

Étude de la faisabilité de la culture de l'amarante à graine au Québec

Bruce Gélinas, agr.¹ et Dr. Philippe Séguin²

¹Groupe conseils agricole d'Abitibi-Ouest, 77 2^e rue Est, La Sarre, Québec, J9Z 3G8, Canada.

²Département de Phytologie, Campus Macdonald de l'Université McGill,
2111 Lakeshore Road, Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec, H9X 3V9, Canada.

Pour information: philippe.seguin@mcgill.ca, 514-398-7855.

Mai 2008



Rapport adapté de:

Rapport final soumis à la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec



Travaux de recherche financés par:

Fonds de recherche
sur la nature
et les technologies
Québec



INTRODUCTION

L'amarante à graine regroupe 3 espèces du genre *Amaranthus*: *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* et *A. caudatus*. Les 2 premières ont été domestiquées au Mexique, alors que *A. caudatus* a été domestiquée dans les Andes de l'Amérique du sud. Seulement *A. cruentus* et *A. hypochondriacus* peuvent être cultivés sous nos latitudes nordiques. L'amarante à graine serait la première céréale à avoir été cultivée sur le territoire aujourd'hui occupé par les États-Unis. En effet, selon la datation au carbone 14, les grains les plus anciens trouvés avaient 6 800 ans. À l'arrivée des *conquistadores* espagnols, l'empereur Aztèque collectait toujours, en guise de taxe, pas moins de 200 000 boisseaux d'amarante provenant de 17 provinces de l'empire. La graine était utilisée en alimentation humaine, mais aussi dans des cérémonies religieuses impliquant la consommation de sang humain. Dans le but de réprimer la religion Aztèque, le *conquistador* Cortez décida donc, en 1519, de bannir la culture de l'amarante à graine. En Amérique, la culture de l'amarante à graine a diminué depuis ce temps, sombrant presque dans l'oubli total au début du 20^e siècle. Toutefois, pendant ce temps, la culture a été introduite avec succès en Inde, au Népal, au Pakistan, au Tibet, en Chine, ainsi que dans plusieurs pays Africains. Ceci permit de conserver une grande diversité génétique dans les trois espèces cultivées.

Dans le monde occidental, les travaux de recherche et la "redécouverte" de l'amarante à graine ont été amorcés à la suite de la publication d'un rapport australien démontrant les hauts taux de protéine (14,5%) et de lysine (6,2 g/100 g de protéine) d'*Amaranthus caudatus*. Peu après, le Rodale Research Center (RRC), situé en Pennsylvanie, a amorcé l'assemblage d'une collection de génotypes provenant des différents pays où l'amarante avait été introduite, ainsi que de ses pays d'origine (Mexique, Guatemala, Pérou, etc.). Le RRC a aussi mis sur pied un programme d'amélioration génétique, dans le but d'adapter l'amarante à graine à l'agriculture moderne, ce qui déboucha sur le développement de certains cultivars améliorés, dont 'Montana-3', 'Montana-5' et 'Plainsman'. Aux États-Unis, l'amarante à graine est aujourd'hui cultivée sur environ 1000 hectares, principalement situés au Nébraska.

La graine d'amarante s'utilise dans l'alimentation humaine comme une céréale et peut être incorporée dans divers produits transformés. Des fabricants de céréales à déjeuner et de barres tendres ont déjà commencé à inclure l'amarante dans leurs produits. L'amarante ne contient pas de gluten et figure sur la liste des aliments permis par l'Association canadienne de la maladie cœliaque. Les consommateurs d'amarante sont donc des gens qui recherchent des aliments sains ou des gens atteints par la maladie cœliaque. De plus, la graine contient de la squalène, un composé de haute valeur utilisé par l'industrie cosmétique, et ses grains d'amidons sont très fins et peuvent entrer dans la composition de plusieurs bioproduits, comme les bioplastiques, les agents propulseurs aérosol, les substituts de gras en alimentation, etc.

D'un point de vue agronomique, l'amarante se révèle adaptable à plusieurs conditions climatiques et types de sols. Les plants sont toutefois sensibles au gel. Lorsque la saison de croissance est suffisamment longue, les plants complètent leur cycle de vie et s'assèchent naturellement et peuvent donc être récoltés à l'aide d'une moissonneuse-batteuse. Toutefois, sous nos latitudes nordiques, la récolte mécanisée ne peut se faire que 7-10 jours après le premier gel mortel, qui fait éclater les cellules et permet un séchage suffisant du plant. Les principaux défis liés à l'introduction de la culture de l'amarante à graine au Québec résident donc dans la longueur de la saison de croissance et l'intensité des précipitations automnales.

OBJECTIFS

Notre objectif principal pour ce projet était d'évaluer la faisabilité de la culture de l'amarante à graine sous le climat du sud québécois. Les sous-objectifs étaient les suivants : 1) définir la régie appropriée à notre climat; 2) identifier quelques cultivars adaptés; 3) évaluer le rendement potentiel de la culture. Nous avons également déterminé le taux d'oxalate présent dans les 29 cultivars étudiés, ce qui permettra le développement de cultivars ayant un profil nutritionnel plus bénéfique.

MÉTHODES

Site expérimental

Les expériences en champ ont été menées en 2005 et 2006 au centre de recherche agronomique Emile A. Lods de l'Université McGill, situé à Sainte-Anne-de-Bellevue. Les températures et précipitations moyennes sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Températures et précipitations, pour les 2 saisons de croissances, comparativement aux 30 dernières années^a.

Mois	Températures moyennes, Montréal 1971-2000		2005		2006	
	Température (°C)	Précipitations totales (mm)	Température (°C)	Précipitations totales (mm)	Température (°C)	Précipitations totales (mm)
mai	13.4	76	11.9 (-1.5) ^b	43 (-33)	14.5 (1.1)	173 (97)
juin	18.2	83	21.5 (3.3)	129 (46)	19.2 (1.0)	104 (21)
juillet	20.9	91	22.2 (1.3)	126 (34)	22.6 (1.7)	135 (44)
août	19.6	93	21.7 (2.1)	134 (41)	19.3 (-0.3)	154 (61)
septembre	14.6	93	17.4 (2.8)	113 (20)	15.0 (0.4)	65 (-28)
octobre	8.1	78	10.1 (2.0)	198 (120)	7.9 (-0.2)	179 (101)

^aLes données proviennent d'environnement Canada et ont été recueillies à l'aéroport Pierre-Elliott-Trudeau.

^bÉcart par rapport à la moyenne

1. Évaluation de 29 génotypes

Alors que nous planifions initialement une évaluation de 10 génotypes potentiels, notre recherche auprès du Département américain de l'agriculture (USDA) nous a révélé la disponibilité de plusieurs centaines de génotypes intéressants. Nous en avons sélectionné 30 potentiels, selon des critères de rendement, maturité, et autres caractéristiques agronomiques tels la hauteur des plants et le degré de branchage. La plupart des semences ont été obtenues du USDA, mais certaines ont été obtenues de l'université du Nebraska et d'autres du Amaranth Institute, basé au Missouri. L'évaluation a été menée pendant deux saisons de croissance (2005 et 2006), à raison d'un site par saison. L'expérience comptait 3 répétitions par année. Les plants ont été semés manuellement à cause de la quantité limitée (200) de semences fournies par le USDA. Pour permettre une meilleure observation de chaque plant, ceux-ci ont été éclaircis à un espacement de 20 cm. Les 30 génotypes sont parvenus à maturité, mais l'un d'eux s'est avéré être de type ornemental et présentait peu d'intérêt agronomique. Il a donc été omis en 2006. La récolte a été effectuée manuellement, ce qui permit de calculer l'indice de moisson de chaque génotype.

2. Évaluation de 7 génotypes en parcelle de 4 rangs

Lors de la saison 2005, les cultivars présentant le plus de potentiel ont été identifiés, et sept d'entre eux ont été sélectionnés pour une évaluation plus approfondie lors de la saison 2006. L'amarante à graine étant majoritairement autogame, les semences produites en 2005 ont pu être utilisées pour cette évaluation. Les parcelles étaient formées de 4 rangs espacés de 76 cm et longs de 5 m. Le taux de semis

était de 2 kg ha⁻¹ (graine viable) et la profondeur de semis était de 2,5 cm. Les parcelles ont été semées le 31 mai 2006 et récoltées le 30 octobre. L'expérience a été répliquée sur 2 sites avec chacun quatre blocs.

3. Effets de la date de semis

Une expérience réalisée en « split-plot » avec 4 blocs et répliquée sur trois années-site (2 sites en 2005 et 1 en 2006) a permis d'évaluer les effets de la date de semis (mi-mai, début-juin et mi-juin) et ses interactions avec le géotype (Plainsman, K593 et K432). Les parcelles étaient formées de 4 rangs espacés de 76 cm et longs de 5 m. Le taux de semis était de 2 kg ha⁻¹ (graine viable) et la profondeur de semis était de 2,5 cm.

4. Effets du taux de semis et de l'espacement entre les rangs

Une expérience réalisée en « split-plot » avec 4 blocs et répliquée sur trois années-site (1 sites en 2005 et 2 en 2006) a permis d'évaluer les effets de l'espacement entre les rangs (38, 58 et 76 cm) et du taux de semis (1, 2 et 4 kg ha⁻¹). La profondeur de semis était uniforme à 2,5 cm.

5. Effets de la fertilisation azotée

Une expérience réalisée en « split-plot » avec 4 blocs et répliquée sur trois années-site (2 sites en 2005 et 1 en 2006) a permis d'évaluer les effets de la fertilisation azotée (0, 50, 100, 150 et 200 kg ha⁻¹) et ses interactions avec le géotype (Plainsman et D136). La profondeur de semis était uniforme à 2,5 cm. Dû à une limite de la quantité de semences D136 disponible, le taux de semis adopté était de 1 kg ha⁻¹.

RÉSULTATS

Considérations générales

D'un point de vue climatique, les principales barrières à la culture de l'amarante à graine au Québec sont la durée de la saison de croissance, ainsi que la répartition des précipitations. Sous nos conditions nordiques, la récolte doit se faire environ 7-10 jours après le premier gel automnal, ce qui permet à la plante de bien sécher. Cette période coïncide souvent avec l'arrivée des pluies automnales. Bien que les deux périodes de récoltes de notre étude aient été particulièrement pluvieuses (automne 2005 et 2006, voir table 1), nous avons pu récolter la totalité de nos parcelles à la moissonneuse-batteuse. Il semble donc prudent de conclure qu'en général, la récolte de l'amarante à graine dans le sud-ouest de la province devrait être aisément réalisable. Pour les différentes expériences, les récoltes ont été réalisées entre le 27 octobre et le 7 novembre.

1. Évaluation de 29 géotypes

Les résultats de cette expérience sont présentés dans la table 2. Les taux de verses observés dans cette expérience étaient supérieurs à ceux des autres expériences, où les plants étaient cultivés sous plus haute densité.



29 août 2006. évaluation de 29 génotypes potentiels d'amarante à graine.

Tableau 2. Performances agronomiques de 29 génotypes d'amarante à graine cultivés à Ste-Anne-de-Bellevue en 2005 et 2006.

Génotype ^x	Rendement par plante (g)	Biomasse par plante (g)	Indice de moisson (%)	Protéine brute (%N × 5.85)	Nombre de jour à la floraison	Nombre de branches moyen	Hauteur (cm)	Verse (0-10)
451711	30	164	19.4	14.4	57	6	169	8
477912	28	160	18.5	14.7	62	1	196	9
477913	30	174	18.4	14.1	68	4	196	6
515959	31	175	17.9	12.7	69	3	194	5
525498	24	143	17.6	13.7	64	4	186	10
538255	27	140	21.1	13.5	68	3	190	8
538319	33	155	21.9	13.8	69	6	184	8
538320	26	137	19.7	13.8	62	4	168	3
538321	26	153	17.5	14.6	69	6	177	4
538323	23	110	22.3	16.9	56	12	110	3
538324	22	105	21.7	15.9	56	12	108	3
538325	38	172	22.2	14.7	68	17	158	8
538326	22	106	21.5	14.8	71	13	127	5
538327	16	135	12.3	14.5	79	16	138	3
558499	28	131	22.1	14.0	63	13	143	7
576447	24	134	17.8	16.1	64	21	167	2
604666	23	151	16.0	15.0	75	4	202	8
605354	29	150	19.9	12.5	69	17	179	9
606767	21	127	16.9	14.9	73	1	198	6
606797	31	163	19.6	12.8	65	2	200	7
606799	28	180	16.0	13.7	71	1	217	8
618962	22	130	18.1	14.9	72	18	180	4
619250	23	188	13.2	14.4	68	15	160	7
628780	24	141	17.8	14.6	71	2	206	8
628781	33	174	20.5	13.3	64	2	203	8
628782	26	130	21.7	13.6	64	2	181	8
628783	32	167	20.1	13.3	69	4	201	7
633584	15	148	9.3	14.4	82	15	220	7
Moyenne	27	149	18.6	14.3	67	8	179	6

^xLe génotype réfère au numéro inscrit au programme du département américain de l'agriculture (USDA).

2. Évaluation de 7 génotypes en parcelles de 4 rangs

Les résultats de cette expérience sont présentés dans la table 3. Les faibles rendements observés dans cette expérience sont probablement dus à la forte pression des mauvaises herbes observés dans les champs utilisés et à l'ajustement inadéquat de l'équipement de désherbage mécanique.



Novembre 2005. récolte à l'aide d'une moissonneuse-batteuse expérimentale.

Tableau 3. Performances agronomiques de 7 génotypes d'amarante à graine cultivés en parcelle de quatre rangs à Sainte-Anne-de-Bellevue, Qc, Canada.

Génotype	Descriptif commun	Rendement (kg grain ha ⁻¹)	Taux d'humidité à la récolte (%)	Nombre de jous à la floraison	Nombre de branches	Hauteur moyenne (cm)	Verse (0-5)	Population (1000 plants ha ⁻¹)
PI 558499	Plainsman ^z	801	28.1	63.0	0	143	0.8	553
PI 515959	Montana-3	720	25.7	65.8	0	153	0.9	704
PI 538325	K593	641	23.8	69.3	0.6	146	0.9	449
PI 538326	D70-1	979	25.3	68.5	0.5	143	0.8	577
PI 604666	RRC 1027	432	25.4	68.4	0	168	2.0	458
PI 605354	R-158	466	25.2	63.3	0	156	2.1	465
PI 636182	RRC 1386	503	28.1	64.2	0	168	1.6	612
	Moyenne	649.0	25.8	66.1	0.2	154.5	1.3	545.5
	Étendue	432 — 979	23.8 — 28.1	63.0 — 69.3	0 — 0.6	143 — 168	0.8 — 2.1	458 — 704
	PPDS _{0.05} ^y	132.9	1.28	1.43	0.44	13.44	0.83	182.1

^z'Plainsman' a été considéré comme contrôle dans le test statistique Dunnett à cause qu'il est le cultivar le plus cultivé aux États-Unis. Les chiffres en gras diffèrent significativement ($P < 0.05$) de 'Plainsman'.

^yPlus petite différence significative ($P=0.05$).

3. Effets de la date de semis

Les résultats de cette expérience sont présentés dans le tableau 4. Même si l'effet de la date de semis sur le rendement n'a été observé que sur un des trois sites expérimentaux, l'effet sur le taux d'humidité a été constant, ainsi que l'effet sur la verse. Il semble donc évident qu'une date de semis hâtive soit à privilégier. La plus grande intensité de verse pour les semis tardif peut probablement s'expliquer par la croissance très rapide de ces plants. En effet, aucune différence significative n'a pu être observée quant à la hauteur finale des plants. Le semis doit être réalisé après les risques de gels printaniers, lorsque le sol est suffisamment réchauffé, mais contient encore suffisamment d'humidité. De plus, puisque la semence est de petite taille, le semis doit être superficiel. Conséquemment, la période idéale pour le semis est assez courte.

Tableau 4. Effets de la date de semis sur l'amarante à graine cultivée à Sainte-Anne-de-Bellevue, Qc, Canada, en 2005 et 2006.

Environnement	Date de semis	Rendement grainier	Taux d'humidité	Hauteur moyenne	Verse	Nombre de branches	Nombre de jours à la floraison
		kg ha ⁻¹	%	cm	0 to 5‡	plant ⁻¹	jours
Site A 2005	mi-mai	661	31.0 b	124	0.2 c	5.0 b	71.1 a
	Début juin	643	30.7 b	117	0.9 b	2.8 b	61.9 b
	mi-juin	638	34.1 a	129	4.5 a	8.6 a	53.2 c
Site B 2005	mi-mai	820	19.8 b	135	0.4 b	4.3	67.9 a
	Début juin	964	18.8 b	126	0.8 b	2.2	60.1 b
	mi-juin	844	22.4 a	131	2.8 a	3.8	50.2 c
Site A 2006	mi-mai	1398 a	22.8 c	134	0.4 b	7.6	67.5 a
	Début juin	1007 ab	27.4 b	138	2.0 a	13.1	61.8 b
	mi-juin	933 b	28.8 a	132	1.5 a	8.9	56.8 c

† Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne pour une source de variation donnée suivi de lettres différentes sont statistiquement différentes les unes des autres ($P \leq 0.05$).

‡ 0 indique une absence de verse et 5 indique une verse totale.

4. Effets du taux de semis et de l'espacement entre les rangs

Aucun effet majeur du taux de semis et de l'espacement entre les rangs n'a été observé. Le seul effet observé a été une très faible – quoique statistiquement significative – baisse du taux d'humidité avec des rangs plus étroits. Ceci peut probablement s'expliquer par un plus grand espacement entre les plants sur le rang ce qui accélère le séchage.

5. Effets de la fertilisation azotée

Les résultats de cette expérience sont présentés dans le tableau 5. Quoiqu'en analysant les résultats façon combinée, la fertilisation azotée n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement grainier, en analysant les résultats site par site, on a pu remarquer un effet remarqué pour un site en 2006. L'effet était alors linéaire, les rendements passant d'environ 900 kg ha⁻¹ sans ajout de fertilisant azoté, à environ 1100 kg ha⁻¹ avec 200 kg N ha⁻¹. Pour l'ensemble des sites, il y eu une augmentation significative du taux d'humidité dans les graines avec une fertilisation azotée plus importante, ce qui risque d'affecter les coûts de productions. Puisque l'amarante à graine doit être entreposée à un taux d'humidité autour de 10%, les bénéfices dus à des augmentations potentielles de rendements grâce à la fertilisation azotés pourraient donc être contrecarrés par des coûts supérieurs de séchage.

Tableau 5. Effets de la fertilisation azotée et du génotype sur l'amarante à graine cultivée à Sainte-Anne-de-Bellevue, Qc, Canada, en 2005 (2 sites) et 2006 (1 site).

Source de variation	Rendement grainier	Taux d'humidité des grains	Hauteur moyenne	Verse	Nombre de branches	Nombre de jours à la floraison
	kg ha ⁻¹	%	cm	0 to 5‡	plant ⁻¹	jours
Environment						
Site A 2005	1111 a	31.1 b	132 b	0.4	3.8 b	69.8 ab
Site B 2005	796 b	35.3 a	138 ab	0.0	3.0 b	69.3 b
Site A 2006	1039 a	28.4 c	156 a	0.4	7.0 a	70.9 a
Taux d'azote						
0	957	31.0 b	130 b	0.1	3.8	71.0
50	976	31.2 ab	138 ab	0.1	3.8	69.8
100	946	31.5 ab	145 a	0.2	4.3	69.8
150	1027	31.8 ab	149 a	0.2	5.1	69.4
200	1004	32.3 a	148 a	0.6	5.8	69.9
Cultivar						
D136	984	32.6	144	0.1	6.7	76.7 a
Plainsman	980	30.6	140	0.4	2.4	63.3 b
ANOVA						
Environment (E)	***	***	*	*	**	**
Taux d'azote (N)	NS	*	**	NS	NS	NS
N × E	*	NS	NS	*	*	NS
Génotype (G)	NS	NS	NS	NS	NS	**
G × E	***	**	NS	**	***	**
G × N	NS	NS	NS	NS	NS	NS
G × N × E	*	NS	NS	NS	NS	NS

† Les moyennes à l'intérieur d'une même colonne pour une source de variation donnée suivi de lettres différentes sont statistiquement différentes les unes des autres ($P \leq 0.05$).

‡ 0 indique une absence de verse et 5 indique une verse totale

*, **, *** Significatif aux niveaux probabilistiques 0.05, 0.01 et 0.001 respectivement.



Premier novembre 2006, jour de récolte. Sous nos latitudes, les parcelles expérimentales d'amarante à graine sont prêtes pour la récolte environ 10 jours après le premier gel mortel.

CONCLUSIONS

Des points de vue climatique et pédologique, la culture de l'amarante à graine dans le sud-ouest de la province est vraisemblablement réalisable. Aussi, comme la majorité de nos parcelles ont été semées, sarclées et récoltées de façon mécanique, nous confirmons que tout comme aux États-Unis, l'amarante à graine peut être cultivée de façon mécanisée sous nos conditions. Nous avons d'ailleurs développé une certaine expertise en ce domaine, qui pourrait être transférée à d'autres intervenants du milieu. Avec 2 années de données, nous avons pu remarquer que 'Plainsman', K433, D70-1 et K432 sont des génotypes prometteurs. Toutefois, les rendements obtenus (autour d'une tonne à l'hectare) ne semblent pas suffisant pour une introduction immédiate de la culture. Étant donné le potentiel physiologique de la plante (de physiologie C4) et compte tenu du développement des marchés qui s'opère actuellement, il semble réaliste d'affirmer qu'un programme d'amélioration génétique pourrait contribuer à relativement court terme à rendre la production d'amarante à graine au Québec économiquement viable.

Cette étude sur l'amarante à graine a fait l'objet de 3 publications scientifiques. Ce rapport est donc un résumé de différentes études. Pour plus de détails, veuillez vous référer aux publications suivantes :

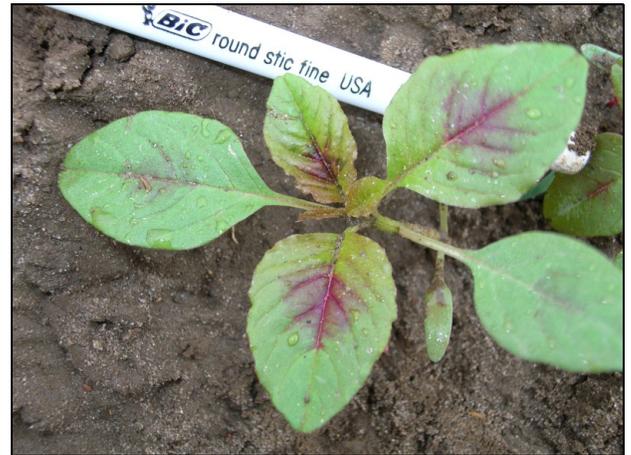
- Gélinas, B. et Philippe Seguin (2007). Oxalate in grain amaranth. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4789.
- Gélinas, B. et Philippe Seguin (2008). Development and yield potential of grain amaranth in southwestern Québec. *Revue canadienne de phytotechnie* 88 : 133-136.
- Gélinas, B. et Philippe Seguin (2008). Evaluation of management practices for grain amaranth production in eastern Canada. *Agronomy Journal*, vol 100: 344-351.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier particulièrement la *Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec* ainsi que le *Fond Québécois de recherche sur la nature et les technologies* pour leur appui financier.



Graines d'amarante à la sortie de la moissonneuse-batteuse. 27 octobre 2005.



Jusqu'à une hauteur d'environ 15 cm, la croissance de l'amarante est assez lente, pour ensuite devenir extrêmement rapide. Plant semé le 20 mai 2005, photo prise le 15 juin 2005.



Deuxième sarclage dans les parcelles de test de fertilisation azotée, 4 juillet 2005.



Du à la petitesse de la semence, les plantules sont aussi très petites. Plants semés le 30 juin 2006, photo prise le 12 juillet.



Les champs d'amarante en floraison en septembre ne manquent jamais d'attirer l'attention des passants. 6 septembre 2005



La verse est parfois un problème important dans l'amarante à graine. Un semis hâtif permet de prévenir la verse. Sur cette photo, des plants semés le 30 juin 2005 (gauche) et d'autres semés le 20 mai (droite). 27 octobre 2005