

# La fumure azotée du lin oléagineux influence le rendement en graines et la qualité de l'huile

Christine Herzog, Jonas Anderegg, Carolin Luginbühl, Patrick Stettler et Jürg Hiltbrunner

Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Jürg Hiltbrunner, e-mail: juerg.hiltbrunner@agroscope.admin.ch



Bien que le lin soit peu exigeant en azote, il en a quand même besoin pour assurer un rendement: essai avec des variétés de lin oléagineux de printemps sur de petites parcelles à Dietikon.

(Photo: Jürg Hiltbrunner, Agroscope)

## Introduction

Évincé par le colza au milieu du siècle dernier, le lin oléagineux regagne aujourd'hui de l'importance en Suisse depuis 2002. La culture du lin représentait environ 200 ha en 2013 (FAO 2017). La production suisse ne suffit toutefois pas à couvrir les besoins actuels du pays; en 2015, les importations de lin représentaient environ 7000 t (AFD 2017).

La mise en culture de variétés d'automne ainsi que le battage après andainage peuvent être des éléments importants pour réussir la culture du lin oléagineux, au même titre qu'une densité de semis adaptée au site, sachant que celle-ci ne doit pas être inférieure à 500 semences/m<sup>2</sup> (Luginbühl *et al.* 2015). Des essais avec des variétés de lin oléagineux de printemps ont montré que

les conditions du milieu et les techniques de production influençaient davantage le rendement que le choix de la variété.

Le lin est en principe considéré comme une culture peu gourmande en azote (N). Un apport excédentaire en azote affecte la résistance à la verse, ce qui entraîne des conséquences négatives pour la récolte mécanique et le rendement en graines. L'azote est toutefois un élément nutritif qui reste un facteur limitant pour le rendement. Par conséquent, l'apport actuellement recommandé en Suisse est de 80 kg N/ha pour un rendement en graines de 20 dt/ha pour le lin oléagineux et de 60 kg N/ha pour un rendement en graines de 15 dt/ha pour le lin textile (Flich *et al.* 2009).

Les résultats existants dans la littérature sur la disponibilité de l'azote et la fumure azotée optimale sont parfois contradictoires (p. ex. 60 kg/ha chez Bramm et Dambroth 1992, 80 kg/ha chez Diepenbrock et Pörksen 1992, 200 kg/ha chez Berti *et al.* 2009). Suivant le site (p. ex. volume de précipitations, potentiel de minéralisation de l'azote dans le sol), un apport élevé en azote permet d'obtenir de meilleurs rendements sans conséquences négatives sur la résistance à la verse ou sur la récolte (Pageau *et al.* 2006; Berti *et al.* 2009). Toutefois une augmentation de la fumure azotée peut tout aussi bien nuire à la résistance à la verse et n'apporter aucune amélioration des rendements (Pellet et Vuilloud 2004; Pageau *et al.* 2006). Les informations relatives à l'azote disponible dans le sol au moment du semis ou aux quantités demeurant dans le sol après la récolte sont rares. Par conséquent, il est difficile de procéder à une évaluation globale de la fumure azotée.

Dans la plupart des cas, les graines de lin sont utilisées pour la production d'huile. On vante leur mérite pour la santé du fait de leur pourcentage élevé en acides gras oméga 3. C'est pourquoi les essais réalisés n'étudient pas seulement l'effet des différentes quantités d'azote sur le rendement en graines des nouvelles variétés de lin oléagineux de printemps, mais analysent aussi l'influence sur la teneur en huile et sur les acides gras.

## Matériel et méthodes

Dans les années 2009 à 2012, six essais ont été mis en place sur des petites parcelles dans quatre exploitations ayant le label du bourgeon. A noter que l'essai sur le site de Suhr n'a pas pu être récolté en 2011 (tabl. 1). Les essais ont été réalisés en blocs complets aléatoires à deux facteurs avec quatre répétitions. Premier facteur: trois variétés de lin oléagineux de printemps à graines brunes (Princess, GieLinea, Grandvilliers [F]; Baladin et Récital, Laboulet Semences, Airaines [F]); deuxième facteur: fumure azotée en cinq niveaux (0, 30, 60, 90 et 120 kg N/ha). La moitié de l'apport d'azote a été épanchée lors du semis, l'autre moitié trois à quatre semaines après le semis sous forme de Biorga-Quick 12% (Hauert HBG Dünger AG, Grossaffoltern). La distance entre les lignes était de 18 cm et la parcelle avait une superficie d'environ 24 m<sup>2</sup>. La densité de semis était de 500 graines viables et non traitées par m<sup>2</sup>. Le semis a eu lieu la première quinzaine d'avril, à l'exception de l'essai de Zurich, qui a été semé le 23 mars. La récolte a eu lieu début septembre sur tous les sites, à l'exception de l'essai de Zurich. Le contrôle d'adventices s'est fait avec une herse-étrille et ou avec une sarleuse (tabl. 1). Les éléments suivants ont été relevés dans tous les essais: levée au champ, début de la floraison, hauteur des plantes au moment de la floraison, résistance à la verse et teneur en eau des graines au moment de la récolte. La récolte a été effectuée avec une moissonneuse-batteuse pour petites parcelles (Hege 125 C). Après le nettoyage, le rendement en graines a été déterminé ainsi que le poids de mille grains (PMG). Un échantillon coupé avant la récolte avec la moissonneuse-batteuse (sur une surface de 0,5 m<sup>2</sup>) a permis de calculer le rendement en paille. Il a aussi servi à déterminer par des analyses de laboratoire les teneurs en azote, (N), en phosphore (P), en potassium (K) et en magnésium (Mg) des graines et de la paille. De plus, la teneur en huile et le profil des acides gras ont été analysés pour chacune des trois variétés et chaque niveau de fumure. La teneur du sol en azote minéralisé assimilable par les plantes ( $N_{\min}$ ) a été déterminée dans un horizon de 0 à 90 cm avant le semis (échantillon composite prélevé sur l'ensemble de la surface d'essai) et après la récolte (échantillon composite par procédé).

Afin d'estimer le rendement moyen en graines en fonction du niveau de fumure, une analyse de variance a été effectuée dans tous les environnements. L'analyse a pris en compte les effets majeurs de la variété, de l'environnement, de la répétition et du niveau de fumure ainsi que les interactions entre la variété et le niveau

**Résumé** ■ Malgré la subvention pour les oléagineux, le lin est resté une plante oléagineuse de peu d'importance en Suisse. L'apport d'azote (N) dans les cultures de lin est un élément central, car le lin est considéré à la fois comme peu exigeant, mais aussi comme sensible à la verse en cas de fumure azotée excédentaire. Dans le but d'étudier la réaction de nouvelles variétés à différents niveaux d'azote, des essais ont été mis en place sur de petites parcelles avec trois variétés de lin oléagineux de printemps (Baladin, Princess et Récital). Les résultats montrent notamment l'importance des facteurs locaux sur la variation du rendement en graines. A partir du prix des engrais actuel de Biorga et du prix du lin bio payé aux producteurs, il est néanmoins possible de déduire un optimum économique de fertilisation de 36 kg N/ha. Il a été observé que l'intensité de la fumure azotée avait une influence négative sur la teneur en acide  $\alpha$ -linoléique, il est donc recommandé de modérer les apports d'azote pour produire une huile de lin de qualité. Des différences significatives dans le profil des acides gras des trois variétés de lin oléagineux de printemps étudiées montrent toutefois que le choix de la variété est également un élément essentiel pour produire une huile de haute qualité.

de fumure ou entre l'environnement et le niveau de fumure. Comme pour l'établissement des «Données de base pour la fumure des grandes cultures» (Richner et al. 2010), différentes fonctions (Bélangier et al. 2000) ont été testées pour trouver les fonctions de production et l'optimum économique pour la fumure azotée. Les fonctions testées ont ensuite été soumises à une évaluation visuelle et statistique, puis sélectionnées. Le calcul de l'optimum économique de fumure se base sur les prix suivants: CHF 2.–/kg N pour les engrais azotés de synthèse, CHF 8.–/kg N pour les engrais Biorga, CHF 120.–/dt de lin en culture conventionnelle, CHF 290.–/dt de lin en culture biologique (prix payé aux producteurs Coopérative Biofarm, Kleindietwil).

L'analyse de variance et les graphiques ont été faits en R (R Core Team 2016). Les moyennes des procédés ainsi que les différences entre les procédés ont été déterminées avec le test de Tukey (fonction HSD, test du package agricolae de R) pour les effets significatifs.

**Tableau 1** | Informations sur les sites et techniques culturales ainsi que rendement moyen en graines (dt/ha avec 10% H<sub>2</sub>O) des essais sur l'augmentation d'azote dans le lin oléagineux de printemps de 2009 à 2012.

Année	Site				Sol				Précédent culturel	Semis	Apports d'engrais		Contrôle des adventices <sup>2</sup>	Ré-colte	Rendement moyen en graines [dt/ha]
	Lieu	Alti-tude [m]	Précipi-tations cumulées <sup>1</sup> [mm]	Somme de températures (Base: 0°C) <sup>1</sup> [°C]	Type de sol	pH	Hu-mus [%]	N <sub>min</sub> lors du semis [kgN/ha]			Prem-ier apport	Deux-ième apport			
2009	Urdorf	450	463	2366	Limon (26% d'argile/35% de silt)	7,7	2,5	110	Blé (culture intermédiaire luzerne/trèfle)	15.04	15.04	07.05	1 × H et S (20.5)	01.09	24,0
2009	Dietikon	380	468	2349	Limon (24% d'argile/35% de silt)	6,5	2,0	62	Prairie temporaire	09.04	09.04	07.05	1 × H (7.5.), 2 × S (7.5; 20.5)	08.09	26,2
2010	Suhr	397	594	2323	Limon (28% d'argile/38% de silt)	7,2	3,2	75	Légume	09.04	01.04	18.05	1 × H et S (25.5)	02.09	17,8
2010	Dietikon	380	588	2234	Limon (24% d'argile/35% de silt)	6,5	2,0	59	Blé (culture intermédiaire phacélie/trèfle)	08.04	08.04	18.05	1 × H et S (25.5)	03.09	16,4
2012	Zurich	440	479	2065	–	–	–	15	Blé, prairie temporaire	23.03	23.03	30.04	3 × H et S (16.3; 23.3; 27.5)	08.08	15,9

<sup>1</sup> pendant la période de végétation. <sup>2</sup> S = sarcler, H = herser.

## Résultats et discussion

Aucune des années d'essai n'a été marquée par une période de sécheresse prolongée lors de la phase de remplissage des grains. Les réductions de rendements qui seraient dues au climat sont donc improbables. Par contre, la pression des adventices était relativement élevée sur le site de Dietikon (2009) et sur celui de Zurich (2012). Deux à trois interventions mécaniques ont permis d'éliminer les mauvaises herbes. Lors des semis, la teneur en N<sub>min</sub> était très variable sur les parcelles d'essai et oscillait entre 15 kg/ha (Zurich) et 110 kg/ha (Urdorf).

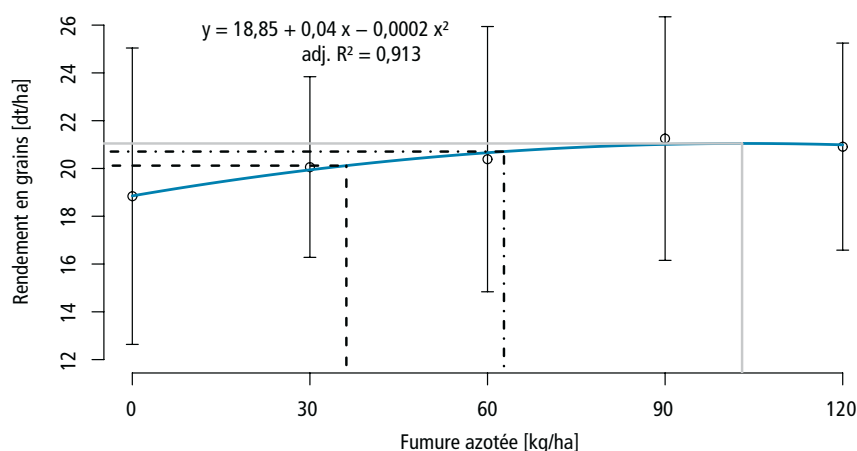
### Rentabilité de la fumure azotée

Les niveaux moyens de rendements étaient très différents et variaient entre 15,9 dt/ha (Zurich) et 26,2 dt/ha (Dietikon, 2010), ce qui correspond en moyenne au rendement de référence du lin des DBF-GCH 2009 (Fisch et al. 2009). Comme chez Pageau et al. (2006), ces essais ont également permis d'observer, suivant l'année et le site, une relation linéaire, quadratique entre le rendement en graines et la fumure azotée ou aucune relation. Toutefois, aucune interaction significative entre variété et fertilisation n'a été constatée sur aucun des sites. C'est pourquoi les variétés ont ensuite été étudiées ensemble pour le reste des analyses. Bien qu'il faille interpréter avec prudence les résultats pondérés des essais en raison des effets d'interaction observés entre le niveau de fu-

mure et l'environnement, c'est la fonction quadratique qui a permis la meilleure approximation dans l'analyse globale. Le rendement maximum de 21 dt/ha (fig. 1) a été obtenu avec une fumure azotée de 103 kg/ha. Avec un engrais bon marché (CHF 2.–/kg N) et un prix payé aux producteurs de CHF 120.–/dt, l'optimum économique de fumure est de 63 kg N/ha et de 36 kg N/ha avec des prix comme ceux pratiqués dans l'agriculture biologique (prix de l'engrais Biorga: CHF 8.–/kg N, prix payé aux producteurs bio Coopérative Biofarm: CHF 290.–/dt).

### Teneur des graines et de la paille en éléments nutritifs

La teneur des graines en éléments nutritifs est d'environ 32 g/kg de matière sèche (MS) pour N, de près de 6 g pour P, de 7 g pour K et enfin de 3 g pour Mg (tabl. 2). Les teneurs en N, P et Mg de la paille sont environ trois fois plus basses que celles des graines. Une valeur de K légèrement plus élevée (environ 8 g/kg de MS) a été relevée dans la paille par rapport aux graines. La teneur des graines et de la paille de lin en azote est donc du même ordre que celle du tournesol, tandis que leur teneur en P, K et Mg est similaire à celle du colza de printemps. Les teneurs en N mesurées dans les graines et les teneurs en K mesurées dans la paille durant ces essais sont plus basses que les valeurs mentionnées dans les DBF-GCH 2009 pour le lin (Fisch et al. 2009). Au contraire, des teneurs plus élevées en Mg ont été mesurées dans les graines durant ces essais. Dans l'ensemble, les teneurs relevées durant



**Figure 1** | Rendement en grains du lin oléagineux en fonction de la fumure azotée. Ligne grise: rendement maximum, ligne en pointillés: optimum économique de fumure azotée avec des prix bas (engrais azotés de synthèse: CHF 2.–/kg N, prix payé aux producteurs: CHF 120.–/dt), ligne hachurée: optimum économique de fumure azotée avec des prix élevés (engrais Biorga: CHF 8.–/kg N, prix payé aux producteurs bio: CHF 290.–/dt). Les barres d'erreurs correspondent aux erreurs-types (n = 60).

ces essais sont semblables à celles d'autres essais (Racz *et al.* 1965; Hocking et Pinkerton 1993).

### Influence de la variété et du site

Parmi les trois variétés de lin oléagineux de printemps étudiées, Princess s'est distinguée par un début de floraison un peu plus précoce que les deux autres variétés (–1,5 jours, tabl. 3). D'une taille de 67 cm, Princess mesurait environ 10 cm de moins que les deux autres variétés, à noter que Récital était à peine plus haute que Bala-din. Sur les deux sites où le niveau de rendement était plus élevé, on a constaté clairement que la tendance à la verse augmentait avec le niveau de fumure azotée, notamment avec la variété Récital, mais également avec la variété Princess, de manière un peu moins marquée

toutefois. En moyenne, il résulte une relation linéaire négative significative entre la résistance à la verse au moment de la récolte et l'augmentation du niveau de fumure ( $r = -0,2$ ,  $p < 0,001$ ). L'indice de récolte (IR) a très peu varié entre les différents niveaux de fumure azotée, mais des différences ont pu être constatées entre les variétés: Princess affichait une proportion nettement plus élevée de graines (0,38) dans la biomasse aérienne que les deux autres variétés (0,31 chacune).

L'azote résiduel dans le sol après la récolte n'était pas systématiquement supérieur avec un apport élevé de N, comparé à des apports plus réduits; les différences entre les sites étaient nettement plus marquées (25 et 30 kg N/ha à Dietikon en 2009 et 2010, 30 kg N/ha à Zurich, 45 kg N/ha à Urdorf et 55 kg N/ha à Suhr). Bien qu'il

**Tableau 2** | Teneurs (g/kg de matière fraîche) en azote (N), phosphore (P), potassium (K) et magnésium (Mg) des graines et de la paille de tournesol et de colza de printemps (Flisch *et al.* 2009) par rapport au lin oléagineux de printemps. Moyenne (minimum et maximum).

Culture	Produit	MS (%)	N (min.; max.)	P (min.; max.)	K (min.; max.)	Mg (min.; max.)
Lin oléagineux de printemps nouveau <sup>1</sup>	Graines	90	31,6 (26,6; 38,4)	6,1 (5,0; 6,7)	7,2 (5,4; 8,7)	3,0 (2,3; 3,6)
	Paille	85	9,0 (5,3; 17,4)	1,9 (1,1; 3,4)	8,5 (1,9; 15,9)	1,1 (0,6; 1,9)
Lin oléagineux de printemps ancien	Graines	90	54,5 (45,0; 64,0)	5,2 (3,9; 6,5)	7,9 (5,8; 10,0)	0,5 (0,3; 0,7)
	Paille	85	6,0 (4,0; 8,0)	2,2 (1,7; 2,6)	14,9 (10,8; 19,1)	0,9 (0,5; 1,2)
Tournesol	Graines	85	31,5 (28,0; 35,0)	4,8 (3,9; 5,7)	7,0 (5,8; 8,3)	3,0 (2,3; 3,7)
	Paille	60	9,0 (8,0; 10,0)	1,2 (0,9; 1,3)	51,0 (45,7; 56,4)	7,5 (6,5; 8,5)
Colza de printemps	Graines	90	26,1 (26,0; 34,0)	6,4 (5,7; 8,3)	7,1 (6,6; 9,1)	2,6 (2,0; 3,2)
	Paille	85	7,0 (5,0; 10,0)	0,9 (0,9; 1,7)	10,3 (10,0; 14,9)	1,5 (1,0; 2,0)

<sup>1</sup> nouveau = valeurs des essais actuels, ancien = valeurs tirées des DBF-GCH 2009 (Flisch *et al.* 2009).

**Tableau 3** | Début de la floraison (jours après le semis), hauteur des plantes (cm), résistance à la verse (note), teneur en eau au moment de la récolte (%), rendement en graines (dt/ha avec 10% H<sub>2</sub>O), rendement en paille (dt/ha), indice de récolte et poids de mille grains (PMG, g) des trois variétés de lin oléagineux Baladin, Princess et Récital pour différents apports d'azote (0, 30, 60, 90, 120 kg/ha) sur les sites de Urdorf (2009), Dietikon (2010) et Zurich (2012). Sont également représentés N<sub>min</sub> après la récolte (à une profondeur de 0–90 cm) ainsi que le solde de N au moment de la récolte (kg/ha).

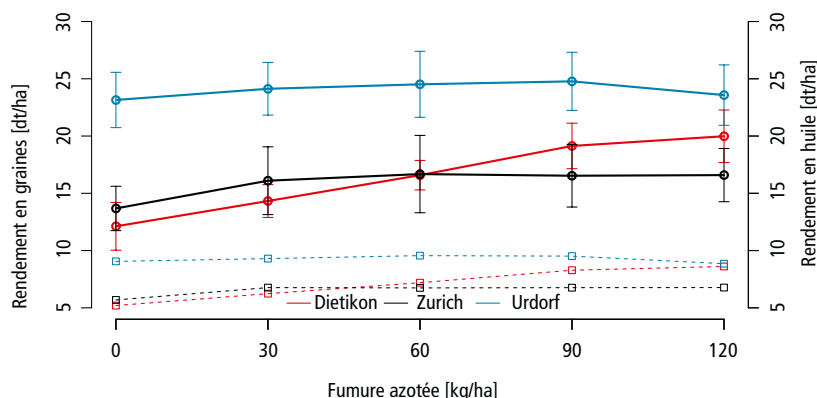
An- née	Lieu	Vari- été	Niveau de N	Début de la	Hauteur	Résistance à la	Teneur des graines en eau	Rendement	Rendement	Indice de	PMG	N <sub>min</sub> après	Solde	
				floraison										des plantes
				[Jours après le semis]	[cm]	[Note]	[%]	[dt/ha mit 10% H <sub>2</sub> O]	[dt/ha]		[g]	[kg/ha]	[kg/ha]	
2009	Urdorf	Baladin	0	54,3	71,5	1,5	11,5	23,4	65,0	0,27	8,9	50,10	-82,96	
			30	54,8	73,8	1,5	12,0	23,6	72,5	0,25	8,9	40,30	-55,53	
			60	54,3	69,8	1,0	14,0	26,5	62,0	0,30	9,0	30,90	-3,24	
			90	54,5	71,5	2,5	13,8	24,4	68,5	0,27	9,0	44,90	3,33	
			120	54,5	73,8	3,0	13,0	24,1	73,0	0,25	9,1	53,00	12,17	
		Princess	0	52,0	59,8	1,0	13,2	22,4	46,5	0,33	7,7	61,00	-65,44	
			30	52,0	59,3	2,0	14,5	23,7	52,0	0,31	7,7	53,50	-43,39	
			60	52,0	58,0	2,5	11,5	24,4	52,5	0,32	7,5	43,20	-1,68	
			90	52,3	58,8	2,0	13,8	24,1	61,5	0,28	7,6	58,00	-8,79	
			120	52,5	60,8	3,5	12,9	23,1	52,5	0,31	7,7	39,30	49,65	
		Récital	0	53,3	73,3	2,5	11,2	23,7	63,0	0,28	7,7	61,00	-65,44	
			30	53,8	72,8	3,0	12,1	25,1	80,0	0,24	7,8	53,50	-43,39	
	60		53,8	73,0	5,0	13,8	22,6	67,0	0,25	7,9	43,20	-1,68		
	90		53,8	74,8	4,5	12,6	25,8	68,5	0,29	7,9	58,00	-8,79		
				120	54,0	77,8	6,0	16,8	23,6	64,0	0,27	7,7	39,30	49,65
				CV (%) <sup>3</sup>	1,2	4,9	53,2	19,1	11,2	19,2	14,8			
				PPDS 5%	0,9	4,8	2,1	3,6	3,8	17,3	0,06			
2010	Dietikon	Baladin	0	64,0	64,0	1,0	11,6	10,9	24,5	0,31	8,6	24,40	-23,20	
			30	63,0	72,3	1,0	11,9	14,0	26,5	0,35	8,6	36,80	-14,41	
			60	63,3	72,0	1,0	10,9	16,1	30,4	0,35	8,5	27,70	18,47	
			90	62,8	75,8	1,0	11,6	17,6	35,8	0,33	8,6	39,30	26,17	
			120	62,5	73,5	1,5	12,7	19,5	36,9	0,35	8,5	39,10	47,69	
		Princess	0	62,5	55,8	1,0	11,0	12,5	17,0	0,42	7,8	27,70	-21,91	
			30	62,3	61,8	1,0	10,9	14,1	21,8	0,39	7,7	22,10	6,02	
			60	62,0	62,3	1,0	12,1	16,1	20,1	0,44	7,7	33,00	21,09	
			90	62,0	65,0	1,0	11,4	19,2	22,7	0,46	7,6	33,00	38,46	
			120	61,0	65,3	2,0	13,0	20,2	28,8	0,42	7,2	47,80	48,88	
		Récital	0	63,3	50,8	1,0	12,5	13,0	24,7	0,35	7,5	34,30	-33,06	
			30	62,5	68,3	1,0	11,5	14,9	25,0	0,37	7,4	26,50	-0,90	
	60		62,5	70,0	1,0	13,2	17,6	29,3	0,39	7,5	30,70	17,20		
	90		62,0	74,8	1,5	12,3	20,6	33,6	0,39	7,4	31,90	30,88		
				120	62,5	75,0	1,0	12,3	20,3	29,6	0,41	7,4	32,70	68,40
				CV (%) <sup>3</sup>	1,4	13,8	56,0	9,6	10,7	17,7	10,0			
				PPDS 5%	1,3	13,5	0,9	1,6	2,5	6,8	0,05			
2012	Zurich	Baladin	0	70,5	82,7	1,0	14,1	11,9	23,8	0,34	8,6	22,90	-83,59	
			30	70,5	89,0	1,0	13,4	14,5	24,6	0,37	8,4	45,50	-88,17	
			60	70,3	89,3	1,0	13,1	14,9	31,3	0,32	8,5	26,40	-46,23	
			90	70,0	89,7	1,3	11,8	15,5	29,0	0,35	8,3	39,50	-31,13	
			120	69,5	87,7	1,7	12,1	15,7	32,6	0,33	8,2	35,60	-5,61	
		Princess	0	68,5	76,0	1,3	13,7	15,7	25,1	0,39	7,6	43,00	-113,61	
			30	68,5	79,3	1,0	10,3	19,9	28,0	0,42	7,6	29,10	-91,95	
			60	68,0	80,0	1,3	11,5	20,0	26,2	0,43	7,4	24,60	-56,42	
			90	68,0	80,0	2,0	9,9	18,4	28,5	0,39	7,5	37,70	-38,76	
			120	68,3	81,0	3,0	11,1	19,6	28,7	0,41	7,5	35,10	-9,13	
		Récital	0	70,5	87,0	1,3	12,6	13,4	32,6	0,29	7,1	37,60	-108,76	
			30	71,0	89,0	1,0	15,2	14,0	34,4	0,29	7,4	23,60	-74,07	
	60		70,8	91,7	1,0	13,0	15,2	37,8	0,29	7,3	39,80	-65,09		
	90		70,3	93,3	2,7	12,9	15,7	35,2	0,31	7,1	38,40	-34,38		
				120	71,0	91,0	3,0	12,2	14,5	34,0	0,30	7,0	42,90	-6,84
				CV (%) <sup>3</sup>	1,6	2,7	55,4	20,5	8,6	14,6	10,7			
				PPDS 5%	1,9	3,9	1,5	4,3	2,3	7,4	0,06			

<sup>1</sup> Note 1 = pas de verse; note 9 = 100% de verse.

<sup>2</sup> Différence entre la somme (N<sub>min</sub> (moment du semis), fumure) et la somme (N dans le lin, N<sub>min</sub> récolte).

<sup>3</sup> CV (%) = coefficient de variation; PPDS 5% = plus petite différence significative pour une probabilité d'erreur de 5%.





**Figure 2** | Rendement moyen en graines (dt/ha avec 10% de H<sub>2</sub>O, ligne pleine) et rendement en huile (dt/ha, ligne hachurée) des variétés de lin oléagineux Baladin, Princess et Récital pour différentes fumures azotées (0, 30, 60, 90, 120 kg N/ha) sur les sites de Dietikon (2010, rouge), Urdorf (2009, bleu) et Zurich (2012, noir). Les barres d'erreurs correspondent aux écarts-types (n = 12).

existe un certain rapport entre l'azote présent dans le sol au début de la végétation et le niveau de rendement, il n'a pas été possible d'identifier un lien clair entre le premier et l'effet de la fumure azotée sur le rendement en graines. D'autres facteurs comme la pression des adventices (site de Zurich) ou l'azote minéralisé lors de la régulation mécanique des adventices ont probablement masqué l'effet des engrais (fig. 2). Si l'azote disponible dans le sol au début de la végétation et l'azote apporté dans les engrais sont comparés à l'azote relevé dans le sol après la récolte et à l'azote fixé dans la biomasse aérienne, il apparaît clairement que des pertes ne se sont produites dans la plupart des cas qu'à partir d'apports de 90 kg d'engrais azotés par ha (tabl. 3).

Le poids de mille grains a été essentiellement influencé par la variété (p. ex. Baladin a formé les plus grosses graines). Une baisse du poids des graines a toutefois été constatée dans deux essais (Zurich, Dietikon 2010) avec l'augmentation de l'intensité de fumure, comme Pageau *et al.* (2006) l'avaient également observé.

#### Fumure azotée et propriétés agronomiques

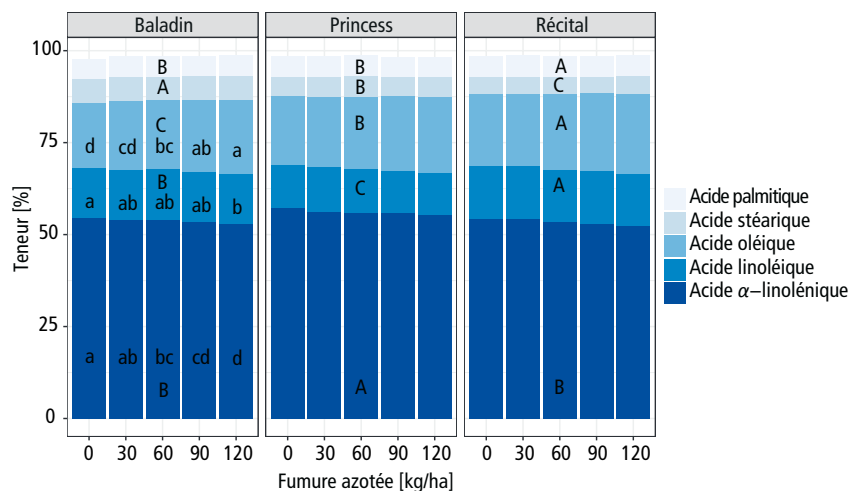
Les essais ont montré, à l'instar des résultats de Dordas (2010), qu'un apport élevé d'azote avait tendance à réduire le nombre de jours entre le semis et la floraison, Récital faisant exception à la règle. Comme Pageau *et al.* (2006), on a observé dans les présents essais que la résistance à la verse diminuait avec l'augmentation de la fumure, sachant que le site et la variété jouaient également un rôle important (tabl. 3). Le rendement en paille établi à partir de l'échantillon de tiges coupées n'a pas été influencé uniquement par le site, mais aussi par la variété et variait entre 25 et 80 dt/ha (tabl. 3). Tandis que

le rendement en paille a augmenté avec les apports de fumure sur le site de Dietikon (2010), aucune influence de la fumure sur le rendement en paille n'a été constatée sur les sites d'Urdorf et de Zurich.

#### Influence sur le rendement en huile et le profil des acides gras

La teneur en huile n'a pas été influencée par l'intensité de fumure (fig. 2); elle variait toutefois entre 40 et 48% suivant le site et l'année et était donc comparable aux teneurs de lin oléagineux d'automne (Luginbühl *et al.* 2015). L'augmentation de la fumure azotée dans d'autres essais n'a pas non plus eu d'effet sur la teneur en huile, (Diebenbrock et Pörksen 1992; Pageau *et al.* 2006; Dordas 2010). Berti *et al.* (2009) ont en revanche observé une baisse linéaire significative de la teneur en huile avec l'augmentation de la fumure azotée jusqu'à 300 kg N/ha. Des rendements en huile compris entre 5 et 9 dt/ha ont pu être obtenus et une augmentation des rendements a pu être constatée avec l'augmentation de la fumure azotée. Les résultats obtenus par Diepenbrock et Pörksen (1992) et Berti *et al.* (2009) coïncident sur ce point.

Alors que la fumure azotée ne semble pas avoir d'effet sur la teneur en huile, il a été observé une influence sur la qualité de l'huile. Avec l'augmentation de la fumure, le pourcentage de l'acide oléique s'est accru au détriment de l'acide linoléique et de l'acide  $\alpha$ -linoléique (fig. 3). Indépendamment de ces résultats, les essais ont permis d'identifier une influence de la variété sur le profil des acides gras: la variété Récital a en moyenne ( $\pm$  erreur-type; n = 3) une teneur légèrement plus élevée en acide palmitique (5,6  $\pm$  0,26%) que les variétés Baladin (5,4  $\pm$  0,26%) et Princess (5,5  $\pm$  0,29%). C'est la variété



**Figure 3** | Teneur d'acide palmitique (C16:0), d'acide stéarique (C18:0), d'acide oléique (C18:1), d'acide linoléique (C18:2) et d'acide  $\alpha$ -linoléique (C18:3) dans l'huile des trois variétés de lin oléagineux Baladin, Princess et Réctal pour différents apports d'azote (0, 30, 60, 90, 120 kg N/ha) sur les sites de Dietikon (2010), Urdorf (2009) et Zurich (2012). Des lettres distinctes désignent des différences significatives entre les niveaux de fumure (minuscules) ou entre les variétés (majuscules,  $P < 0,05$ , Tukey HSD) pour les moyennes des variétés ou des niveaux de fumure.

Baladin qui affiche la teneur la plus élevée en acide stéarique ( $6,5 \pm 0,74\%$ ), suivie des variétés Princess ( $5,4 \pm 0,57\%$ ) et Réctal ( $4,6 \pm 0,60\%$ ). Il existe également de légères différences entre les variétés en ce qui concerne la teneur en acide oléique: c'est la variété Réctal qui présente la teneur la plus élevée ( $20,5 \pm 1,51\%$ ), suivie des variétés Princess ( $19,6 \pm 1,43\%$ ) et Baladin ( $19,0 \pm 1,31\%$ ). Des différences ont aussi été constatées entre les variétés pour la teneur en acide linoléique: Réctal affichait la teneur la plus élevée ( $14,4 \pm 0,47\%$ ) et Princess la teneur la plus basse ( $11,8 \pm 0,57\%$ ). Au contraire, ce sont les graines de la variété Princess qui présentaient la teneur la plus élevée des trois variétés en acide  $\alpha$ -linoléique ( $56,1 \pm 2,24\%$ ), suivie de Baladin ( $53,8 \pm 2,61\%$ ) et de Réctal ( $53,5 \pm 2,00\%$ ). Princess est donc la seule variété à avoir obtenu des teneurs semblables à celles des variétés de lin oléagineux d'automne (Luginbühl *et al.* 2015). De telles variations du profil des acides gras n'ont été constatées dans aucune autre étude – sans doute parce qu'un autre spectre de variétés a été utilisé et que les différences dans le profil des acides gras n'ont pas pu être saisies suivant les années, les conditions de croissance et les niveaux de fumure choisis (Berti *et al.* 2009; Wondolowska-Grabowska 2014).

## Conclusions

L'apport d'azote est un élément central dans la culture du lin. Bien que cette culture soit considérée comme peu

gourmande en azote, il est possible, dans certaines circonstances, de procéder sans inconvénient à des apports de 120 kg N/ha (précédent cultural, propriétés du sol, faible teneur en  $N_{\min}$  au début de la végétation). Dans les essais, il a toutefois été constaté en moyenne un risque de pertes à partir d'apports d'azote  $> 90$  kg N/ha. Bien que le rendement maximum dérivé de la fonction d'optimum nécessite une quantité de fumure de 103 kg N/ha, l'apport optimal économique d'azote ( $N_{\text{opt}}$ ), avec les prix actuels payés aux producteurs pour le lin oléagineux et le prix des engrais est de 36 kg N/ha (Bio) et de 63 kg N/ha pour des prix plus bas. Etant donné le rapport négatif entre l'intensité de la fumure azotée et la teneur en acide  $\alpha$ -linoléique, il est également conseillé de procéder à une fumure modérée dans l'optique de la stratégie qualité avec  $N_{\text{opt}}$ . Cependant, pour produire une huile de qualité, le choix de la variété est tout aussi important que l'apport d'azote. Comme la teneur en huile n'est pas influencée par la fumure azotée, l'agriculteur est tenu, pour obtenir un bon rendement en huile, de fournir aux plantes de lin des conditions de croissance favorables pour le meilleur rendement en graines possible. ■

### Remerciements

Nous remercions la fondation Hauser (Weggis) et Bio Suisse pour leur soutien financier ainsi que les agriculteurs des sites d'essais (familles Götsch, Weidmann, Baumann et Spahn) pour leur collaboration. Les semences ont été mises gracieusement à disposition par les sélectionneurs. Nous tenons également à remercier chaleureusement les entreprises Laboulet semences et Oleficio Sabo qui ont déterminé les teneurs en huile et le profil des acides gras ainsi que le laboratoire d'Agroscope sur le site de Reckenholz qui a déterminé les teneurs de la paille et des graines ainsi que les teneurs des échantillons de sol en azote.

**Riassunto****La concimazione azotata del lino da olio ne influenza la resa in semi e la qualità dell'olio**

Nonostante i contributi per la produzione di oleaginosi, il lino riveste poca importanza in Svizzera. La concimazione con azoto (N) è un elemento centrale nella coltivazione del lino essendo questa pianta poco esigente ma nel contempo sensibile all'allettamento in caso di concimazione azotata eccessiva. Allo scopo di analizzare la reazione delle nuove varietà a diversi livelli di azoto, sono state eseguite prove su piccoli appezzamenti con le tre varietà di lino da olio primaverile Baladin, Princess e Récital. I risultati illustrano soprattutto l'importanza dei fattori locali sulla variabilità della resa in semi. Considerando gli attuali prezzi dei concimi Biorga ed il prezzo del lino bio pagato ai produttori, è possibile dedurre che, dal punto di vista economico, la concimazione ottimale è di 36 kg N/ha. Siccome inoltre è stata osservata una relazione inversa tra l'intensità di concimazione azotata e il tenore di acido  $\alpha$ -linolenico, per la produzione di olio di lino di qualità elevata si raccomanda una concimazione azotata moderata. Le differenze importanti nei profili degli acidi grassi tra le tre varietà di lino da olio primaverile studiate mostrano però che per la produzione di un olio di elevata qualità è importante anche la scelta della varietà.

**Summary****Nitrogen fertilisation of linseed influences seed yield and oil quality**

Despite the oilseed production payment, linseed has remained a relatively unimportant oil plant in Switzerland. Nitrogen (N) fertilisation is a core component of linseed cultivation, since linseed is considered to be a fairly undemanding crop, yet one that is susceptible to lodging when over-fertilised with N. With the aim of studying the reaction of recently released varieties to different nitrogen levels, small-plot trials were conducted with the three summer linseed varieties Baladin, Princess and Récital. Above all, the results illustrate the importance of site factors for the variability of seed yield. Despite this, and based on the current organic-producer price as well as the Biorga fertiliser price, an economically efficient fertilisation optimum of 36 kg N/ha can be deduced. Since a negative correlation was also observed between N-fertilisation intensity and  $\alpha$ -linolenic acid content, moderate N-fertilisation is likewise recommended for the production of high-quality linseed oil. However, significant differences between the fatty-acid profiles of the three linseed varieties studied show that the choice of variety is also an important element in the production of a high-quality oil.

**Key words:** linseed, *Linum usitatissimum* L., organic farming, nitrogen level, fatty acid.

**Bibliographie**

- Bélanger G., Walsh J.R., Richards J.E., Milburn P.H. & Ziadi N., 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* **92** (5), 902–908.
- Bramm A. & Dambroth M., 1992. Influence of genotype, crop density and nitrogen fertilization on the yield capacity of linseed. *Landbauforschung-Völkenrode* **42**, 193–198.
- Diepenbrock W. & Pörksen N., 1992. Effect of stand establishment and nitrogen fertilization on yield and yield physiology of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Industrial Crops and Products* **1** (2–4), 165–173.
- Dordas C., 2010. Variation of physiological determinants of yield in linseed in response to nitrogen fertilization. *Industrial Crops and Products* **31**, 455–465.
- EZV, 2017. Schweizerische Aussenhandelsstatistik. Eidgenössische Zollverwaltung, Bern. Accès: <https://www.swiss-impex.admin.ch/> [26.1.2017].
- Flisch R., Sinaj S., Charles R. & Richner W., 2009. DBF-GCH 2009 – Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Recherche Agronomique Suisse* **16** (2), 1–97.
- FAO, 2017. FAOSTAT database collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rom. Zugang: <http://faostat.fao.org> [3.2.2017]
- Hocking P.J. & Pinkerton A., 1993. Phosphorous-nutrition of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by nitrogen supply – effects on vegetative development and yield components. *Field Crops Research* **32** (1–2), 101–114.
- Luginbühl C., Herzog C., Stettler P. & Hiltbrunner J., 2015. Ansätze zur Optimierung des Ölleinbaus in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz* **6** (7–8), 304–311.
- Pageau D., Lajeunesse J. & Lafond J., 2006. Effet du taux de semis et de la fertilisation azotée sur la productivité du lin oléagineux. *Canadian Journal of Plant Science* **86** (2), 363–370.
- Pellet D. & Vullioud P., 2004. Winter- und Sommerlein: eine bemerkenswerte Kultur. *Agrarforschung Schweiz* **11** (8), 1–8.
- Racz G.J., Webber M.D., Soper R.J. & Hedlin R.A., 1965. Phosphorous and nitrogen utilization by rape, flax, and wheat. *Agronomy Journal* **57** (4), 335–337.
- R Core Team, 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien.
- Wondolowska-Grabowska A., 2014. Effect of diversified fertilization with nitrogen, sulphur and boron on fatty acids profile in oil flax seeds. *Journal of Elementology* **19** (4), 1131–1142.