

Effet de semis hâtif et tardif sur les rendements en grain et en fibre pour deux différents cultivars de chanvre industriel en régie biologique- An 2



Projet IA214186

Rapport final

Rédigé par:

Audrey Bouchard, agronome, GMA Saguenay-Lac-St-Jean

Olivier Lalonde, M.Sc., agronome, CEROM

18 juillet 2016



Table des matières

Table des matières	2
Liste des tableaux	2
Liste des figures.....	2
Mise en contexte.....	3
Objectifs	3
Méthodologie.....	4
Dispositif expérimental et traitements	4
Prise de données et échantillonnages.....	4
Analyses statistiques.....	5
Résultats et discussion	6
Saison 2015 : Météo	6
Saison 2015 : Rendements en grain et en paille	6
Saison 2015 : Interaction entre la population, la hauteur, le ratio épi floral sur hauteur et la productivité.....	8
Conclusion.....	10
Collaborateurs.....	11
Références bibliographiques.....	12

Liste des tableaux

Tableau 1. Répartition des sites d'essais en fonction des régions administratives et de leur classe texturale de sol, respectives, en 2014 et 2015.	4
Tableau 2. Température du sol (°C) en fonction de chacune des dates de semis de chacun des sites en 2015.	5
Tableau 3. Cumul des précipitations (mm) durant 21 jours suivant la date de semis de chacun des traitements pour chacun des sites, en 2015.....	5

Liste des figures

Figure 1. Rendements moyens en grain (kg ha ⁻¹) des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.....	6
Figure 2. Rendements moyens en paille (kg MS ha ⁻¹) aux sites d'Hébertville (Tourneve) et de Saint-Gédéon (Larouche), 2015.	7
Figure 3. Population (plants m ⁻²) de chanvre trois semaines après semis des cultivars Anka (A) et Canma (B), aux quatre sites d'essais, 2015.	8
Figure 4. Ratio longueur de l'épi floral sur la hauteur total du plant de chanvre à la récolte des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.	8
Figure 5. Hauteur (cm) des plants de chanvre à la récolte des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.	9

Projet IA214186

Demandeur : GMA du Saguenay-Lac-St-Jean

Agronome responsable du projet : Audrey Bouchard, agronome, GMA SLSJ

Répondante régionale au MAPAQ : Sara Villeneuve, agronome.

Mise en contexte

Les producteurs de grains des régions périphériques recherchent des cultures alternatives aux petites céréales, afin d'améliorer leur rotation et leur rentabilité. Depuis quelques années, le chanvre industriel semble être une option intéressante dans ces régions, tant pour l'alimentation humaine que pour l'approvisionnement d'un éventuel marché de la fibre. Le chanvre présente cependant des rendements très variables, entre autres attribuables à une levée hétérogène.

La floraison du chanvre étant influencée par la photopériode, il est généralement recommandé d'effectuer un semis lorsque le sol a atteint une température de 8 à 10 °C. Ainsi, la période de croissance végétative serait suffisamment longue, avant l'induction de la floraison, pour contribuer à un rendement élevé en grain et en fibre. Conséquemment, la période visée pour le semis du chanvre industriel en régions périphériques serait vers le début du mois de juin.

Cependant, la période de la levée est la phase la plus délicate de la culture, au cours de laquelle il est possible de mesurer de très grosses pertes de plants causées, entre autre, par l'excès d'eau. Comme les situations d'excès d'eau durant le mois de mai sont fréquentes, cet essai visait, entre autre, à vérifier jusqu'à quel moment il était possible de semer le chanvre industriel, afin d'éviter ces conditions d'excès d'eau printanière, sans toutefois trop réduire la période de croissance végétative pré floraison dont la durée influencerait directement le rendement.

D'autre part, considérant sa sensibilité à la photopériode, est-ce qu'un semis plus hâtif permettrait d'optimiser la croissance végétative et ainsi augmenter le potentiel de rendement en grain et en fibre ?

Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'améliorer la productivité du chanvre industriel et son intégration dans les systèmes culturels du Québec, principalement en région. Plus spécifiquement, déterminer l'effet de différentes dates de semis, en fonction de plusieurs paramètres agronomiques (variabilité génétique, texture du sol, région pédoclimatique) sur la qualité de la levée du chanvre industriel et sa productivité en grain et en paille.

Méthodologie

Dispositif expérimental et traitements

La qualité de la levée et la productivité du chanvre industriel ont été évaluées en fonction de différentes dates de semis (3) et de la variabilité génétique (2), pour un total de six traitements évalués sur deux saisons de croissance, 2014 et 2015, sur quatre sites répartis dans trois régions administratives (Tableau 1).

Tableau 1. Répartition des sites d'essais en fonction des régions administratives et de leur classe texturale de sol, respectives, en 2014 et 2015.

Site	Région	Classe texturale de sol
Hébertville (HBV)	Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ)	Argile
Saint-Gédéon (SGD)	Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ)	Loam
Trois-Pistoles (TPS)	Bas-Saint-Laurent (BSL)	Loam sableux
Cap Chat (CAP)	Gaspésie-îles-de-la-Madeleine (GIM)	Loam sableux

Deux dates de semis de chanvre, 1) hâtif et 2) tardif, ont été comparées à un témoin, soit environ le 5 juin, généralement la date visée par les producteurs. Tout en tenant compte des conditions climatiques et édaphiques, une période de ± 15 jours a été considérée, par rapport au 5 juin (témoin), pour déterminer avec plus de précision les dates hâtive et tardive de semis pour chacune des années (Tableaux 2 et 3). Deux cultivars ont été utilisés pour ce projet, soit Canma et Anka. Le 1er est court, hâtif et favorise le rendement en grain. Le second est plus haut, plus tardif et favorise à la fois le rendement en grain et en fibre.

Pour les deux années, les traitements ont été implantés dans un même champ côte-à-côte, perpendiculaire au sens du gradient. Chacun d'eux présentaient deux largeurs de semoir (12 m) sur 100 m de longueur. À l'intérieur de chacun des traitements trois blocs de 35 m² ont été identifiés pour fins d'échantillonnages.

Le taux de semis visé a été ajusté en fonction du pourcentage de germination et du poids de 1000 grains pour l'obtention d'une population de 150 plants m⁻². La profondeur de semis recommandée était de 1,5 cm. La température du sol à 2,5 cm de profondeur a été prise lors de chaque semis (Tableaux 2). La fertilisation azotée des traitements a été la même à l'intérieur de chacun des sites, mais variable d'un site à l'autre. La fertilisation en P₂O₅ et K₂O a été ajusté selon l'analyse de sol et les recommandations régionales (CRAAQ, 2010).

Prise de données et échantillonnages

La population a été évaluée trois semaines après semis (SAS). Durant la saison, les stades phénologiques ont été suivis de manière bimensuelle. À la récolte, la hauteur des plants (cm), le ratio longueur de l'épi floral sur la hauteur des plants, le sexe ratio (%), le rendement en grains

(kg ha⁻¹) à 10 % d'humidité, le rendement en fibre à 100 % de matière sèche (kg MS ha⁻¹) et le poids de 1000 grains (g), ont été évalués. Dans le cas des rendements en grains et en paille, deux échantillons de 2 m² pour chacun des blocs de 35 m² par traitement ont été envoyés au CÉROM afin d'y être battus. En 2015, les rendements en paille des sites du BSL et de la GIM n'ont pu être évalués, suite à une erreur de manipulation.

Tableau 2. Température du sol (°C) en fonction de chacune des dates de semis de chacun des sites en 2015.

	Semis hâtif		T (°C) au sol	Semis témoin		T (°C) au sol	Semis tardif		T (°C) au sol
Hébertville (HBV)	Anka Canma	03-juin	17	Anka Canma	18-juin	19	Anka Canma	05-juillet	22
Saint-Gédéon (SGD)	Anka Canma	03-juin	19	Anka Canma	18-juin	20	Anka Canma	05-juillet	25
Trois-Pistoles (TPS)	Anka Canma	27-mai	17	Anka Canma	14-juin	27	Anka Canma	7-juillet	-
Cap Chat (CAP)	Anka Canma	15-juin	22	Anka Canma	30-juin	-	Anka Canma	10-juillet	-

Tableau 3. Cumul des précipitations (mm) durant 21 jours suivant la date de semis de chacun des traitements pour chacun des sites, en 2015.

Sites	Semis hâtif	Semis témoin	Semis tardif
Précipitations (mm)			
Hébertville (HBV)*	47	95	86
Saint-Gédéon (SGD)*	47	95	86
Trois-Pistoles (TPS)**	50	79	133
Cap Chat (CAP)***	49	39	53

Source Agrométéo.

*Station météorologique d'Hébertville

**Station météorologique de Saint-Éloi

***Station météorologique de Cap-Chat

Analyses statistiques

En 2014, les données ont été soumises à une comparaison de moyennes appariées. En 2015, les données ont été soumises à une analyse de la variance utilisant la procédure MIXED de SAS (SAS, 2009), où les traitements ont été considérés comme des effets fixes, les blocs et les sites comme des effets aléatoires. Les sites ont été utilisés comme étant des répétitions. Par la suite, des comparaisons de moyennes en se basant sur un LSD protégé à posteriori de Fisher avec un niveau de signification fixé à $p \leq 0,05$, ont été utilisées lorsque des effets significatifs des traitements ont été détectés.

Résultats et discussion

Saison 2015 : Météo

En 2015, les précipitations (mm) mesurées aux trois stations météorologiques d'Environnement Canada, les plus proches des sites d'essais, durant une période de 21 jours suivant les dates de semis de chacun des sites, sont présentées au tableau 3. Suite à la 1^{re} date de semis, environ 50 mm ont été mesurés sur 21 jours. Tandis que les précipitations sont demeurées relativement faibles à CAP pour les deux dates suivantes, elles ont augmenté de 200 % aux sites du SLSJ et de 160 % à TPS, pour la 2^e date de semis. Dans le cas de la 3^e date, une légère baisse a été mesurée pour les deux sites du SLSJ, tandis qu'au site de TPS, l'augmentation fut de 265 % par rapport à la 1^{re} date de semis.

Saison 2015 : Rendements en grain et en paille

En général, pour la saison 2015, les rendements en grain et en paille ont été nettement supérieurs à ceux mesurés en 2014, avec respectivement des moyennes générales de 991 kg ha⁻¹ et de 1920 kg MS ha⁻¹. Considérant que le rendement en grain a varié entre les sites en fonction des cultivars et des dates de semis ($p = 0,0017$), les résultats sont présentés séparément pour chacun des sites, des cultivars et des traitements (Figures 1A et 1B).

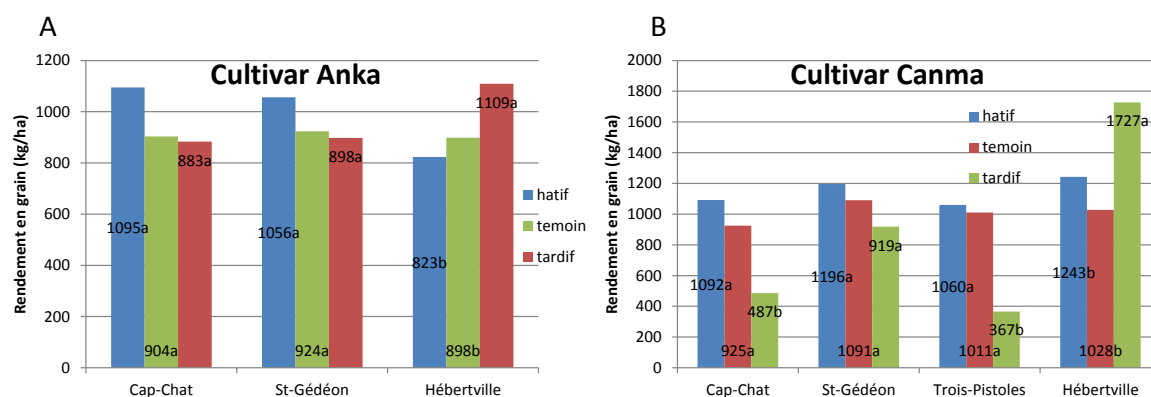


Figure 1. Rendements moyens en grain (kg ha⁻¹) des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.

Les lettres différentes à l'intérieur d'un même site indiquent une différence significative à $p < 0,05$.

Dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ), au site de SGD, aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements et ce, pour chacun des cultivars (Figures 1A et 1B), bien qu'une tendance à la baisse entre les semis hâtif et tardif est perceptible. En 2014, aucune différence significative n'avait été détectée, mais la tendance laissait percevoir une augmentation de rendement du cultivar Anka pour le semis témoin, tandis que le rendement tendait à la baisse pour le cultivar Canma.

Toujours au SLSJ, les cultivars au site d'HBV ont été significativement moins productifs pour les dates de semis hâtive et témoin, lorsque comparées à la date tardive (Figures 1A et 1B). C'est d'ailleurs ce qui avait été observé pour le cultivar Canma en 2014 pour ce même site. Cependant, le cultivar Anka, en 2014, avait été plus productif au semis témoin que les deux autres dates, tel qu'également observé à SGD pour le même cultivar en 2014. Pour ce qui est du rendement en paille (kg MS ha⁻¹) en 2015, il a, tout comme pour le grain, diminué entre le semis hâtif et le semis tardif au site de SGD, tandis qu'il ait demeuré invariable pour le site d'HBV (Figure 2).

Dans la région du BSL, les rendements en grain des deux premières dates de semis ont été similaires à ceux obtenus au SLSJ, mais ceux du semis tardif ont été plus faibles. À TPS, des précipitations totalisant plus de 130 mm ont été mesurés après le 3^e semis (Tableau 3), hypothéquant la croissance de Canma, qui s'est soldé par de faibles rendements en grain (Figure 1B). Pour ce dernier site, les traitements du cultivar Anka ont été abandonnés en cours de saison, fautes d'une trop mauvaise qualité d'implantation. Dans le cas du site de CAP, aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements pour le cultivar Anka, bien qu'une tendance à la baisse soit observable entre la date de semis hâtive et les deux suivantes (Figure 1A). Pour le cultivar Canma de ce même site, la baisse fut, cette-fois, significative entre le semis hâtif et celui tardif (Figure 1B).

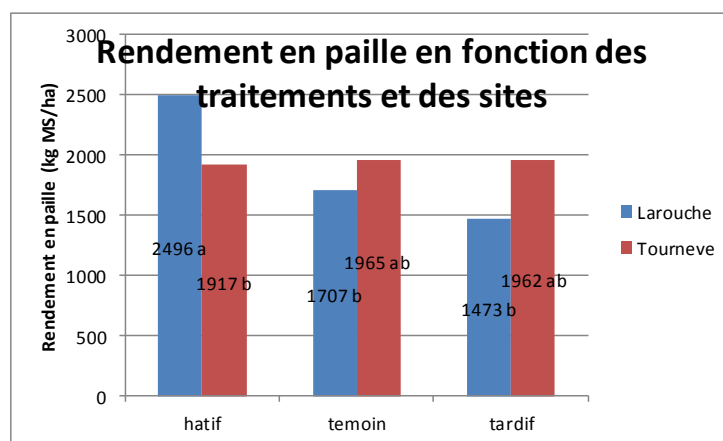


Figure 2. Rendements moyens en paille (kg MS ha⁻¹) aux sites d'Hébertville (Tourneville) et de Saint-Gédéon (Larouche), 2015.

Les lettres différentes, entre les traitements et les sites, indiquent une différence significatives à $p < 0,05$.

Côté cultivars, de plus hauts rendements moyens en paille ont été obtenus avec le cultivar Anka comparé à Canma pour la région du SLSJ, avec respectivement 2219 et 1621 kg MS ha⁻¹. Pour le grain, Canma a mieux performé qu'Anka au SLSJ, avec respectivement 1201 et 951 kg ha⁻¹. Du côté de CAP, une très légère tendance favorise le cultivar Anka, avec une moyenne de 956 kg ha⁻¹, par rapport à Canma avec 834 kg ha⁻¹. Les rendements en grain et en paille ont été nettement plus élevés en 2015 qu'en 2014 dans le cadre de ce projet.

Saison 2015 : Interaction entre la population, la hauteur, le ratio épi floral sur hauteur et la productivité

En général, les populations ont été relativement faibles, avec une moyenne d'environ 80 plants m^{-2} , soit 50 % de la population visée. Également, les plants ont été relativement courts, surtout pour le cultivar Anka, avec une hauteur moyenne de 122 cm, généralement reconnue pour atteindre en moyenne de 220 cm (RPBQ).

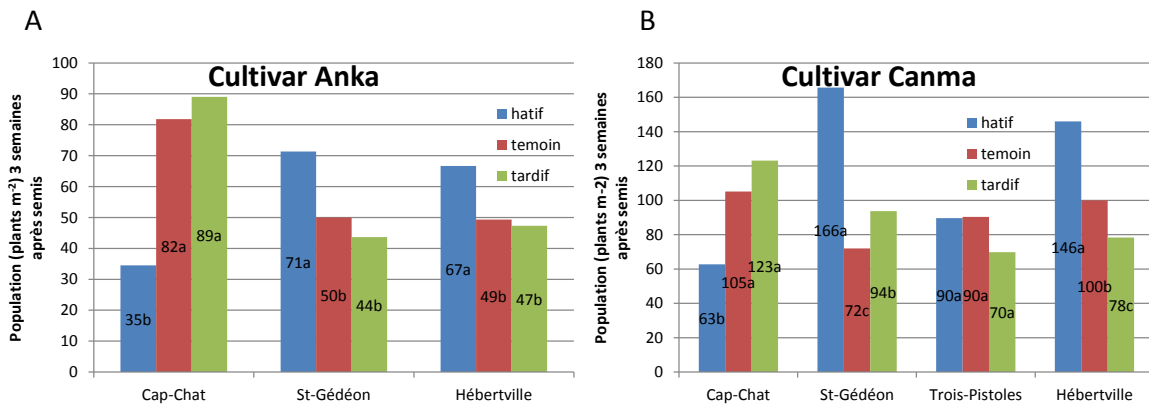


Figure 3. Population (plants m^{-2}) de chanvre trois semaines après semis des cultivars Anka (A) et Canma (B), aux quatre sites d'essais, 2015.
Les lettres différentes à l'intérieur d'un même site indiquent une différence significatives à $p < 0,05$.

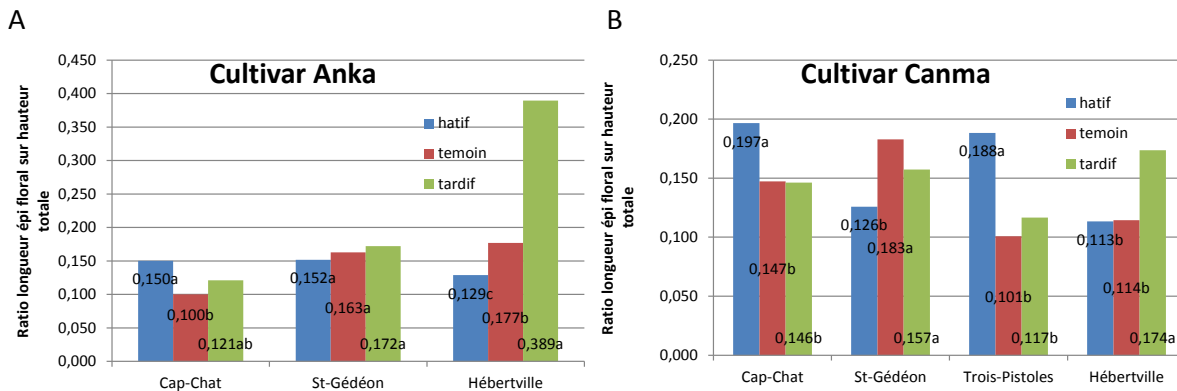


Figure 4. Ratio longueur de l'épi floral sur la hauteur total du plant de chanvre à la récolte des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.
Les lettres différentes à l'intérieur d'un même site indiquent une différence significatives à $p < 0,05$.

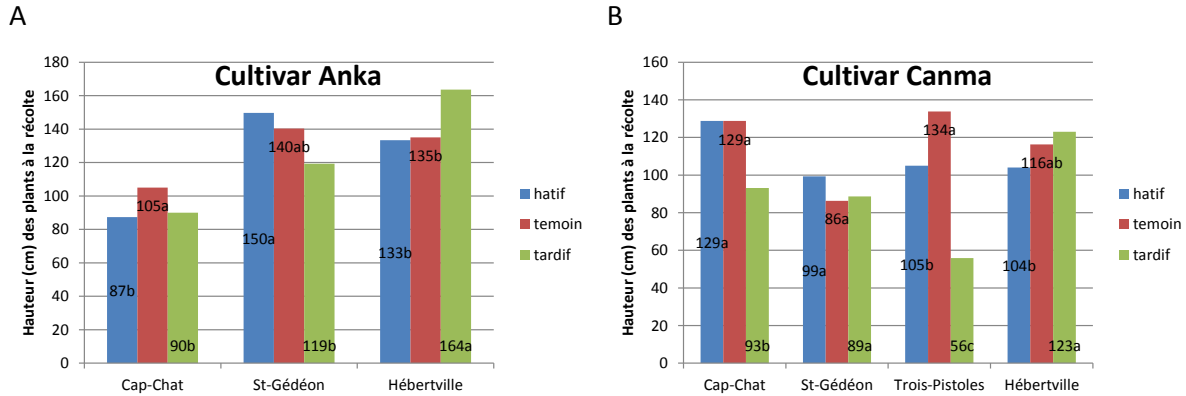


Figure 5. Hauteur (cm) des plants de chanvre à la récolte des cultivars Anka (A) et Canma (B) aux quatre sites d'essais, 2015.

Les lettres différentes à l'intérieur d'un même site indiquent une différence significatives à $p < 0,05$.

Une nette diminution de la population des plants de chanvre, trois semaines après semis entre le semis hâtif et celui tardif, a été observée pour les deux sites du SLSJ (Figures 3A et 3B). Cette baisse de population est expliquée par les importantes précipitations qui ont, soit suivis la levée des plants de chanvre soumis au traitement témoin, soit précédées la levée des plants de chanvre soumis au traitement de semis tardif, en formant une importante croute de battance à chaque fois. En effet, les plantules de chanvre sont très sensibles, jusqu'à l'atteinte du stade 3-4 feuilles, à la battance du sol et à l'accumulation d'eau dans les sols présentant une déficience du drainage de surface (Menasseri-Aubry, 2010; Bouloc, 2006; Renalli, 1999). Le cultivar Canma n'a tendu qu'à diminuer à TPS, tandis qu'à CAP, les populations ont augmenté significativement entre le semis hâtif et celui tardif. Cette augmentation pour les deux cultivars est expliquée par l'augmentation du taux de semis par le producteur et non un effet des conditions de sol en fonction des précipitations.

Une population élevée influence la hauteur des plants, qui sera elle aussi plus élevée, car davantage de compétition pour la lumière (Burczyk et al., 2009; Westerhuis et al., 2008). Comme il y a moins de lumière qui pénètre dans la canopée, chacun des plants produira des grains sur une plus faible proportion de sa tige, surtout concentrée dans le haut de celle-ci. C'est d'ailleurs cette tendance que l'on peut observer à SGD avec les cultivars Anka (Figures 3A, 4A et 5A) et Canma (Figures 3B, 4B et 5B). Tandis que la population et la hauteur baissent avec un semis tardif, le ratio épi floral sur hauteur augmente, ou vice et versa. Toutefois, cette logique ne tient que partiellement à CAP et à HBV et ce, pour les deux cultivars.

D'abord, à CAP, la hauteur diminue avec une augmentation de la population pour le semis tardif (Figures 3A-B, 4A-B et 5A-B), de même que les rendements les plus faibles. À ce site, la saison de croissance est plus courte, et d'autant plus pour le semis tardif réalisé le 10 juillet, la date la plus tardive de tous les sites. Selon Amaducci et coll. (2008), en plus de la photopériode comme facteur influençant l'induction de la floraison du chanvre, les degrés-jours présentent également une importance. La diminution de la photopériode quotidienne combinée à des températures chaudes, la floraison est rapidement induite, réduisant la période de

croissance végétative. De plus, les observations tentent à démontrer que le chanvre semé tardivement a écopé de conditions climatiques plus sèches en 2015 (Tableau 3). Le type de sol à CAP présente une très faible capacité de rétention d'eau, démontrant probablement l'avantage de semer plus hâtivement dans ce type de sol afin de profiter de l'humidité du sol au printemps. Ensemble, ces trois paramètres auraient fortement réduit la productivité du chanvre à CAP.

Ensuite, à HBV, la hauteur augmente avec une diminution de la population. Cette plus grande hauteur s'est traduit de deux manières : d'abord, combinée à un plus haut ratio épi floral sur hauteur (Figures 4A et 4B), elle a permis une augmentation du rendement en grain comparativement au semis hâtif (Figures 1A et 1B); ensuite, elle a compensée la plus faible population des plants, permettant ainsi de conserver un rendement en paille inchangé entre les dates de semis à ce site (Figure 2). Cette dynamique, avec le semis tardif à ce site, a été récurrente pour les deux années du projet. L'hypothèse la plus probante permettant d'expliquer ces résultats, serait le pic de minéralisation du fumier de volaille, appliqué au printemps. Celui-ci semble correspondre à la période de pleine croissance du chanvre semé tardivement. En effet, 50 % de l'azote organique du fumier de volaille (29-18-15, C/N : environ 9 avec 65 % d'efficacité l'an un) qui se minéralise l'année d'épandage, le fait dans les 50 premiers jours suivant l'épandage (Bouthier et al., 2010). Dans le cas de SGD, le pic de minéralisation aurait été plus hâtif, avec une application de lisier de bovin (3,1-1,5-3,4, C/N : environ 15 avec 50 % d'efficacité l'an un) appliqué l'automne précédent. Nous pouvons donc croire que, pour ce site, les semis hâtif et témoin auraient davantage bénéficié de la fertilisation.

Conclusion

L'objectif du présent essai était de déterminer l'effet de différentes dates de semis, en fonction de plusieurs paramètres agronomiques sur la qualité de la levée du chanvre industriel et sa productivité en grain et en paille, afin de permettre aux producteurs de mieux planifier leurs travaux en début de saison selon les conditions de sol et les conditions climatiques. Une des hypothèses de travail étant qu'un semis tardif permet un meilleur établissement de la culture, car effectué après la période printanière de pluies abondantes qui fragilise les plantules, tout en conservant un rendement en grain aussi satisfaisant qu'un semis hâtif.

Selon les résultats obtenus, il serait pertinent, dans certaines conditions, de procéder à un semis tardif du chanvre. En effet, dans un sol possédant une bonne capacité de rétention d'eau et présentant une sensibilité à la formation d'une croûte de battance après une pluie, un semis tardif pourrait être envisagé pour un cultivar hâtif de chanvre, sans trop affecter négativement les rendements en grain et en paille, voir même parfois les augmenter. Une telle pratique pourrait également être planifiée considérant une pression importante de plantes indésirables dans un champ donné. En effet, en agriculture biologique, il arrive occasionnellement que les producteurs doivent détruire leur culture, lorsque celle-ci est mal implantée au printemps, afin de ne pas donner la chance aux plantes indésirables d'atteindre la maturité et ainsi augmenter la taille de la banque de graines dans leur champ. Dans un tel cas, et en respect de la classe

texturale, un semis tardif de chanvre pourrait aussi être envisagé, mais un cultivar hâtif serait à privilégier. La fertilisation azotée devrait toutefois être revue à la baisse dans le cas d'un tel semis tardif, afin de ne pas retarder inutilement la maturation du grain, surtout dans les régions à très courte saison de croissance et présentant des risques hâtifs d'averses de neige. La pratique du semis tardif, même avec un cultivar hâtif, semble inappropriée en sols très légers.

En somme, les résultats des deux années à l'étude tendent à démontrer que, dans un contexte où les conditions de sol sont propices à l'établissement de la culture (absence de coups d'eau, sol avec faible teneur en limon) et où la pression des plantes indésirables est très faible, le chanvre bénéficierait d'être semé hâtivement. Inversement, dans un sol sensible à la battance et / ou avec une bonne pression de plantes indésirables, un semis hâtif du chanvre ne devrait pas être envisagé en production biologique. Une population élevée de plants ne se traduit pas obligatoirement par des rendements élevés en grain.

Collaborateurs

Le GMA du Saguenay-Lac-Saint-Jean souhaite remercier tous les collaborateurs qui ont rendu possible la réalisation de ce projet. D'abord, le centre de recherche sur les grains, le CEROM, plus particulièrement M. Olivier Lalonde, pour son implication scientifique tout au long du projet. Ensuite, le personnel des directions régionales du MAPAQ, du Saguenay-Lac-Saint-Jean et du Bas-Saint-Laurent, pour leur participation active au projet. Également, M. Marc Beaulieu, agronome au GCA Côte-du-Sud pour le suivi des parcelles dans sa région. Enfin, les 5 entreprises agricoles participantes, la Ferme Tournevent inc. (Hébertville), la Ferme Berthold Larouche (Saint-Gédéon), Agrocime (2014-L'Isle Verte), ferme Jean-Marie Lafrance (2015-Trois-Pistole) et la ferme La Terre des Anciens inc. (Cap-Chat).

Ce projet a été réalisé grâce à un appui financier du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du programme Innov'Action.



Références bibliographiques

- Amaducci, S., M. Colauzzi, G. Bellocchi, et G. Venturi. 2008. Modelling post-emergent hemp phenology (*Cannabis sativa* L.): Theory and evaluation. *Europ. J. Agronomy* 28 :90-102.
- Bouloc, P. 2006. Le chanvre industriel - Production et utilisations. Éditions France Agricole. pp. 431.
- Bouthier A., R. Trochard, V. Parnaudeau, et B. Nicolardot. 2010. Cinétique de minéralisation nette de l'azote organique des produits résiduels organiques à court terme in situ et en conditions contrôlées. Aravalis Institut du végétal. <http://www.comifer.asso.fr/images/pdf/poster-bouthier2.pdf>
- Burczyk, H., L. Grabowska, M. Strybe, et W. Konczewicz. 2009. Effect of sowing density and date of harvest on yields of industrial hemp. *J. Nat. Fibers* 6:204-218.
- Menasseri-Aubry, S. 2010. Impact des systèmes de cultures sur la stabilité structurale des sols limoneux en Bretagne. Séminaire du Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures. Agriculture et agroalimentaire Canada. 29 avril 2010.
- Morvan T., B. Nicolardot, et L. Péan. 2006. Biochemical composition and kinetics of C and N mineralization of animal wastes: a typological approach. *Biol. Fert. Soils* 42:513-522.
- Ranalli, P. (Ed.). 1999. *Advances in hemp research*. Food Product Press. The Haworth Press. New York. pp. 2-17.
- Westerhuis, W., S. Amaducci, P.C. Struick, A. Zatta, J.E.G. van Dam, et T.J. Stomph. 2009. Sowing density and harvest time affect fibre content in hemp (*Cannabis sativa*) through their effects on stem weight. *Ann. Appl. Biol.* 155: 225-244.