

# Effet des doses d'engrais N, P et K sur les rendements, les prélèvements en éléments nutritifs et la teneur en huile du canola

M. Giroux<sup>1</sup>, R. Morin<sup>2</sup> et M. Lemieux<sup>1</sup>

**Résumé.** M. Giroux, R. Morin et M. Lemieux. 2000. **Effet des doses d'engrais N, P et K sur les rendements, les prélèvements en éléments nutritifs et la teneur en huile du canola.** *Agrosol*. 11 (1) : 4-14. Une étude a été entreprise pour préciser les besoins en engrais minéraux N, P et K du canola de printemps (*Brassica napus* L.) dans la région de Québec. Cinq doses d'azote (0, 30, 60, 90 et 120 kg N/ha), quatre doses de phosphore (0, 30, 60 et 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) et quatre doses de potassium (0, 40, 80 et 120 kg K<sub>2</sub>O/ha) ont été appliquées et le dispositif comporte trois blocs aléatoires complets. Trois champs ont été implantés en 1996, 1997 et 1998. L'azote a produit un effet significatif sur le rendement en graines. Les doses optimales se situent entre 77 et 119 kg N/ha selon les champs, selon les rendements obtenus et les conditions économiques liées au prix de l'azote et du canola. Les doses de P ont produit un effet significatif sur le rendement dans deux champs. Les doses requises ont été de 60 et 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, respectivement en 1997 et 1998. Les teneurs en P Mehlich-3 de ces sols étaient respectivement de 125 et 71 kg P/ha. L'autre champ en 1996, avec 211 kg P/ha, n'a pas répondu à la fumure P. Les doses de K n'ont pas affecté les rendements. Les doses d'azote ont réduit la teneur en huile dans un champ ; elles ont augmenté la teneur en N des feuilles et des grains ainsi que l'indice de chlorophylle. La composition des huiles en terme de gras saturé, monoinsaturé et polyinsaturé n'est pas affectée par la fertilisation N, P et K. La fumure P n'a pas eu d'effet sur la teneur en huile et sa composition, ni sur la teneur en P des feuilles et des graines. Les doses K augmentent la teneur en K des feuilles mais n'affectent pas celle des graines, ni la teneur et la qualité de l'huile. Elles réduisent l'indice de chlorophylle des feuilles. Les prélèvements moyens par tonne de graines (10 % H<sub>2</sub>O) ont été de 37,2 kg N/t, 8,0 kg P/t et 8,1 kg K/t, pour les doses 120, 60 et 80 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O/ha). Dans les pailles, les valeurs correspondantes sont 8,5 kg N/t, 1,0 kg P/t et 23,0 kg K/t. La teneur en azote nitrique résiduel dans les sols est affectée par les doses N mais demeure relativement faible avec une valeur moyenne de 32,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha dans la couche 0-60 cm de sol pour la dose de 120 kg N/ha, comparé à 19,0 kg N-NO<sub>3</sub>/ha pour le témoin sans N. Le coefficient d'utilisation de l'azote des engrais N a varié entre 51,7 et 69,8 % selon les champs.

**Mots clés :** Canola, azote, phosphore, potassium, rendement, teneur en huile, indice de chlorophylle, composition minérale, nitrates résiduels.

**Abstract.** M. Giroux, R. Morin et M. Lemieux. 2000. **Effect of N, P and K fertilization on canola yield, nutrient uptake and oil content.** *Agrosol*. 11 (1) : 4-14. The objective of this study was to determine the optimum N, P and K rates for canola (*Brassica napus* L.) production in Quebec area. Field experiments were carried out on Le Bras silty loam for three years 1996, 1997 and 1998. The treatments (five N rates, four P rates and four K rates) were arranged in a randomized complete block design with three replicates. Nitrogen fertilization increased significantly canola yield. The optimum N rates varied between 77 and 119 kg N/ha according to sites, canola yield and economical considerations related to N fertilizer and canola prices. The phosphorus rates had a significant effect on canola yield in two fields. The optimum P rates were 60 and 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha and the soil P level were 125 and 71 kg P/ha for 1997 and 1998 respectively. The other field in 1996 showed no response to P fertilization and had a soil P level of 211 kg P/ha. The K fertilization had no effect on grain yield. The N fertilization increased foliar and grain N and foliar chlorophyll index but decreased oil content in one field. The oil composition (saturated, monounsaturated and polyunsaturated fat) was not affected by N, P and K fertilization. The P fertilization did not affect oil content, oil quality or foliar and grain P contents. The K fertilization increased the foliar K but not grain K content or oil quality. It also decreased the foliar chlorophyll index. The nutrient uptake by grain (10 % H<sub>2</sub>O) were 32,7 kg N/t, 8 kg P/t and 8,1 kg K/t for treatment receiving 120, 60 and 80 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O/ha). In straw, the corresponding values were 8,5 kg N/t, 1,0 kg P/t and 23 kg K/t. Residual NO<sub>3</sub>-N in soil was affected by N rates but remained at low level with an average of 32,7 kg/ha in the 0-60 cm layer of soil at harvest for 120 kg N/ha plots compared to 19,0 kg/ha for plots without N. The apparent coefficient of fertilizer N use varied between 51,7 and 69,8 %.

**Key words :** Canola, nitrogen, phosphorus, potassium, yield, oil content, chlorophyll index, nutrient content, residual nitrate.

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 2700, rue Einstein, Québec, Canada, G1P 3W8  
2. Direction régionale de Québec (MAPAQ), 1665, boul. Hamel-Ouest, Québec, Canada, G1N 3Y7

## Introduction

La culture du canola est la principale oléoprotéagineuse produite au Canada avec près de 6 millions d'hectares, concentrés surtout dans l'Ouest canadien. Sa teneur élevée en huile d'excellente qualité et en protéine, représentant respectivement près de 40 % et 24 % en poids des graines, et des prix, oscillant entre 275,00 et 375,00 \$ la tonne, ont suscité un intérêt pour cette culture auprès des producteurs québécois. Les superficies ne cessent de s'accroître, particulièrement dans les régions de Québec, du Saguenay/Lac Saint-Jean et du Bas Saint-Laurent. En 1995, on comptait 3 000 ha, alors qu'en 1999 on en dénombrait près de 14 000 ha au Québec. Le rendement moyen se situe à près de 2,2 t/ha mais il est possible d'atteindre 3,5 t/ha et plus dans les meilleurs champs.

Si on songe à développer cette culture au Québec, il faudra évaluer certains aspects de sa régie, notamment la fertilisation. La fumure azotée accroît le rendement du canola en stimulant la croissance, ce qui accroît la longueur, le nombre de tiges et de fleurs, ainsi que la surface foliaire et le poids des siliques et des graines (Allen et Morgan 1972). Par contre, un excès d'azote peut réduire le rendement, notamment en provoquant la verse (Scott et al. 1973, Sheppard et Bates 1980). Il en va de même pour la teneur en huile des graines qui décroît avec les doses d'azote pendant que la teneur en protéine s'accroît (Bhatty 1964, Allen et Morgan 1972, Sheppard et Bates 1980, Nuttall et al. 1987, Pageau et al. 1997). May et al. (1993) ont démontré qu'une fertilisation azotée excessive causait une augmentation des acides gras libres (AGL) dans les huiles, ce qui accroît leur rancidité et altère leurs propriétés chimiques. Les acheteurs exigent une teneur maximale en AGL de 1 % (CPVQ inc. 1996). De plus, les doses élevées d'azote prolongent la période végétative, retardent la maturité des graines, ce qui accroît le nombre de graines vertes à la récolte, augmente la teneur en chlorophylle dans l'huile et produit une couleur et une

odeur non désirées, affectant ainsi la valeur commerciale des graines (Scott et al. 1973). On doit donc rechercher une fumure azotée équilibrée permettant d'obtenir à la fois une production et une qualité optimales.

La dose optimale d'azote dépend beaucoup des conditions climatiques, des types de sol, de leur fertilité, des rendements obtenus et surtout de la disponibilité en eau. Grant et Bailey (1993) rapportent beaucoup d'essais où la fumure N, produisant le rendement maximal, se situe à 200 kg N/ha ou plus, tant pour le canola d'hiver que de printemps (Bullock et Sawyer 1991, Rollier 1982, Soper 1971, Nuttall et al. 1987 et 1992, Bailey 1990, Holmes et Ainsley 1977, Scott et al. 1973). En Ontario, Sheppard et Bates (1980) ont obtenu un accroissement du rendement jusqu'à la dose de 100 kg N/ha et ils signalent que des doses plus élevées provoquent la verse. Le développement de nouveaux cultivars plus performants et plus résistants à la verse peut affecter leur besoin en azote. Seules de rares études rapportent des besoins en engrais moindres que 100 kg N/ha. Balaji et Uppal (1986) ont obtenu une réponse à l'azote de 60 à 90 kg N/ha sur le canola de printemps mais dans des sols contenant déjà des teneurs élevées en nitrates. De son côté, Rollier (1982) a démontré que la méthode du bilan prévisionnel est applicable à la fertilisation azotée du canola. Dans ce modèle, le potentiel de rendement des champs et leur fertilité azotée sont pris en compte pour établir le besoin en engrais N. Il faudra cependant quantifier certains paramètres de ce modèle sous nos conditions avant d'utiliser cette méthode de recommandation. Nuttall et al. (1992) et Lewis (1987) ont établi la relation entre l'accroissement du rendement du canola et la teneur en nitrate ou en azote minéralisable des sols.

En ce qui concerne le phosphore, le canola se montre plus exigeant que les céréales en terme de prélèvement en P, mais aussi plus efficace à soutirer le P du sol grâce à son système racinaire

particulièrement développé. Ainsi les réponses obtenues avec la fumure P sont souvent inférieures à celles des céréales ou du maïs (Sheppard et Bates 1980). La calibration de la teneur en P du sol réalisée par Soper (1971) et par Nuttall et al. (1992) montre un accroissement du rendement relatif (pourcentage du rendement maximum obtenu sans fumure P) jusqu'à une teneur d'environ 10 mg P/kg dans les sols, mesuré avec la méthode Olsen. En terme de valeur Mehlich-3, l'équivalence serait d'environ 70 kg P/ha, ce qui constitue un seuil de non réponse relativement bas pour la fumure P.

La fertilisation P a généralement peu d'effet sur la qualité du canola (Lewis et al. 1987), mais on rapporte parfois des effets positifs des engrais P sur la teneur en huile (Bailey et Grant 1990b, Pageau et al. 1997), sur la teneur en protéine et sur la maturité des graines et la qualité de l'huile (Ukrainetz et al. 1975).

En ce qui concerne le potassium, la réponse du canola à la fumure K est peu fréquente et assez modérée, moindre que pour les céréales. Sheppard et Bates (1980) ont obtenu une réponse de la fumure K sur le canola dans un sol pauvre en K échangeable, là où les céréales répondaient davantage. D'après Soper (1971), un accroissement important du rendement du canola est obtenu avec la fumure K seulement si la teneur en K échangeable est inférieure à 35 mg/kg. On peut toutefois obtenir des réponses moindres pour des teneurs allant jusqu'à 100 mg/kg K. L'aptitude du canola à soutirer le K du sol expliquerait les faibles réponses obtenues avec la fumure K. Celle-ci produit un effet non significatif sur l'huile ou la protéine du canola de printemps ou d'hiver (Holmes et Ainsley 1977, Sheppard et Bates 1980).

Des essais sont actuellement en cours à la Station de Normandin pour vérifier les besoins NPK du canola dans la région du Saguenay/Lac Saint-Jean (Pageau et al. 1997). Il faut cependant répéter ces études dans d'autres régions avant de valider la grille actuelle du CPVQ inc.

(1996). Sur le plan des besoins en azote, la dose recommandée actuellement au Québec est de 80 kg N/ha. Cette dose se situe à un niveau très bas par rapport aux doses N nécessaires à une production maximale rapportée précédemment. Une baisse de production peut résulter d'une sous fertilisation N. Pour le phosphore et le potassium, il est aussi important de mesurer les réponses de ces deux éléments majeurs sur le canola car on trouve encore beaucoup de sols pauvres au Québec. Le but de ce travail est d'évaluer l'effet de la fumure N, P et K sur le rendement, la composition chimique des feuilles et des graines et sur la teneur et la qualité de l'huile de canola. De plus, il permettra de déterminer le coefficient d'utilisation des engrais N ainsi que les prélèvements en éléments nutritifs des graines et des pailles et les résidus d'azote nitrique des sols à la récolte.

## Matériel et méthodes

Trois champs de canola (ww 1432) ont été implantés à Saint-Lambert de Lévis entre 1996 et 1998. Le sol utilisé était le loam limoneux Le Bras. Les caractéristiques chimiques sont présentées au tableau 1. Les traitements de fumure minérale, au nombre de 12, comportaient 5 doses N, 4 doses P et 4 doses de K. Chaque élément est successivement apporté en présence d'une dose constante des deux autres. Ainsi, les doses d'azote appliquées (0, 30, 60, 90 et 120 kg N/ha), le sont en présence d'une dose constante de P et K, correspondant à 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha et 80 kg K<sub>2</sub>O/ha. Les doses de P appliquées (0, 30, 60 et 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) le sont en présence d'une dose constante de N et K correspondant à 90 kg N/ha et 80 kg K<sub>2</sub>O/ha. Les doses de potassium appliquées (0, 40, 80 et 120 kg K<sub>2</sub>O) le sont en présence d'une dose constante de N et P de 90 kg N/ha et 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

On peut ainsi établir la courbe de réponse aux apports d'engrais minéraux

N, P et K et déterminer la dose optimale d'engrais. Les doses de 90 et 120 kg N/ha sont fractionnées comme suit : 60 kg N/ha en présemis incorporé et 30 kg N/ha en postlevée au stage de 2-4 feuilles (90 kg N/ha) et pour la dose de 120 kg N/ha, 60 kg N/ha en présemis incorporé suivi de 60 kg N/ha en postlevée. Les sources d'engrais NPK utilisées sont respectivement le nitrate d'ammonium, le super-phosphate triple, le chlorure de potassium et le sul-po-mag. Du magnésium (20 kg/ha), du soufre (40 kg/ha) et du bore (1,0 kg/ha) ont été appliqués dans toutes les parcelles sous forme de sul-po-mag (11 % Mg et 22 % S) et de borate (14,3 % B). Dans les traitements sans K, on a substitué le sul-po-mag par le sel d'Epsom (9,8 % Mg) en conservant la même dose d'application de 20 kg/ha Mg. Sauf pour l'azote en postlevée, tous les engrais sont appliqués en présemis incorporé au moyen d'un vibroculteur dans environ 10 cm de sol.

Un traitement sans engrais N P et K est ajouté pour établir la contribution de la fertilité du sol au rendement. Le dispositif expérimental est constitué de 3 blocs aléatoires complets comportant 12 traitements chacun pour un total de 36 parcelles. Chaque parcelle possède une superficie de 10 m<sup>2</sup>.

En 1996 et 1997, le semis a été effectué au moyen d'un semoir Brillon au taux de 6 kg/ha. La population finale des plants se situait à 80/m<sup>2</sup> en 1996 et 110/m<sup>2</sup> en 1997. En 1998, le semis a été effectué au moyen d'un semoir à céréale muni d'une boîte pour les petites graines fourragères. La graine tombe à la surface au-dessus du disque ouvre-sillon. La population en 1998 a été de 120 plants/m<sup>2</sup>. Le semis a été effectué respectivement les 17, 23 et 25 mai pour chacune des 3 années. Les parcelles ont été fauchées à la fin avril alors que les siliques prélevées à mi-hauteur montraient environ 25 % de grains roux.

La coupe a été faite à environ 5 cm du sol, de manière à établir la biomasse des pailles à la récolte. Le battage a eu lieu vers la troisième semaine de septembre

à l'aide d'une moissonneuse-batteuse adaptée pour les parcelles. Les graines ont été criblées et pesées. Le taux d'humidité a été pris après une période de séchage à l'air libre et le rendement à l'hectare a été établi sur une base de 10 % d'humidité. La teneur en huile des graines et la proportion de gras saturé, monoinsaturé et polyinsaturé ont été mesurées au laboratoire d'expertises alimentaires du MAPAQ selon les méthodes AOAC (1990).

De même, la teneur en N, P, K, Ca et Mg des graines a été mesurée avec un traitement H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> suivi d'une digestion H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Se. Le rendement en paille, la composition chimique N, P, K, Ca et Mg ainsi que le rapport C/N ont été mesurés pour les traitements recevant les doses N, P et K de 120 N, 60 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 80 K<sub>2</sub>O/ha (traitement 6) et de 0 N, 60 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 80 K<sub>2</sub>O (traitement 2). Les éléments chimiques ont été mesurés selon la même méthode que pour les graines, alors que le carbone a été déterminé par combustion et dosage avec analyseur CNS-CARLO ERBA.

Au début de la floraison, vers la mi-juillet, une vingtaine de feuilles, correspondant à la 4<sup>e</sup> feuille à partir des points de croissance, ont été prélevées dans chaque parcelle. La composition chimique en N, P et K a été déterminée selon la même procédure de digestion mentionnée. Un suivi des relations entre les doses d'application, les rendements en graines et la composition des feuilles a été effectué, de manière à établir les niveaux de suffisance de ces éléments dans la plante. La mesure de la teneur en chlorophylle réalisée avec l'appareil SPAD-502 (Minolta co.) a permis d'établir la relation entre cet indice, la teneur en azote des feuilles, les doses N appliquées et les rendements. Une analyse de la teneur en N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> des sols a été effectuée à la récolte dans les parcelles recevant des doses croissantes d'azote de manière à établir la teneur en nitrates résiduels.

## Résultat

### Rendement

La fumure azotée a produit dans tous champs un effet significatif sur le rendement en graines (Tableau 2). En moyenne, le rendement sans N est de 2,0 t/ha contre 3,0 t/ha avec une fumure N adéquate, soit les deux tiers du rendement maximum obtenu. Le rendement en graines ainsi que l'effet de l'azote sur ce rendement varient d'une saison à l'autre. Pour établir la dose optimale économique de N, une technique éprouvée consiste à établir la fonction de production reliant le rendement (y) et les doses N (x), dans ce cas ci selon un modèle quadratique, et à trouver, par l'étude de la dérivée de cette fonction, le point où la dose N correspond à la productivité limite. La productivité limite correspond au rapport du prix du kg N et de celui du canola.

$$y = ax^2 + bx + c \text{ (fonction de production)}$$

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b = \frac{\$/\text{kg N}}{\$/\text{tonne canola}} = \text{productivité limite}$$

À titre d'exemple, si le prix du kg N est de 1,10 \$/kg et celui du canola de 300,00 \$/t, la productivité limite est de 0,00367 t/kg N. Cela signifie qu'il faut 3,67 kg de canola pour rentabiliser l'achat d'un kg N. Nous avons établi les fonctions de production de l'azote et calculé la dose N optimale correspondant à diverses productivités limites (Tableau 3, figure 1).

Ces résultats montrent que la dose optimale N varie selon les champs et les conditions économiques liées aux prix du canola et des engrais N. Selon l'amplitude des valeurs obtenues, la fumure N pourrait se situer entre 77 et 119 kg N/ha (Tableau 3). Il apparaît hasardeux d'établir une recommandation unique d'azote pour cette culture sans considérer les conditions du marché et les besoins agronomiques. Ceux-ci peuvent varier selon les champs avec le rendement obtenu. Cela semble être la cas du champ SL-98 produisant moins de

rendement (0,5 t/ha en moins) mais exigeant moins d'azote (20 kg N en moins) que les autres champs.

D'autres considérations, telles les conditions climatiques et le potentiel des cultivars, peuvent également influencer les besoins agronomiques et les rendements. La dose d'azote optimale du canola pourrait donc se situer dans un intervalle de 80 à 120 kg N/ha. Il appartient à celui qui élabore le plan de fertilisation de la préciser en fonction des conditions économiques (prix de l'azote et du canola) et du potentiel de production des champs, des régions agricoles et des cultivars. D'autres corrections peuvent être apportées selon le niveau de matière organique des sols, leur teneur en nitrates au printemps et le précédent cultural.

Les doses de P ont eu un effet significatif sur le rendement en graines dans les

entre la réponse au phosphore, la teneur en P des sols et la saturation en P. Les sols avec moins de 150 kg P/ha et moins de 5 % de saturation en P répondent davantage à la fumure P. La figure 2 montre le rendement en graines selon les doses de P dans les trois champs étudiés. Les réponses à la fumure P sont plus importantes au Québec que celles obtenues par Sheppard et Bates (1980) en Ontario et celles de Soper (1971) au Manitoba. Les doses de K n'ont produit aucun effet significatif sur le rendement en graines dans aucun des champs. La teneur en K des sols varie de 184 à 190 kg K/ha (Tableaux 1 et 2).

### Teneur et qualité des huiles

Les doses d'azote ont affecté la teneur en huile des graines de canola dans le champ SL-96 seulement (Tableau 4). Cet effet est surtout perceptible dans les parcelles ne recevant pas ou très peu d'azote (30 kg N/ha et moins), versus celles en recevant beaucoup (90 et 120 kg N/ha). Pageau et al. (1997) ont obtenu une réduction du contenu en huile et une augmentation du contenu en protéine des graines de canola avec l'application de 150 kg N/ha. Une forte fertilisation azotée peut donc accroître la teneur en protéine des graines au détriment de leur teneur en huile, d'où le besoin de bien préciser la dose optimale N.

La composition des huiles en terme de gras saturé, monoinsaturé et polyinsaturé n'est pas affectée par la fertilisation N (Tableau 4). Il semble que ce facteur soit davantage lié à la génétique des plantes qu'aux facteurs de

champs SL-97 et SL-98 (Tableau 2). Dans le champ SL-97, la dose de 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a suffit aux besoins en P. Dans le champ SL-98, une dose de 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a été requise. Par contre, le champ SL-96 n'a pas répondu aux apports de P. La dose de P nécessaire a donc varié de 0 à 90 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha selon les champs. Si on examine la teneur en P des sols, elle se situe à 211, 125 et 71 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha respectivement pour les champs SL-96, SL-97 et SL-98. Il semble exister un lien

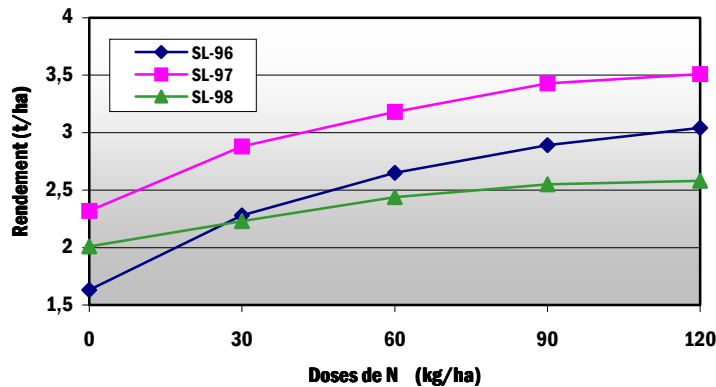
**Tableau 1. Analyse des sols utilisés.**

Champ	pH eau	M.O. (%)	N total (%)	CEC (meq/100 g)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	*N-NO <sub>3</sub> (kg/ha)	Al (mg/kg)	**Sat. P (%)
SL-96	5,9	4,15	0,17	18,8	211	184	2 147	85	52,8	1 567	6,0
SL-97	6,2	4,3	0,17	16,8	125	190	3 193	120	29,6	1 296	4,3
SL-98	5,9	3,7	0,16	16,4	71	186	2 417	187	76,4	1 297	2,4

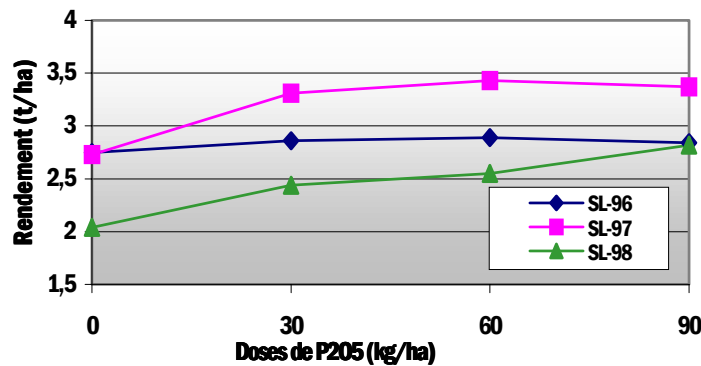
\* Teneur en N-NO<sub>3</sub> des sols au moment des semis dans la couche 0-40 cm de sol,

\*\* Saturation en P déterminée par le rapport P/Al.

**Figure 1. Rendement du canola en fonction des doses de N**



**Figure 2. Rendement du canola en fonction des doses de P**



régie. Le canola, sur le plan de la qualité de son huile, se classe en excellente position par rapport à celle d'autres cultures, particulièrement pour la somme des gras insaturés (Tableau 5).

En ce qui concerne les doses de P et K, notre étude n'a pas démontré d'effet ni sur la teneur en huile ni sur sa composition (Tableau 4). Pageau et al. (1997) ont obtenu un accroissement du

contenu en huile avec les doses de P mais pas avec les doses de K.

**Indice de chlorophylle et teneur en N, P et K des feuilles**

Les indices de la teneur en chlorophylle des feuilles à la floraison sont influencés positivement par les doses N, négativement par les doses K, alors que les doses P n'ont pas d'effet (Tableau 6). Le niveau de suffisance pour cet indice est de 43 à 45 et il est atteint avec des doses de 90 à 120 kg N/ha, selon les champs. Les parcelles sans potassium montrent également des indices de chlorophylle plus élevés. Au champ, une coloration vert foncé des feuilles sans engrais K est perceptible à l'œil. Cet effet pourrait être dû à l'interaction entre les ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et K<sup>+</sup>. En l'absence de K, l'absorption de l'azote est accrue, ce qui augmente l'indice de chlorophylle. Les relations entre les rendements, l'indice de chlorophylle et la teneur en N des feuilles montrent une bonne corrélation entre ces facteurs (Figure 3).

Les doses d'azote augmentent de façon très significative la teneur en N des feuilles au moment de la floraison. Le champ SL-96 montre pour tous les traitements, une concentration plus faible en N que les deux autres champs

**Tableau 2. Effets des doses d'engrais N, P et K sur le rendement en graines de canola (10 % H<sub>2</sub>O).**

Traitement	Doses N, P, K			Rendement en graines (10 % H <sub>2</sub> O) (t/ha)				
	#	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	SL-96	SL-97	SL-98	Moyenne
	1	0	0	0	1,56	2,00	1,74	1,77
	2	0	60	80	1,63	2,32	2,01	1,99
	3	30	60	80	2,28	2,88	2,23	2,46
	4	60	60	80	2,65	3,18	2,44	2,76
	5	90	60	80	2,89	3,43	2,55	2,96
	6	120	60	80	3,04	3,51	2,58	3,04
	7	90	0	80	2,75	2,73	2,04	2,51
	8	90	30	80	2,86	3,31	2,44	2,87
	9	90	90	80	2,84	3,37	2,82	3,01
	10	90	60	0	2,85	3,28	2,31	2,81
	11	90	60	40	2,76	3,28	2,35	2,80
	12	90	60	120	2,81	3,34	2,68	2,94
<b>F traitement</b>					35,1**	11,9**	5,5**	
<b>F dose N</b>					47,2**	12,3**	3,3**	
<b>F dose P</b>					N.S.	5,5**	6,1**	
<b>F dose K</b>					N.S.	N.S.	N.S.	
<b>C.V.</b>					5,5 %	7,8 %	9,7 %	

\*\* Significatif à p=0,01

**Tableau 3. Relation entre les rendements (t/ha) du canola et les doses d'azote (kg/ha) appliquées et détermination de la dose N optimale pour différentes productivités limite dans trois champs expérimentaux de la région de Québec.**

Champ	Équation	R <sup>2</sup>	Productivité limite (kg grains/kg N)					
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
			Doses N optimales (kg N/ha)					
SL-96	$y = 1,65 + 0,022x - 0,0000881x^2$	0,95**	119	116	114	111	108	105
SL-97	$y = 2,33 + 0,0195x - 0,0000816x^2$	0,92**	113	110	107	104	101	98
SL-98	$y = 2,00 + 0,0095x - 0,0000392x^2$	0,55**	108	102	96	89	82	77
<b>Moyenne</b>			<b>113</b>	<b>109</b>	<b>106</b>	<b>101</b>	<b>97</b>	<b>93</b>

\*\* Significatif à p=0,01

(Tableau 7). La prise de l'échantillon a eu lieu le 30 juillet alors qu'elle a été réalisée les 14 et 16 juillet pour les champs SL-97 et SL-98. Le contenu en N change rapidement à mesure que la floraison avance. Il faut donc ajuster précisément les dates et les stades d'échantillonnage avec les valeurs de référence. En début de floraison, le niveau de suffisance dans les feuilles se situe aux environs de 5,4 % N. Il diminue pour des échantillonnages plus tardifs.

### Analyse des graines

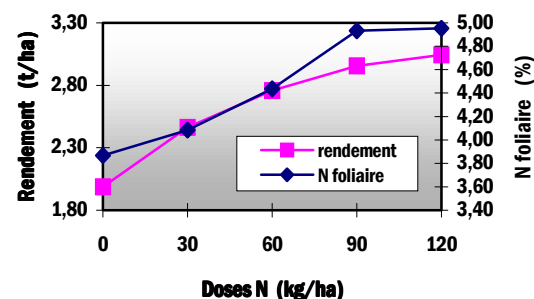
La fumure N accroît significativement la teneur en N des graines (Tableau 8). La teneur moyenne obtenue sans fumure N (traitement 2) est de 3,49 %, alors qu'elle est de 3,72 % pour la dose de 120 kg N/ha (traitement 6). Il existe donc une relation entre la fumure azotée et la teneur en protéine des graines, tel que l'ont démontré Pageau et al. (1997),

**Tableau 4. Effets des doses d'engrais N, P et K sur la teneur en huile et la proportion des gras saturés et insaturés dans les graines de canola.**

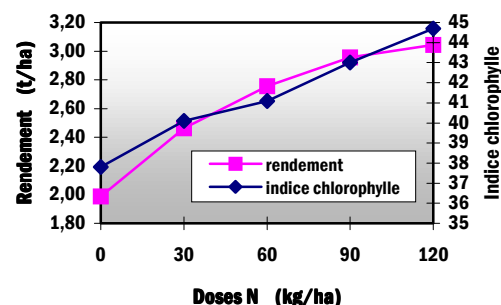
Traitement	Doses N, P, K			Huile (%)	Saturé (%)	Mono-Insaturé (%)	Poly-Insaturé (%)	Huile (%)	Saturé (%)	Mono-Insaturé (%)	Poly-Insaturé (%)	Huile (%)
	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)									
#				SL-96				SL-97				SL-98
1	0	0	0	39,9	7,9	65,2	26,9	42,8	7,6	66,0	26,4	38,7
2	0	60	80	39,0	7,9	65,4	26,7	41,6	7,5	65,7	26,8	36,7
3	30	60	80	39,7	7,9	65,6	26,5	41,6	7,5	66,0	26,5	37,3
4	60	60	80	38,8	7,7	65,5	26,8	41,9	7,5	65,8	26,7	37,8
5	90	60	80	37,6	7,9	65,5	26,6	41,2	7,6	66,1	26,3	38,0
6	120	60	80	38,3	7,7	66,0	26,3	41,1	7,4	66,4	26,2	37,9
7	90	0	80	38,6	7,8	66,1	26,1	41,3	7,6	66,2	26,2	36,5
8	90	30	80	38,0	7,8	65,5	26,7	40,8	7,4	66,3	26,3	38,0
9	90	90	80	38,5	7,7	65,8	26,5	42,3	7,5	66,6	25,9	37,7
10	90	60	0	38,8	7,9	65,5	26,6	41,3	7,6	66,8	25,6	38,3
11	90	60	40	37,9	7,7	65,2	27,1	41,2	7,4	66,2	26,4	37,2
12	90	60	120	39,4	7,8	66,2	26,0	41,9	7,6	66,6	25,8	37,6
<b>F traitement</b>				2,6*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>F dose N</b>				2,9*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>F dose P</b>				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>F dose K</b>				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>C.V. (%)</b>				2,2	2,4	1,0	2,6	2,3	1,2	0,5	1,4	3,1

\* Significatif à p=0,05

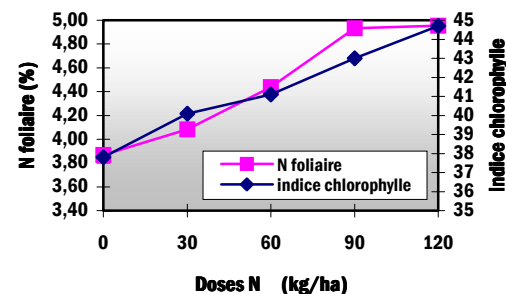
**Figure 3a. Rendement, doses N et N foliaire (moy. des 3 champs)**



**Figure 3b. Rendement, doses N et chlorophylle (moy. des 3 champs)**



**Figure 3c. N foliaire, doses N et indice chlorophylle (moy. des 3 champs)**



mais l'excès de N peut réduire la teneur en huile, d'où la nécessité d'une fumure azotée équilibrée.

On observe également que les doses de N diminuent la teneur en P des feuilles. Ce phénomène est souvent rapporté dans la littérature et s'explique par un effet de dilution. Les doses N augmentent beaucoup la biomasse qui n'est pas compensée par un prélèvement équivalent de P, de sorte qu'il en résulte une diminution nette de la concentration en P des tissus. Dans le cas qui nous concerne, l'effet est particulièrement perceptible dans les traitements sans N versus ceux avec les doses N les plus importantes. La concentration de P des feuilles est peu affectée par les doses de P, alors que la fumure K accroît la teneur en K foliaire, sans toutefois agir sur les rendements.

Les doses de P et K n'ont pas affecté la teneur en N, P et K des graines. Les prélèvements moyens en N, P et K des graines pour les doses 120, 60, 80 kg/ha N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O ont été de 37,2 kg/t, 8,0 kg/t et 8,1 kg/t respectivement pour N, P et K. Ces valeurs sont plus élevées pour N et P que celles rapportées dans le guide du CPVQ inc. (1996) avec des valeurs respectives de 32 kg/t, 7 kg/t et 8 kg/t. Pour le calcium et le magnésium, les prélèvements moyens dans les graines sont de 4,3 kg Ca/t et 3,3 kg Mg/t.

### Coefficient d'utilisation de l'azote et résidus de nitrates dans les sols

Le coefficient apparent d'utilisation de l'azote des engrais (CAU) a été mesuré selon la méthode décrite par N'Dayegamiye (1998), à partir d'une parcelle fertilisée à l'azote (120 kg N/ha)

et d'une parcelle témoin sans N. Selon les champs, le CAU se situe entre 51,7 et 69,8 % (Tableau 9). Les valeurs du CAU sont généralement supérieures à celles obtenues pour les céréales, le maïs et la pomme de terre (Tran et al. 1992). Ceci démontre que le canola utilise plus efficacement les engrais azotés appliqués que plusieurs autres cultures, grâce à son système racinaire particulièrement efficace. Pour leur part, les résidus d'azote nitrique à la récolte sont relativement faibles. Ils sont en moyenne de 19,0 kg N-NO<sub>3</sub>/ha dans les parcelles sans fertilisation N et s'accroissent progressivement à 32,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha avec la dose de 120 kg N/ha dans la couche 0-60 cm de sol (Tableau 10). Ces teneurs sont bien inférieures à celles mesurées par Tran et Giroux (1998) dans le maïs-grain. Les risques de perte de nitrates sous culture de canola apparaissent assez limités. La concentration en N-NO<sub>3</sub>

**Tableau 5. Proportion des gras dans différentes sortes d'huiles végétales commerciales.**

Espèce	Saturé (%)	Monoinsaturé (%)	Polyinsaturé (%)	Total Insaturé (%)
Canola	6,5	63,0	30,5	93,5
Olive	9,4	76,5	14,1	90,6
Soya	14,0	24,0	62,0	86,0
Maïs	14,1	27,2	58,7	85,9
Arachide	20,7	46,7	32,6	79,3
Tournesol	10,9	19,6	69,5	89,1
Carthame	9,0	12,0	79,0	91,0
Sésame	14,2	42,9	42,9	85,8
Lin	8,0	21,0	71,0	92,0

\* Significatif à p=0,05, \*\*Significatif à p=0,01

**Tableau 6. Effets des doses d'engrais N, P et K sur l'indice de la teneur en chlorophylle des feuilles de canola au stade de floraison.**

Traitement	Doses N, P, K			Indice de chlorophylle				
	#	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	SL-96	SL-97	SL-98	Moyenne
1	0	0	0	0	35,2	37,0	38,8	37,0
2	0	60	80	80	34,8	36,9	41,8	37,8
3	30	60	80	80	37,4	40,5	42,5	40,1
4	60	60	80	80	38,8	41,4	44,0	41,4
5	90	60	80	80	41,4	43,4	44,3	43,0
6	120	60	80	80	43,6	45,6	45,0	44,7
7	90	0	80	80	41,6	43,1	45,6	43,4
8	90	30	80	80	39,6	42,9	42,9	41,8
9	90	90	80	80	42,9	44,2	44,4	43,8
10	90	60	0	0	44,5	47,0	48,0	46,8
11	90	60	40	40	42,8	44,5	46,8	44,7
12	90	60	120	120	40,5	43,4	44,8	42,9
<b>F traitement</b>					6,8**	12,3**	5,5**	
<b>F dose N</b>					6,9**	13,6**	2,5*	
<b>F dose P</b>					N.S.	N.S.	N.S.	
<b>F dose K</b>					2,5*	3,72*	2,6*	
<b>C.V.</b>					5,1 %	3,6 %	6,4 %	

\* Significatif à p=0,05, \*\*Significatif à p=0,01

**Tableau 7. Effets des doses d'engrais N, P et K sur la teneur en N, P et K des feuilles de canola à la floraison.**

Traitement	Doses N, P, K			Teneur en N, P et K des feuilles (%)								
				N	P	K	N	P	K	N	P	K
#	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	SL-96			SL-97			SL-98		
1	0	0	0	3,04	0,31	2,51	3,52	0,46	3,18	4,27	0,32	2,74
2	0	60	80	2,99	0,29	2,33	4,10	0,48	3,71	4,51	0,34	2,89
3	30	60	80	3,04	0,28	2,24	4,43	0,45	3,39	4,78	0,36	2,86
4	60	60	80	3,63	0,33	2,59	4,48	0,48	3,65	5,20	0,36	2,67
5	90	60	80	4,03	0,35	2,44	5,40	0,44	3,37	5,37	0,39	2,56
6	120	60	80	3,88	0,32	2,55	5,56	0,44	3,04	5,42	0,36	2,51
7	90	0	80	3,99	0,31	2,24	5,09	0,37	3,69	5,57	0,34	2,65
8	90	30	80	3,60	0,32	2,26	5,40	0,40	3,76	5,51	0,35	2,70
9	90	90	80	4,07	0,35	2,50	5,36	0,42	3,20	5,58	0,39	2,46
10	90	60	0	4,04	0,35	2,03	5,44	0,41	2,77	5,34	0,36	2,09
11	90	60	40	3,76	0,35	2,43	5,15	0,45	3,23	5,67	0,38	2,46
12	90	60	120	3,89	0,34	2,63	5,20	0,39	3,42	5,43	0,36	2,59
<b>F traitement</b>				4,5**	2,4*	N.S.	9,5**	N.S.	4,6**	5,9**	N.S.	N.S.
<b>F dose N</b>				7,4**	3,3*	N.S.	9,5**	N.S.	3,6*	4,5*	N.S.	N.S.
<b>F dose P</b>				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>F dose K</b>				N.S.	N.S.	2,9*	N.S.	N.S.	4,3**	N.S.	N.S.	2,7*
<b>C.V. (%)</b>				8,3	8,4	11,0	7,4	9,4	7,3	6,2	7,0	8,8

\* Significatif à p=0,05 \*\*Significatif à p=0,01

**Tableau 8. Effets des doses d'engrais N, P et K sur la teneur en N, P et K des graines de canola (10 % H<sub>2</sub>O).**

Traitement	Doses N, P, K			Teneur en N, P et K des graines de canola (%)								
				N	P	K	N	P	K	N	P	K
#	N (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)	SL-96			SL-97			SL-98		
1	0	0	0	3,49	0,87	0,86	3,28	0,86	0,78	3,49	0,85	0,82
2	0	60	80	3,52	0,93	0,90	3,43	0,91	0,81	3,51	0,77	0,79
3	30	60	80	3,54	0,92	0,89	3,39	0,87	0,81	3,61	0,79	0,79
4	60	60	80	3,63	0,90	0,90	3,44	0,86	0,80	3,52	0,74	0,77
5	90	60	80	3,82	0,85	0,88	3,59	0,81	0,81	3,69	0,78	0,80
6	120	60	80	3,84	0,83	0,88	3,68	0,80	0,78	3,65	0,77	0,78
7	90	0	80	3,66	0,82	0,87	3,46	0,77	0,79	3,68	0,76	0,81
8	90	30	80	3,84	0,84	0,88	3,60	0,81	0,79	3,56	0,77	0,76
9	90	90	80	3,78	0,83	0,89	3,62	0,82	0,78	3,52	0,76	0,78
10	90	60	0	3,67	0,82	0,85	3,59	0,80	0,75	3,59	0,79	0,79
11	90	60	40	3,78	0,87	0,90	3,55	0,81	0,78	3,73	0,74	0,80
12	90	60	120	3,75	0,83	0,88	3,64	0,78	0,79	3,61	0,77	0,81
<b>F traitement</b>				5,3**	5,6**	N.S.	4,4**	2,4*	N.S.	2,8*	N.S.	N.S.
<b>F dose N</b>				6,6**	6,9**	N.S.	4,6**	2,5*	N.S.	2,6*	N.S.	N.S.
<b>F dose P</b>				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>F dose K</b>				N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
<b>C.V. (%)</b>				2,4	3,3	4,0	2,8	5,9	4,2	3,3	3,8	3,1

\* Significatif à p=0,05 \*\*Significatif à p=0,01

des différentes couches de sol n'excède jamais 8 mg N-NO<sub>3</sub>/kg, ce qui est relativement bas (Figure 4). De plus, la présence des pailles peut réduire le lessivage des nitrates.

### Rendement et composition des pailles

Une fumure azotée de 120 kg N/ha

accroît le rendement en paille de 4,1 t/ha à 5,5 t/ha en moyenne par rapport au témoin sans N (Tableau 9). Les prélèvements moyens par tonne de paille sont respectivement de 8,5 kg N/t, 1,0 kg P/t, 23 kg K/t, 11,4 kg Ca/t et 1,2 kg Mg/t pour les parcelles fertilisées (Tableau 11). Parmi les éléments majeurs, le potassium est celui qui est le plus prélevé par les pailles. Pour une

production de 5,0 t/ha de paille, c'est plus de 100 kg K/ha qui retournent au sol. Ces résultats confirment la grande capacité des racines de canola à prélever les éléments. Dans le cas du potassium, les prélèvements des pailles atteignent un niveau suffisant pour le budgéter dans le programme de fertilisation à venir.



Les prélèvements totaux en azote des pailles se situent entre 41,6 et 61,6 kg/ha dans les parcelles fertilisées à l'azote (Tableau 9). Le rapport C/N moyen varie pour sa part de 45,8 dans les parcelles avec 120 kg N/ha, à 75,9 dans les parcelles témoins sans N. La fumure azotée a donc beaucoup d'effet sur le rapport C/N des pailles.

## Conclusion

La fertilisation azotée a accru les rendements de façon très significative dans les trois champs expérimentaux à l'étude. La dose optimale d'azote a varié de 77 kg N/ha à 119 kg N/ha selon les champs, les saisons, le rendement

obtenu et les conditions économiques liées au prix de l'azote des engrais et à celui du canola. La fumure azotée peut réduire la teneur en huile des graines mais elle accroît leur teneur en azote total. La fumure N, P et K n'a pas d'effet sur le profil des acides gras.

La teneur en azote foliaire et l'indice de chlorophylle sont accrus par la fertilisation azotée. Le niveau de concentration de suffisance pour l'azote, en début de floraison, a été de 5,4 % N dans les feuilles. Il diminue rapidement à mesure que la floraison avance. L'indice de chlorophylle moyen est de 44,7 pour la dose 120 kg N/ha et de 37,8 pour le témoin sans N. Les prélèvements moyens par tonne de graines ont été de 37,2 kg N/t et de 8,5 kg N/t dans les

pailles fertilisées avec 120 kg N/ha. Pour le phosphore, la concentration moyenne des feuilles recevant 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (traitement 9) a été de 0,39 % P contre 0,34 % dans les feuilles ne recevant pas de P (traitement 7). La différence est très minime ce qui rend difficile l'utilisation du diagnostic foliaire pour le phosphore et l'établissement d'une concentration critique. Les prélèvements par tonne de graines sont de 8,0 kg P/t dans les parcelles fertilisées et de 1,0 kg P/t dans les pailles.

La fumure P a produit un effet significatif sur les rendements dans deux champs sur trois. La teneur en P des sols et leur niveau de saturation en P semblent indiquer que les sols avec moins de 150 kg P/ha et moins de 5 % de saturation en

**Tableau 9. Prélèvements en azote des pailles et des graines de canola, rapport C/N des pailles et coefficient d'utilisation de l'azote pour des doses d'application de 0 et 120 kg N/ha.**

Champ	Doses N (kg/ha)	Rendement paille (M.S.) (t/ha)	Concentration paille (M.S.) (% N)	Prélèv. paille (M.S.) (kg N/ha)	Rendement graines (t/ha)	Concentration graines (% N)	Prélèv. graines (kg N/ha)	Prélèv. graines & pailles (kg N/ha)	*C.A.U. (%)	C/N (paille)
SL-96	0	4,36	0,55	24,0	1,63	3,52	57,4	81,4	---	73,6
SL-96	120	5,70	0,85	48,5	3,04	3,84	116,7	165,2	69,8	47,6
SL-97	0	4,03	0,50	20,2	2,32	3,43	79,6	99,8	---	81,7
SL-97	120	5,27	0,79	41,6	3,51	3,68	129,2	170,8	59,2	52,0
SL-98	0	4,00	0,58	23,2	2,01	3,51	70,6	93,8	---	72,4
SL-98	120	5,50	1,12	61,6	2,58	3,65	94,2	155,8	51,7	37,8

\*Coefficient apparent d'utilisation de l'azote des engrais

$$C.A.U. (\%) = \frac{\text{Prélèv. total N (120 kg/ha)} - \text{prélèv. total (témoin sans N)}}{120 \text{ kg N/ha}} \times 100$$

**Tableau 10. Teneur en nitrates résiduels à la récolte selon les doses d'azote appliquées dans la couche de sol 0-60 cm.**

Champ	Doses N (kg/ha)				
	0	30	60	90	120
	-----kg N-NO <sub>3</sub> /ha-----				
SL-96	17,7	21,5	22,0	33,3	31,9
SL-97	18,6	24,5	26,6	24,6	31,0
SL-98	20,8	27,9	32,3	37,6	35,2
<b>Moyenne</b>	<b>19,0</b>	<b>24,6</b>	<b>27,0</b>	<b>31,8</b>	<b>32,7</b>

**Tableau 11. Teneur en éléments nutritifs des pailles (M.S.) de canola fertilisées avec 120 kg N/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha et 80 kg K<sub>2</sub>O/ha.**

Champ	N (kg/t)	P (kg/t)	K (kg/t)	Ca (kg/t)	Mg (kg/t)
SL-96	8,5	0,9	26,1	13,1	1,0
SL-97	7,9	1,0	23,6	10,0	1,1
SL-98	9,0	1,3	19,4	11,2	1,6
<b>Moyenne</b>	<b>8,5</b>	<b>1,0</b>	<b>23,0</b>	<b>11,4</b>	<b>1,2</b>

Figure 4a. SL-96 Nitrate à la récolte

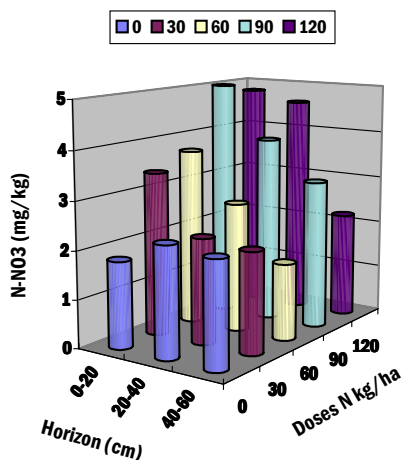


Figure 4b. SL-97 Nitrate à la récolte

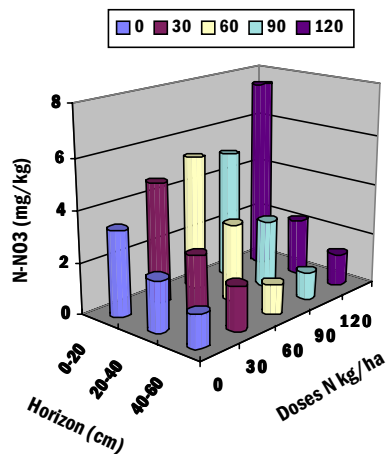
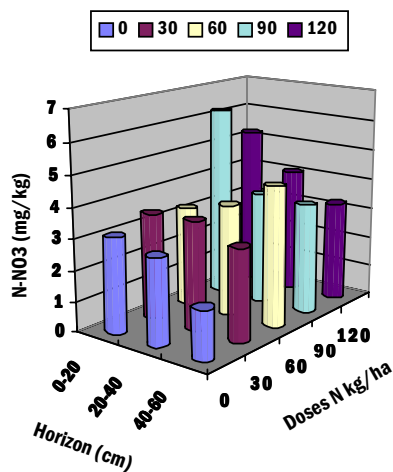


Figure 4c. SL-98 Nitrate à la récolte



P sont susceptibles de répondre à la fertilisation P. Dans un cas, la dose de 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a fourni le rendement maximal et dans l'autre, une dose de 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a été nécessaire. La fumure P et K n'a pas d'effet sur la teneur en P et K des graines.

Pour le potassium, la concentration moyenne des feuilles recevant 120 kg K<sub>2</sub>O/ha est de 2,9 % K (traitement 12) contre 2,3 % dans les feuilles ne recevant pas de K (traitement 10). Il est à remarquer que même si la fumure K accroît la teneur en K des feuilles, elle n'a pas d'effet sur les rendements, de sorte que des teneurs en K foliaire de 2,3 à 2,9 % K sont considérées suffisantes. Les prélèvements en K des pailles dans les parcelles fertilisées atteignent en moyenne 23 kg K/t.

Le coefficient apparent d'utilisation de l'azote des engrais a varié entre 51,7 et 69,8 % selon les champs. La teneur en azote nitrique résiduel dans les sols à la récolte est affectée par les doses N mais demeure relativement faible avec des valeurs moyennes variant entre 19,0 et 32,7 kg N-NO<sub>3</sub>/ha dans la couche 0-60 cm de sol, selon les doses d'application de l'azote. La teneur en N-NO<sub>3</sub> dans les horizons de sols n'excède jamais 8 mg N-NO<sub>3</sub>/kg.

## Remerciements

Nous tenons à remercier le personnel technique et ouvrier de l'IRDA pour la réalisation des travaux aux champs et en laboratoire, ainsi que le laboratoire d'expertise alimentaire du MAPAQ pour la détermination de la teneur en huile et du profil des acides gras des graines de canola.

## Références bibliographiques

Allen, E.J. et D.G. Morgan. 1972. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth development and yield of oil seed rape. *J. Agric. Sci.* 78 : 315-324.

AOAC. 1990. Détermination du pourcentage de matière grasse. *Official methods of analysis # 920.39 c.*, p. 79.

AOAC. 1990. Détermination du profil d'acides gras. *Official methods of analysis # 963.33*, p. 963.

Bailey, L.D. 1990. The effects of N-serve and N fertilizers on productivity and quality of Canadian rape cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 70 : 979-986.

Balaji, P. et H.S. Uppal. 1986. Effect of irrigation and nitrogen application on N uptake and quality of *Brassica campestris var. Toria*. *Indian J. Ecol.* 13 : 360-362.

Bhatty, R.S. 1964. Influence of nitrogen fertilization on the yield, protein and oil content of two varieties of rape. *Can. J. Plant Sci.* 44 : 215-217.

Bullock, D.G. et J.E. Sawyer. 1991. Nitrogen, potassium, sulfur and boron fertilization of canola. *J. Prod. Agric.* 4 (4) : 550-555.

CPVQ inc. 1996. Oléoprotéagineux – Canola. Feuillelet technique. Agdex 140/20. 7 p.

CPVQ inc. 1996. Grilles de référence en fertilisation. Agdex 540. 91 p.

Grant, C.A. et L.D. Bailey. 1993. Fertility management in canola production. *Can. J. Plant Sci.* 73 : 651-670.

Holmes, M.R. et A.M. Ainsley. 1977. Fertilizer requirements of spring oilseed rape. *J. Soil Food Agric.* 28 : 301-311.

- Lewis, D.C., T.D. Potter, S.E. Weckert et L. Grant. 1987. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on the seed yield and oil concentration of oil seed rape (*Brassica napus L.*) and the prediction of responses by soil test and past paddock use.
- May, W.E., D.J. Hume et B.A. Hale. 1994. Effects of agronomic practices of free fatty acid levels in the oil of Ontario grown spring canola. *Can. J. Plant Sci.* 74 : 267-274.
- N'Dayegamiye, A., J. Bossanyi et J. Maltais. 1998. Étude de la disponibilité de l'azote minéralisable de la matière organique à la culture d'orge en conditions climatiques du Saguenay/Lac Saint-Jean. *Agrosol* 10 (2) : 74-78.
- Nuttall, W.F., H. Ukrainetz, J.W.B. Stewart et D.T Spurr. 1987. The effect of nitrogen, sulphur and boron on yield and quality of rape seed (*Brassica napus L. and B. Campestris L.*). *Can. J. Soil Sci.* 67 : 545-559.
- Nuttall, W.F., A.P. Moulin et L.J. Tounley-Smith. 1992. Yield response of canola to nitrogen, phosphorus, precipitation and temperature. *Agron. J.* 84 : 765-768.
- Pageau, D., J. Lafond et J. Martel. 1997. La fertilisation NPK du canola. *Bulletin AQSSS IX. Congrès AQSSS. ORSTOM.*
- Rollier, M. 1982. Colza : la fertilisation azotée. *Cultivar.* Juillet-août 1982, p. 60-61.
- Scott, R.K., E.A. Ogunremi, J.D. Ivins et N.J. Menham. 1973. The effect of fertilizers and harvest date on growth and yield of oilseed rape sown in autumn and spring. *J. Agric. Sci.* 81 : 287-293.
- Sheppard, S.C. et T.E. Bates. 1980. Yield and chemical composition of rape in response to nitrogen phosphorus and potassium. *Can. J. Soil Sci.* 60 : 153-162.
- Soper, R.J. 1971. Soil tests as a means of predicting response of rape to added N, P and K. *Agron. J.* 63 : 564-566.
- Ukrainetz, H., R.J. Soper et M. Nyborg. 1975. Plant nutrient requirements of oilseed and pulse crops. Pages 325-374, dans T. Harapiak ed. *Oilseed and pulse crops in western Canada. Symposium West Coop. Fert. Ltd, Calgary, AB.*
- Tran, T.S., M. Giroux et A. N'Dayegamiye. 1992. Utilisation rationnelle des fumures azotées minérales : aspects agronomiques et environnementaux. *Agrosol.* V (2) : 18-25.
- Tran, T.S. et M. Giroux 1998. Fate of <sup>15</sup>N labelled fertilizer applied to corn grown on different soil type. *Can. J. Soil Sci.* 78 : 597-605.