N/ha
Changins, 2010	41	25	6,9	3,4	52
Changins, 2011	23	34	7,4	2,0	78
Zollikofen, 2011	20	47	7,7	4,0	124

Matériel et méthodes

Dispositif expérimental

La comparaison d'espèces porte sur 27 légumineuses, 2 non-légumineuses et un procédé non semé. Trois expérimentations de plein champ ont été mises en place en 2010 et 2011 sur le domaine expérimental de Changins (Nyon, 420 m) et en 2011 sur le domaine de l'Ecole d'agriculture de la Rütli (Zollikofen, 544 m). A Changins, les sols sont de texture moyenne à lourde et d'un pH neutre à légèrement alcalin. A Zollikofen, le sol est de texture moyenne, de pH alcalin et bien pourvu en matière organique (tabl. 1). En 2010, les précipitations se sont produites surtout en fin de cycle végétatif, conduisant à un déficit hydrique cumulé de 70 l/m² (tabl. 2). En 2011, les précipitations ont été régulières sur les deux sites d'expérimentation.

Les espèces sont étudiées en parcelles expérimentales organisées en blocs randomisés avec trois répétitions. Afin d'évaluer les légumineuses en association, chaque dispositif a été complété par un strip-plot croisant les espèces étudiées avec une bande de phacélie *Phacelia tanacetifolia* (demi-dose, 5 kg/ha) et une bande d'avoine *Avena sativa* (demi-dose, 66 kg/ha). Ces deux espèces servent également de référence non-légumineuse. Le semis des microparcelles (10 m²) a été effectué à l'aide d'un semoir Plotman Wintersteiger au début du mois d'août (tabl. 2), après récolte d'un blé d'automne suivi d'un labour (pailles exportées). Aucune inoculation n'a été pratiquée.

Observations et mesures

Durant la croissance des plantes, le taux de couverture du sol par la végétation a été mesuré à intervalle régulier à compter du semis. Ces valeurs ont servi à modéliser la dynamique de croissance des plantes en ajustant des fonctions de Gompertz (Bodner *et al.* 2010), calculées sur la base des degrés jours écoulés depuis la date de semis (base de 0 °C) (tabl. 2). Ces analyses ont été effectuées avec le package R drc «Analysis of dose-response curves» (Ritz et Streibig 2005).

L'arrivée des premiers gels a déterminé les dates des dernières observations et récoltes (tabl. 2): hauteur des plantes, proportion d'adventices, proportion de chaque légumineuse dans le mélange avec avoine et avec phacélie, rendement des couverts, azote minéral du sous sol nu (0–90 cm).

Sur la base des observations aux champs, 22 espèces performantes ont été retenues pour quantifier la part d'azote dérivé de l'air (Nda) (tabl. 3), selon la méthode de l'abondance naturelle de l'azote ¹⁵N (Unkovich *et al.* 2008). Cette méthode permet de caractériser la capacité de fixation de chaque espèce de légumineuse. Elle repose sur l'abondance naturelle en ¹⁵N plus élevée dans le sol que dans l'air et par extension plus élevée dans la biomasse d'une plante non fixatrice d'azote, puisant son azote dans le sol, que dans une plante fixatrice. Elle met donc en relation les concentrations en ¹⁵N d'une plante référence non fixatrice et d'une légumineuse. Elle distingue deux situations de nutrition azotée pour la légumineuse: le plein champ et la fixation symbiotique exclusive. A cet effet, une expérimentation en conditions contrôlées a été conduite en 2011 à Zollikofen, comprenant les 22 espèces cultivées en pots, sous abri et sur substrat enrichi de bactéries symbiotiques obtenues d'un lessivage de sol des essais de plein champ.

Les analyses de l'isotope ¹⁵N ont été faites au spectromètre de masse par le laboratoire «Isolab» de l'ETHZ. Les mesures ont été faites sur les biomasses aériennes récoltées en fin de cycle en plein champ, ainsi que sur les biomasses de cultures conduites en conditions contrôlées.

Tableau 2 | Dates de semis, récolte et données météorologiques

Dispositif	Semis	Récolte	Somme températures après semis			Précipitations	Potentielle Evapo- transpiration mm
			Degrés-jours (base 0 °C)				
	Date	Date	15 jours	30 jours	60 jours	mm	ETP
Changins, 2010	04.08.	06.11.	291	570	1014	309	379
Changins, 2011	03.08.	10.11.	320	629	1151	354	368
Zollikofen, 2011	10.08.	08.11.	337	598	1030	353	353

Tableau 3 | Principales caractéristiques des légumineuses testées: biomasse aérienne en fin de cycle et hauteur de la végétation, temps nécessaire pour atteindre 50% de couverture du sol (t50), azote total dans la biomasse aérienne (Ntot), azote dérivé de l'air en quantité (Nda) et en part de l'azote total (pNda), couverture par les adventices à la récolte, part de la légumineuse en mélange avec avoine et avec phacélie

	Espèces		Biomasse t MS/ha	Hauteur cm	t50 degrés- jours	Ntot kg/ha	Nda kg/ha	pNda %	Adventices %	Mél. avoine %	Mél. phacélie %
1	<i>Cicer arietinum</i>	Pois chiche	1,1	46	454	19	3	14	40	21	43
2	<i>Glycine max</i>	Soja	2,8	46	599	69	16	23	29	41	52
3	<i>Lathyrus sativus</i>	Gesse cultivée	3,5	40	423	145	126	86	5	67	93
4	<i>Lens culinaris</i>	Lentille comestible	3,2	29	418	102	75	74	13	48	44
5	<i>Lens culinaris</i> cv.canada	Lentille canadienne	2,4	32	440	–	–	–	15	50	47
6	<i>Lotus corniculatus</i>	Lotier corniculé	0,5	10	652	–	–	–	58	8	7
7	<i>Lupinus albus</i>	Lupin blanc	4,1	75	468	65	26	40	8	50	56
8	<i>Lupinus angustifolius</i>	Lupin à folioles étroites	2,3	49	609	–	–	–	23	19	21
9	<i>Medicago lupulina</i>	Luzerne lupuline	1,1	14	587	–	–	–	38	15	17
10	<i>Medicago sativa</i>	Luzerne cultivée	1,8	37	531	57	34	57	14	32	26
11	<i>Melilotus albus</i>	Mélicot blanc	1,4	29	583	44	26	55	24	34	26
12	<i>Onobrychis viciifolia</i>	Espartette	1	27	850	–	–	–	45	13	17
13	<i>Pisum sativum</i> cv.Arvida	Pois fourrager	4,2	71	414	–	–	–	1	94	96
14	<i>Pisum sativum</i> cv.Hardy	Pois protéagineux	5,1	51	442	150	108	72	2	72	83
15	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Trèfle d'Alexandrie	3,2	48	471	76	49	64	11	43	46
16	<i>Trifolium hybridum</i>	Trèfle hybride	1,2	23	552	–	–	–	32	24	24
17	<i>Trifolium incarnatum</i>	Trègle incarnat	3,2	32	457	94	73	76	17	41	45
18	<i>Trifolium pratense</i>	Trèfle violet	1,4	26	525	43	30	71	32	32	34
19	<i>Trifolium repens</i>	Trèfle blanc	1,2	21	751	40	32	78	31	24	28
20	<i>Trifolium resupinatum</i>	Trèfle de Perse	2,7	37	423	81	65	82	16	42	46
21	<i>Trifolium subterraneum</i>	Trèfle souterrain	1,5	21	572	44	25	55	24	23	28
22	<i>Trigonella caerulea</i>	Trigonelle bleue	1,3	34	479	21	0	4	21	19	24
23	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Fenugrec	2,2	41	573	48	15	34	16	33	52
24	<i>Vicia faba</i>	Féverole	5,9	108	541	163	136	84	6	71	86
25	<i>Vicia pannonica</i>	Vesce de Hongrie	2,5	31	485	102	87	86	19	41	43
26	<i>Vicia sativa</i>	Vesce commune	4,4	43	420	171	127	75	3	77	87
27	<i>Vicia villosa</i>	Vesce velue	3,8	36	377	163	143	87	4	73	85
28	<i>Avena sativa</i>	Avoine de printemps	4,1	79	515	49	0	0	4	–	–
29	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Phacélie	4,5	91	479	53	0	0	5	–	–
30	Sol nu	Sol nu	–	–	–	–	–	–	100	–	–
n			29	–	29	22	22	22	30	27	27
p-value			< 0,001	–	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
ppds 5%			0,5	–	55	18	13	18	10	8	9
ppds 1%			0,7	–	73	24	17	25	13	11	11
Changins 2010			2,3	31	588	74	54	60	24	41	51
Changins 2011			2,8	43	510	92	66	65	18	27	33
Zollikofen 2011			2,5	–	465	85	56	56	20	54	55

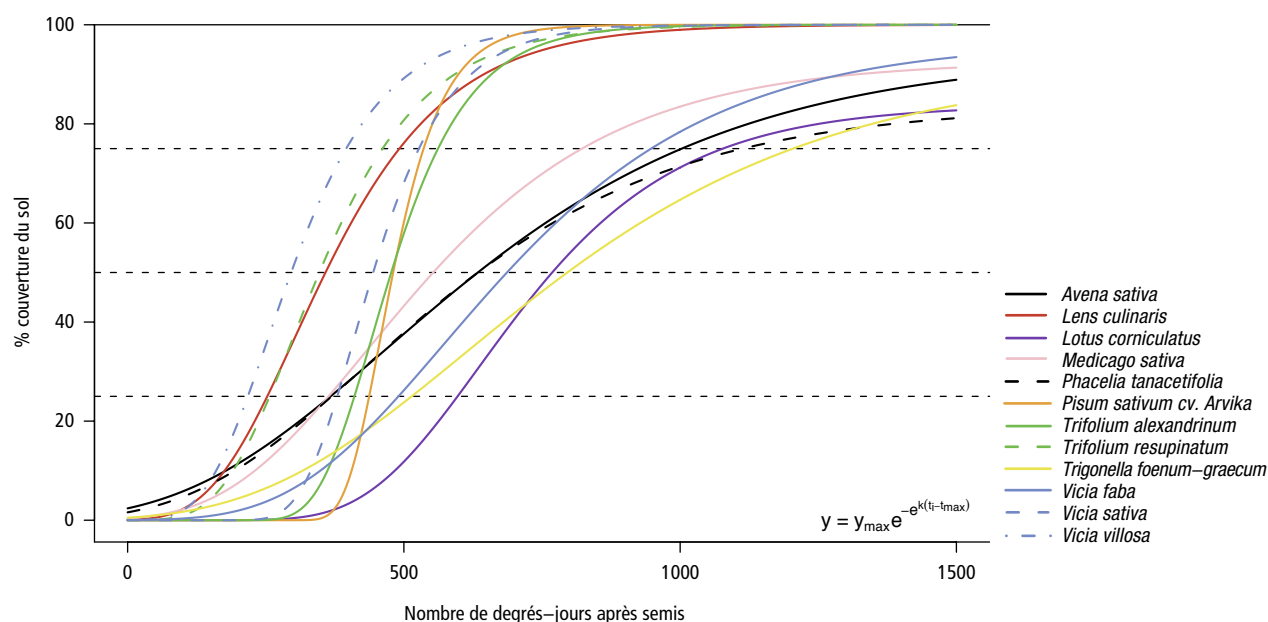


Figure 1 | Dynamique du taux de couverture du sol en fonction du temps depuis le semis, pour une sélection d'espèces en 2010 à Changins.

Analyses de variance

Des analyses de variance multi-sites ont été effectuées pour chaque variable, et les ppds correspondant calculés (Gomez et Gomez 1984). Toutes les analyses numériques ont été effectuées avec le logiciel R 2.14.1 (R Development Core Team 2011)

Résultats

Biomasse aérienne

En trois mois de végétation, le développement de biomasse aérienne varie extrêmement d'une espèce à l'autre, allant de 0,5 t MS/ha à 5,9 t MS/ha (tabl. 3). Dans la plupart des cas, la production de biomasse est restée relativement stable entre les années et les sites. Les espèces pluriannuelles présentent généralement une croissance moins importante que les annuelles. Dix légumineuses atteignent un rendement supérieur à 3,0 t MS/ha (tabl. 3). Certaines d'entre elles se développent plutôt en hauteur (lupin blanc, pois et féverole) et d'autres présentent une végétation plus basse et dense (gesse cultivée, lentille, trèfles de Perse et incarnat, vesces). Le pois fourrager et la gesse cultivée sont sensibles à la verse et leur biomasse affaissée en fin de cycle végétatif est parfois sujette à la pourriture lors de conditions relativement humides (2011). Les espèces faiblement développées ont notamment été carencées en azote en raison de l'absence de bactéries symbiotiques (soja, pois chiche, trigonelle bleue), voire partiellement détruites par des ravageurs (lièvre sur soja).

Dynamique de croissance

Plusieurs espèces présentent une croissance plus rapide que la phacélie et l'avoine (temps nécessaire pour couvrir 50 % du sol): gesse cultivée, lentille, pois fourrager, trèfle de Perse, vesces commune et velue (tabl. 3). Les différences de dynamique de croissance durant la phase d'implantation ont été particulièrement marquées en 2010 à Changins avec des conditions relativement sèches, soulignant davantage encore les espèces les plus rapides pour une implantation estivale: lentille, pois fourrager, trèfle de Perse, vesces, voire trèfle d'Alexandrie (fig. 1).

Absorption et fixation d'azote

L'azote accumulé par les légumineuses (N_{tot}) provient principalement de la fixation symbiotique (N_{da}) (tabl. 3, fig. 2). Elle s'étend de quelques kilos à 150 kg N/ha en trois mois de végétation et varie fortement d'une espèce à l'autre. Le prélèvement d'azote du sol (N_{ds}) résulte à la fois de la quantité d'azote disponible dans la solution du sol et de la capacité d'absorption de la plante. Le N_{ds} atteint un maximum de 50 kg N/ha, notamment pour la vesce commune et le pois. Cette même quantité de N_{ds} est accumulée par la phacélie et l'avoine, pour lesquelles N_{ds} = N_{tot} (fig. 2), mais aussi par le soja dont la N_{da} est restée négligeable en raison de l'absence de symbiose. Par contre, la féverole n'absorbe que 27 kg N/ha du sol, alors qu'elle est très productive (5,9 t MS/ha), pour un N_{tot} de 163 kg N/ha.

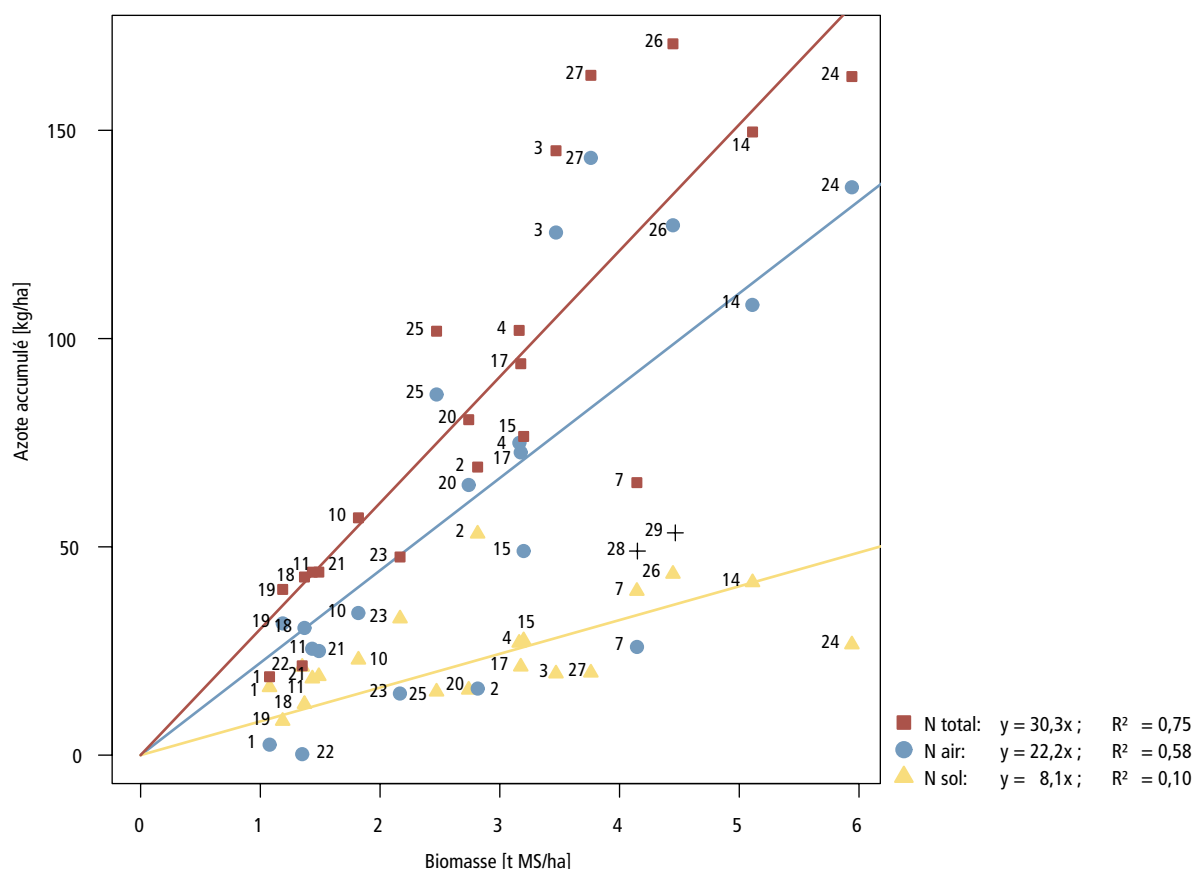


Figure 2 | Azote absorbé en fonction de la biomasse des légumineuses: quantité d'azote total (carré rouge), quantité dérivée de l'air (cercle bleu), et quantité absorbée du sol (triangle jaune). Numéros et espèces selon tableau 3. Valeurs moyennes des trois expérimentations.

Une bonne relation est observée entre le N_{tot} et la quantité de biomasse ($R^2 = 0,75$) (fig. 2). Cette relation repose nettement sur la N_{da} ($R^2 = 0,58$), par rapport à la N_{ds} ($R^2 = 0,10$). Considérant l'ensemble de ces relations, l'accumulation d'azote par unité de biomasse atteint 30 kgN / tMS, dont 22 kg proviennent de l'air et 8 kg du sol (fig. 2).

La féverole et la vesce velue présentent les plus fortes performances azotées, avec pour la féverole un N_{tot} de 163 kg N/ha, pour une part provenant de l'air (pNda) de 85 % (tabl. 3). La vesce commune atteint une performance similaire avec un N_{tot} de 171 kg N/ha et un pNda de 75 %. Plusieurs trèfles montrent une performance symbiotique élevée (pNda 70 %) pour un N_{tot} moyen de 30 à 70 kg N/ha.

Les sites d'expérimentation ont montré des performances analogues avec quelques légères différences. La sécheresse de 2010 à Changins a pénalisé la couverture du sol (fig. 1 et tabl. 3), la biomasse ainsi que l'accumulation d'azote, sans toutefois réduire la pNda. Les légumineuses se sont particulièrement bien exprimées en 2011 à Changins au niveau de l'accumulation d'azote

(tabl. 3). Le N_{da} en tendance légèrement plus bas à Zollikofen (9 kg N/ha) peut être mis en relation avec la fertilité élevée du sol de ce site, avec un N_{min} de 124 kg N/ha (tabl. 1) en fin de végétation sous un sol nu, contre 80 kg N/ha la même année à Changins, et 52 kg N/ha en 2010 à Changins.

Effet sur les adventices

La flore adventice observée en 2010 à Changins est essentiellement composée d'amaranthe (*Amaranthus retroflexus*) et de chénopode (*Chenopodium album*). A cela s'ajoutent des espèces secondaires (renouée persicaire *Polygonum persicaria*, lamier rouge *Lamium purpureum*, capselle *Capsella bursa-pastoris*, laiteron rude *Sonchus asper*) et en 2011 une forte présence de colza (*Brassica napus*) sur les deux essais. La biomasse des adventices correspond à 0,98 t MS/ha dans les parcelles non semées (sol nu, moyenne des 3 essais). La proportion des adventices est inversement liée avec la biomasse des légumineuses ($R^2 = 0,93$) (fig. 3A). Une couverture de plus de 3,5 t MS/ha est nécessaire pour assurer une concurrence élevée face aux adventices (<15%). Le

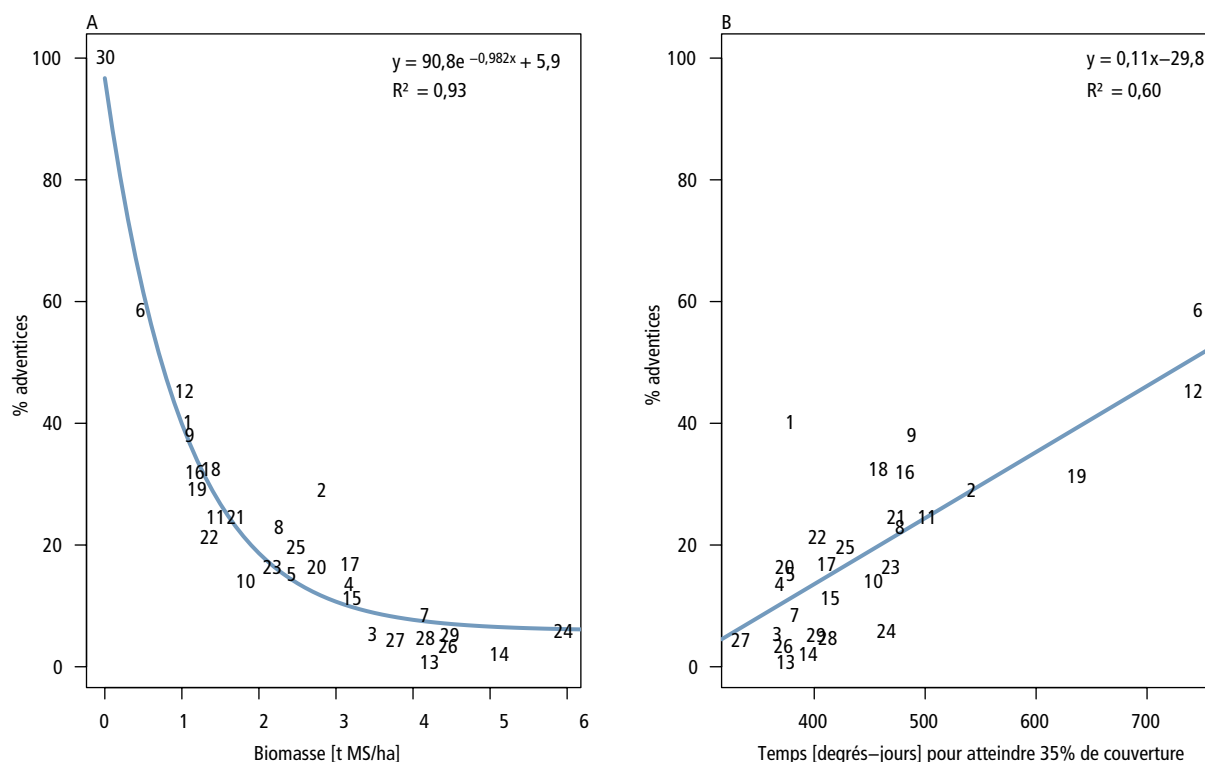


Figure 3 | Part d'adventices dans la biomasse en fonction A. de la biomasse des légumineuses, et B. du temps pour atteindre 35% de couverture par la légumineuse. Numéros et espèces selon tableau 3.

nombre de jours requis pour couvrir 35 % du sol est le meilleur indicateur de la relation entre la dynamique de croissance des légumineuses et la présence des adventices ($R^2 = 0,6$) (fig. 3B).

Performance en mélanges

Les mélanges de légumineuses avec la phacélie et l'avoine discriminent leur capacité d'association (fig. 4A, tabl. 3). Cinq espèces (gesse cultivée, féverole, vesce velue et commune, pois) sont particulièrement dominantes et composent plus de 80 % de la biomasse en mélange avec la phacélie et environ 70 % avec l'avoine. Le pois fourrager est particulièrement concurrentiel, composant plus de 90 % de la biomasse des deux mélanges. Un groupe d'espèces se montre davantage complémentaire, composant 40 à 50 % des mélanges (fenugrec, soja, lupin blanc, trèfle d'Alexandrie, vesce de Hongrie, trèfle de Perse, trèfle incarnat, lentille). L'avoine est un peu plus concurrentielle que la phacélie vis-à-vis des légumineuses (fig. 4A). En 2010, la phacélie a davantage bénéficié de l'association avec une légumineuse

pour accroître sa biomasse que l'avoine (mesuré à Changins, non présenté). La part des légumineuses dans les associations montre une bonne relation avec la capacité de concurrence face aux adventices ($R^2 = 0,89$) (fig. 4B).

Discussion

Les variations de comportement relativement larges au sein des 27 légumineuses étudiées permettent d'envisager de multiples usages de ces espèces comme couverts végétaux. Bien que la fixation symbiotique d'azote représente la principale fonction attendue, la manière de les cultiver en engrais verts pur ou en mélange, ainsi que leur effet sur les adventices, méritent également une attention particulière.

Azote

Au début de leur croissance, la première source de nutrition azotée des légumineuses provient de la solution du sol. Les résultats montrent que certaines légumineuses sont capables d'absorber du sol autant que des plantes non fixatrices, en raison d'une croissance

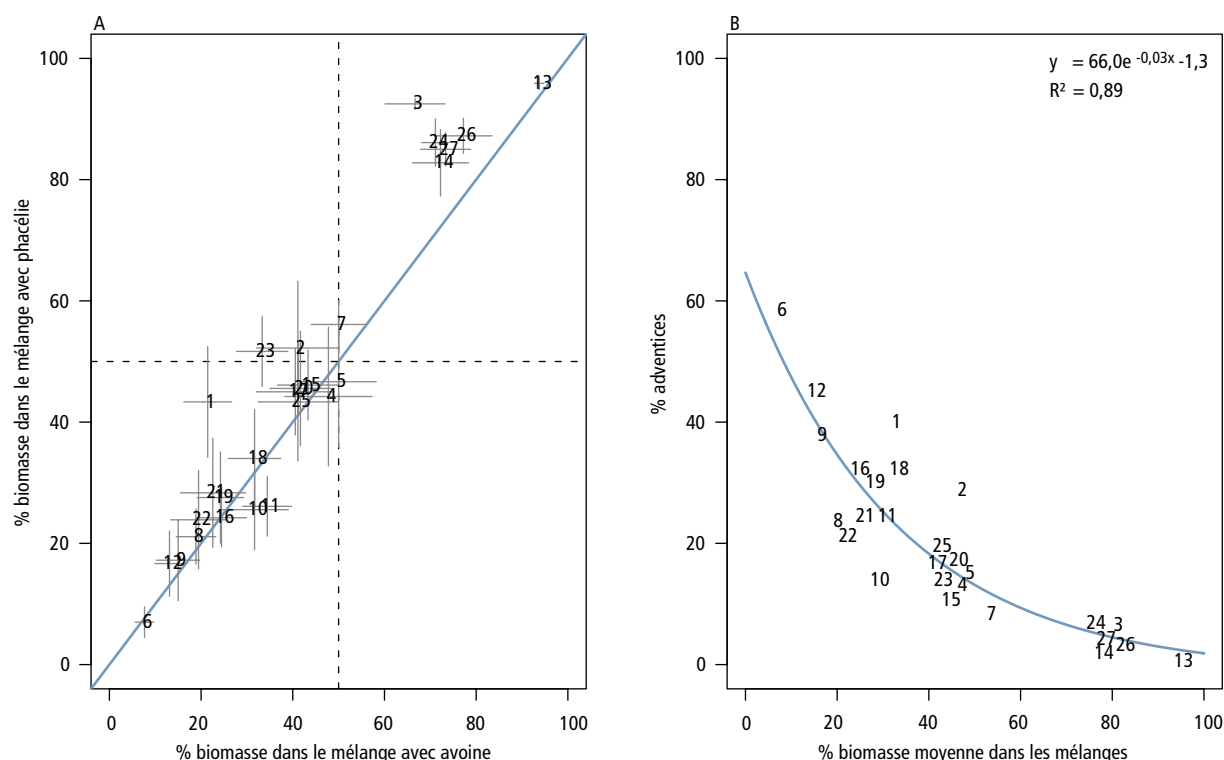


Figure 4 | Capacité d'association des légumineuses. A. Part de la légumineuse en mélange avec avoine et avec phacélie (% de la biomasse +/- erreur standard). B. Part d'adventices dans la légumineuse pure en fonction de la part de la légumineuse dans les mélanges phacélie et avoine. Numéros et espèces selon tableau 3.

élevée (pois, vesce commune) ou, faute de symbiose, d'une nécessité, doublée d'une forte capacité de prélèvement (soja). Par contre, aucune légumineuse n'a prélevé davantage que les 50 kg N/ha accumulés par la phacélie et l'avoine.

La fixation symbiotique a conduit à des accumulations d'azote considérables dans la biomasse aérienne, similaires à ce dont dispose un sol relativement fertile à la fin de la même période ($N_{\min}$ de 120 kg N/ha à Zollikofen). Ces quantités d'azote sont d'autant plus conséquentes que certaines légumineuses productives (féverole) ont une capacité modeste d'absorption d'azote du sol. Ainsi, en l'espace de trois mois, la féverole a fixé une quantité d'azote comparable à ce qui a été montré dans une autre étude où elle était cultivée comme culture principale (six mois de végétation) (Lopez-Bellido *et al.* 2006).

La relative homogénéité de la part d'azote fixée de l'air entre les essais, malgré les contrastes des conditions climatiques (2010 et 2011) et pédologiques (Changins et Zollikofen), souligne l'important déterminisme lié à l'espèce. L'efficacité d'utilisation globale de la ressource azotée dépend d'une part de l'absorption de

l'azote du sol par la légumineuse, et d'autre part de la quantité d'azote fixée de l'air puis effectivement valorisée par les cultures suivant la légumineuse dans la rotation. Actuellement, les DBF comptabilisent un maximum de 30 kg N/ha déductibles de la fumure après une légumineuse hivernante (Sinaj *et al.* 2009), sans considérer les arrières effets de cet élément ou des autres éléments minéraux.

L'objectif attendu du couvert végétal est donc primordial afin de préciser le rôle et le choix de la légumineuse, que ce soit pour le piégeage du nitrate, l'apport d'azote ou de matière organique dans le système. Cette thématique a été traitée de façon approfondie dans une expertise scientifique, incluant une large revue bibliographique (Justes *et al.* 2012). Les légumineuses peuvent effectivement être utiles pour réduire les fuites de nitrate, même si leur efficacité est deux fois plus faible que celle des non légumineuses. De plus, elles ont un effet positif sur la rotation des cultures par rapport à d'autres engrais verts dont l'effet est souvent mal maîtrisé (Maltas *et al.* 2012b). Enfin, le rapport C/N est déterminant dans la minéralisation des résidus d'engrais verts, en particulier pour les légumineuses.

Aptitude à l'association et capacité de concurrence

Les associations d'espèces figurent parmi les solutions innovantes pour optimiser les multiples fonctions des légumineuses comme engrais verts, à l'instar des mélanges herbagers graminées – légumineuses (Mosimann *et al.* 2012). Les tests d'association ont montré différents comportements des légumineuses: comme espèce très concurrentielle prédisposée à dominer un mélange (pois fourrager), espèce partenaire permettant d'atteindre une association équilibrée (trèfle d'Alexandrie), ou espèce subsidiaire peu concurrentielle (espèces bisannuelles). Par ailleurs, dans cette étude, la phacélie est apparue comme un partenaire mieux adapté aux mélanges que l'avoine, suggérant une plus faible capacité de concurrence, une meilleure valorisation de l'azote mis à disposition ou encore un effet mutualiste de l'association.

L'analogie mise en évidence entre l'aptitude à l'association et la capacité de concurrence contre les adventices permet une utilisation croisée des résultats. Ainsi, la biomasse produite donne une information relativement cohérente pour les deux fonctions. La rapidité de couverture du sol ou la hauteur des plantes demeurent

des caractères importants qui rendent compte de la grande variabilité des légumineuses et permettent d'envisager une utilisation ciblée de chaque espèce. Toutefois, l'utilisation des légumineuses contre les adventices reste controversée du fait d'une part d'un effet de concurrence durant la croissance (azote, lumière, eau) et d'autre part d'un effet de l'azote résiduel favorable aux adventices (Charles *et al.* 2012).

Conclusions

Les légumineuses testées ont montré des aptitudes très variables à former de la biomasse, couvrir le sol, concurrencer les adventices, absorber l'azote du sol et fixer celui de l'air. Différents groupes ont pu être distingués: l'un est formé d'espèces très compétitives, un autre comprend des légumineuses destinées à des associations équilibrées d'espèces, un troisième groupe réunit des légumineuses moins adaptées à une fonction de couvert végétal. Les modalités d'utilisation des légumineuses en mélange et des règles d'association doivent encore être établies. ■

Bibliographie

- Bodner G., Himmelbauer M., Loiskandl W. & Kaul H., 2010. Improved evaluation of cover crop species by growth and root factors. *Agronomy for Sustainable Development* **30** (2), 455–464.
- Charles R., Bovet V., Bouttet D., Poivet K., Casta P. & Bengochea A., 2008. Quelles cultures de protéagineux pour la Suisse? *Revue suisse d'Agriculture* **40** (1), 17–23.
- Charles R., Montfort F. & Sarthou J. P., 2012. Effets biotiques des cultures intermédiaires sur les adventices, la microflore et la faune. In: Justes *et al.*, 2012E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. Rapport d'étude, INRA (France).
- Gomez K. A. & Gomez A. A., 1984. Statistical procedures for agricultural research. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I. & Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires: conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services, écosystémiques. Rapport d'étude, INRA (France).
- López-Bellido L., López-Bellido R. J., Redondo R. & Benítez J., 2006. Faba bean nitrogen fixation in a wheat-based rotation under rainfed Mediterranean conditions: effect of tillage system. *Field Crops Research* **98**, 253–260.
- Maltas A., Oberholzer H., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012a. Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomique Suisse* **3**, 148–155.
- Maltas A., Charles R., Bovet V. & Sinaj S., 2012b. Effet à long terme des engrais organiques sur le rendement et la fertilisation azotée des cultures. *Recherche Agronomique Suisse* **3**, 156–163.
- Melander B., Munier-Jolain N., Charles R., Wirth J., Schwarz J., van der Weide R., Bonin L., Jensen P. K. & Kudsk P., 2013. European perspectives on the adoption of nonchemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technology* **27**, 231–240.
- Mosimann E., Frick R., Suter D., Rosenberg E., 2012. Mélanges standards pour la production fourragère. Révision 2013-2016. *Recherche Agronomique Suisse* **3**, 1–12.
- R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Accès: <http://www.R-project.org/>.
- Ritz C. & Streibig J. C., 2005. Bioassay Analysis using R. *Journal of Statistical Software* **12** (5).
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'Agriculture* **41** (1).
- Unkovich M., 2008. Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra ACT.

Riassunto

Screening di leguminose per coperture vegetali: azoto e avventizie

Questo studio ha valutato 27 leguminose come coperture vegetali in purezza e in associazione con lo scopo di precisarne i servizi agro-ecosistemici. I risultati mostrano delle importanti variazioni del comportamento tra le diverse specie testate. La quantità di biomassa aerea formatasi dal mese di agosto fino al primo gelo si situa tra 0,4 e 5,9 t SS/ha. Sono necessari da 377 a 850 gradi giorno per raggiungere il 50 % di copertura del suolo. L'azoto accumulato dalle leguminose proviene principalmente dalla fissazione simbiotica e varia di qualche kilo a 150 kg N/ha in tre mesi di vegetazione. La capacità delle leguminose di contrastare le avventizie è strettamente correlata alla quantità di biomassa prodotta ($R^2=0,93$). Ella risulta simile alla facoltà d'associazione delle leguminose testate nelle miscele composte da facelia e avena. Cinque specie (cicerchia coltivata, fava, piselli, vecchia villosa e coltivata) sono particolarmente dominanti e compongono più dell' 80 % della biomassa miscelata con facelia e ca. il 70 % con avena. Sono queste specie che producono più biomassa, che coprono il suolo più rapidamente e che fissano più azoto proveniente dall'aria. Numerose altre leguminose (fieno greco, lenticchie, lupino bianco, soia, trifoglio alessandrino, trifoglio persiano, trifoglio incarnato, vecchia d'Ungheria) sono meno concorrenziali e offrono di conseguenza una buona complementarietà per delle associazioni di specie.

Summary

Screening of legumes as cover crops: nitrogen and weeds

This study evaluated 27 legumes as cover crops, sowed in pure or mixed stands, with the aim to outline their agrosystemic services. The results show important behavior variations among the different legumes. The amount of aerial biomass built from August until the first frost achieve between 0.4 and 5.9 t DM/ha. From 377 to 850 degrees-days are necessary to reach 50 % of soil cover. The nitrogen accumulated by the legumes is mainly due to symbiotic nitrogen fixation and vary from a few kg to 150 kg N/ha. The ability of legumes to compete with weeds is closely correlated with the amount of biomass produced ($R^2 = 0.93$). It is analogous to the aptitude of association tested on legumes in mixtures with oat and phacelia. Five species (grass pea, faba bean, hairy vetch, common vetch and pea) are found to be very dominant and reach more than 80 % of biomass in mixture with phacelia and about 70 % with oat. These species are also those producing the highest biomass, covering soil most rapidly, and fixing high quantity of nitrogen. Many other legumes (fenugreek, lentil, white lupin, soybean, berseem clover, persian clover, crimson clover, hungarian vetch) show less competitive performance and offer a good complement for species associations.

Key words: legumes, cover crops, biological nitrogen fixation, weed control, intercropping.