



Centre de recherche, de développement et de transfert technologique acéricole inc.

Siège social et station expérimentale
142, rang Lainesse
Saint-Norbert d'Arthabaska, QC
G0P 1B0
Téléphone : 819-369-4000
Télécopieur : 819-369-9589

Rapport final

Vers la formulation de nouvelles normes d'entailage
pour conserver la production acéricole à long terme

Volet B : détermination du nombre d'entailles par
arbre

Par: Yvon Grenier, ing. f., M. Sc.

Collaborateurs : Julien Lavoie
Guy Boudreault

Résumé

Ce rapport présente principalement les résultats du volet « B » du projet général visant à formuler de nouvelles normes d'entailage pour conserver la production acéricole à long terme, mais nous le mettons aussi en relation avec le volet « A » qui s'intéressait à vérifier si les érables à sucre du Québec avaient une croissance diamétrale suffisante pour compenser le compartimentage en regard des normes actuelles d'entailage.

Il appert qu'il est inutile de faire plus de deux entailles par année sur un arbre, puisque les principales différences observées se situent surtout entre une et deux entailles par arbre. La deuxième entaille ne génère jamais autant de rendement que la première et elle ne devrait être faite que sur les arbres qui sont assez gros pour supporter telle pratique. La taille de ces arbres varie selon les régions.

Les normes actuelles d'entailage au Québec ne permettent pas de supporter une production acéricole optimale. Le DHP minimum de 20 cm pour porter une entaille est trop bas et amène des baisses de rendements à moyen terme. Le DHP minimum de 40 cm pour porter deux entailles est possible, mais ne devrait être permis que dans les régions où la croissance diamétrale moyenne égale ou dépasse 2,9 mm par année. Dans certaines régions où la croissance dépasse 3,7 mm par année, on pourrait même faire deux entailles sur des arbres ayant un DHP de 33 cm. Finalement, même si les arbres sont très gros, l'ajout d'une quatrième ou même d'une troisième entaille n'est pas justifié.

ACÉRIER

Table des matières

Résumé	i
Table des matières.....	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iv
1 Problématique	1
2 Matériel et méthodes.....	5
3 Résultats	7
3.1 La coulée	7
3.2 Le degré Brix	7
3.3 La production de sirop	12
3.3.1 Comparaison entre les systèmes de récolte	12
3.3.2 Production de sirop par entaille.....	12
3.3.2.1 Production de sirop par entaille par classe de DHP	14
3.3.2.2 Production de sirop par entaille par nombre d'entailles	14
3.3.3 Production de sirop par arbre.....	17
3.3.3.1 Production de sirop par arbre par classe de DHP	17
3.3.3.2 Production de sirop par arbre par nombre d'entailles	17
4 Discussion et relation avec le projet concernant le bois sain	24
5 Conclusion.....	25
6 Références citées	26

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre maximal d'entailles permis pour des érables de différents diamètres mesurés en cm à 1,3 mètre de hauteur au-dessus du sol (DHP)	4
Tableau 2. Moyennes et écarts types des DHP par groupe	5
Tableau 3. Analyse de variance de la production partielle de sirop par entaille sous gravité pour 2007 et 2008	12
Tableau 4. Analyse de variance de la production partielle de sirop par entaille sous vide pour 2007 et 2008	12
Tableau 5. Analyse de variance de la production totale de sirop par arbre sous gravité pour 2007 et 2008	17
Tableau 6. Analyse de variance de la production totale de sirop par arbre sous vide pour 2007 et 2008	17
Tableau 7. DHP initial minimum permettant de faire deux entailles par année sur un arbre dont on a entaillé toute la circonférence lors de la première série et qui peut être de nouveau entaillé dans du bois sain pour une deuxième série par sous-région écologique	24
Annexe. Régie d'entailage d'un érable d'un DHP initial de 40 cm croissant dans la sous-région écologique 1a-T entaillé avec deux entailles de 7,9 mm de diamètre et 63 mm de profondeur par année	27

Liste des figures

Figure 1. Schémas présentant la forme développée du bois coloré comme réaction à l'entaillage.....	1
Figure 2. Schéma présentant un érable ayant 20 cm de DHP au début du cycle d'entaillage et entaillé à la même hauteur pendant 19 ans	2
Figure 3. Schéma présentant le compartimentage résultant de 19 années d'entaillage (vue partielle).....	3
Figure 4. Rendement annuel moyen en fonction du nombre d'entailles par arbre (Morrow, 1963)	4
Figure 5. Mesures du Brix au réfractomètre avec différentes concentrations de Quatal	6
Figure 6. Coulée par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre pour 2007 et 2008.....	8
Figure 7. Coulée pour le système de récolte sous vide selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008.....	9
Figure 8. Coulée pour le système de récolte à gravité selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008.....	10
Figure 9. Brix moyen par entaille selon le système de récolte pour 2007 et 2008.....	11
Figure 10. Production totale de sirop par arbre selon le système de récolte pour 2007 et 2008.....	13
Figure 11. Production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et la classe de DHP pour 2007 et 2008.....	15
Figure 12. Production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008.....	16
Figure 13. Production totale de sirop par arbre selon la classe de DHP et le système de récolte pour 2007 et 2008.....	19
Figure 14. Production de sirop par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre pour 2007 et 2008.....	20
Figure 15. Production de sirop pour le système de récolte sous vide selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008.....	21
Figure 16. Production de sirop pour le système de récolte à gravité selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008.....	22
Figure 17. Production totale de sirop par arbre selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008.....	23

1 PROBLÉMATIQUE

La production acéricole occupe une part importante de l'économie québécoise avec la participation de plus de 7000 producteurs générant des chiffres d'affaire allant de 136M\$ (2007) à 160M\$ (2005) par année. Avec des productions variant entre 62 et 74 millions de livres de sirop d'érable livrées entre 2005 et 2007, la part québécoise représente plus de 85% de la production mondiale (Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois, 2008), 90% de la production canadienne, et elle est vendue dans plus de 40 pays différents (Fédération des producteurs acéricoles du Québec, 2005a; 2005b; 2006; 2007). Cette production est réalisée à la fois sur des terres privées et sur des terres publiques.

La méthode d'exploitation est passée depuis environ 40 ans du mode artisanal au mode industriel. Le principal changement apporté a été le remplacement du système de récolte de l'eau d'érable de façon gravitaire (seaux fixés aux arbres) par l'utilisation d'un système de récolte sous vide partiel, communément appelé Sysvac (tubulure). Toutefois, nous n'avons pas examiné toutes les répercussions que le changement du mode de récolte pouvait avoir sur la ressource exploitée.

Un phénomène insidieux, mais non moins important de la production acéricole, est le compartimentage, aussi désigné par formation de bois coloré. Il est reconnu depuis quelques décennies comme une réponse physiologique naturelle et incontournable chez les arbres entaillés pour la production de sirop d'érable. L'arbre entaillé réagit en produisant des substances chimiques pour contrer l'infiltration d'air et des microorganismes (Houston *et al.*, 1990). Le bois coloré est indétectable et toute entaille fraîche en contact avec du bois compartimenté aura un rendement diminué, voire nul (Allard *et al.*, 1997). Le bois coloré s'étire verticalement dans le tronc. Il prend une forme géométrique apparentée à deux coins superposés avec un angle droit au fond, dont la largeur déborde le diamètre de l'entaille sur environ 2 mm de chaque côté. Sur la longueur, elle se distribue également au dessus et au dessous de l'entaille et est proportionnelle au diamètre de la blessure. La profondeur est maximale à proximité de l'entaille et diminue progressivement à mesure qu'on s'en éloigne. La longueur de la zone improductive serait d'environ 40 à 50 cm de part et d'autre de l'entaille (Houston *et al.*, 1990). La figure 1 présente un schéma de la description précédente.

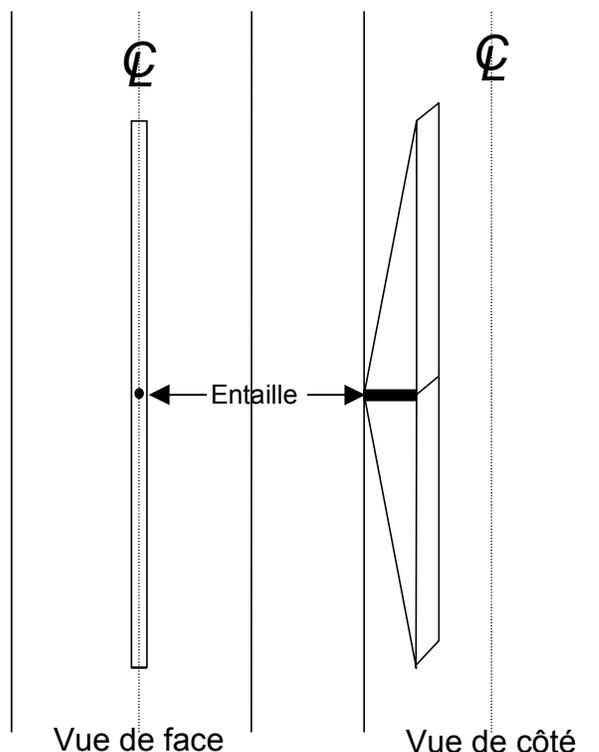


Figure 1. Schémas présentant la forme développée du bois coloré comme réaction à l'entaille

La figure 2 présente le schéma d'une série d'entailles qui seraient toutes faites exactement à la même hauteur. Cet érable a un diamètre (DHP) de 20 cm lors de la première entaille et croît à raison de 1 mm en rayon par année pendant 20 ans. La profondeur des entailles est de 63 mm et leur diamètre de 11 mm. De façon à tenir compte du compartimentage latéral, le schéma présente une zone compartimentée de 15 mm de largeur. Les chiffres 1 à 19 représentent les années où sont faites les entailles. Les coins intérieurs de chaque zone de compartimentage se touchent, ce qui équivaut à maximiser le potentiel d'entailage. On constate que la 19^e année est la dernière où l'entailage pourra être réalisé dans du bois sain. Il est à noter que ce schéma ne tient pas compte de la fusion qui peut se faire entre deux entailles, ce qui ne ferait qu'empirer la situation. Si on veut continuer d'exploiter cet arbre tout en obtenant le maximum de rendement, il faut aller à un niveau supérieur (ou inférieur) à une distance minimale de 80 cm du premier niveau (Figure 3). (Cela suppose qu'on croit qu'il faille garder au moins 40 cm pour permettre le développement de bois coloré sous l'entaille du deuxième niveau).

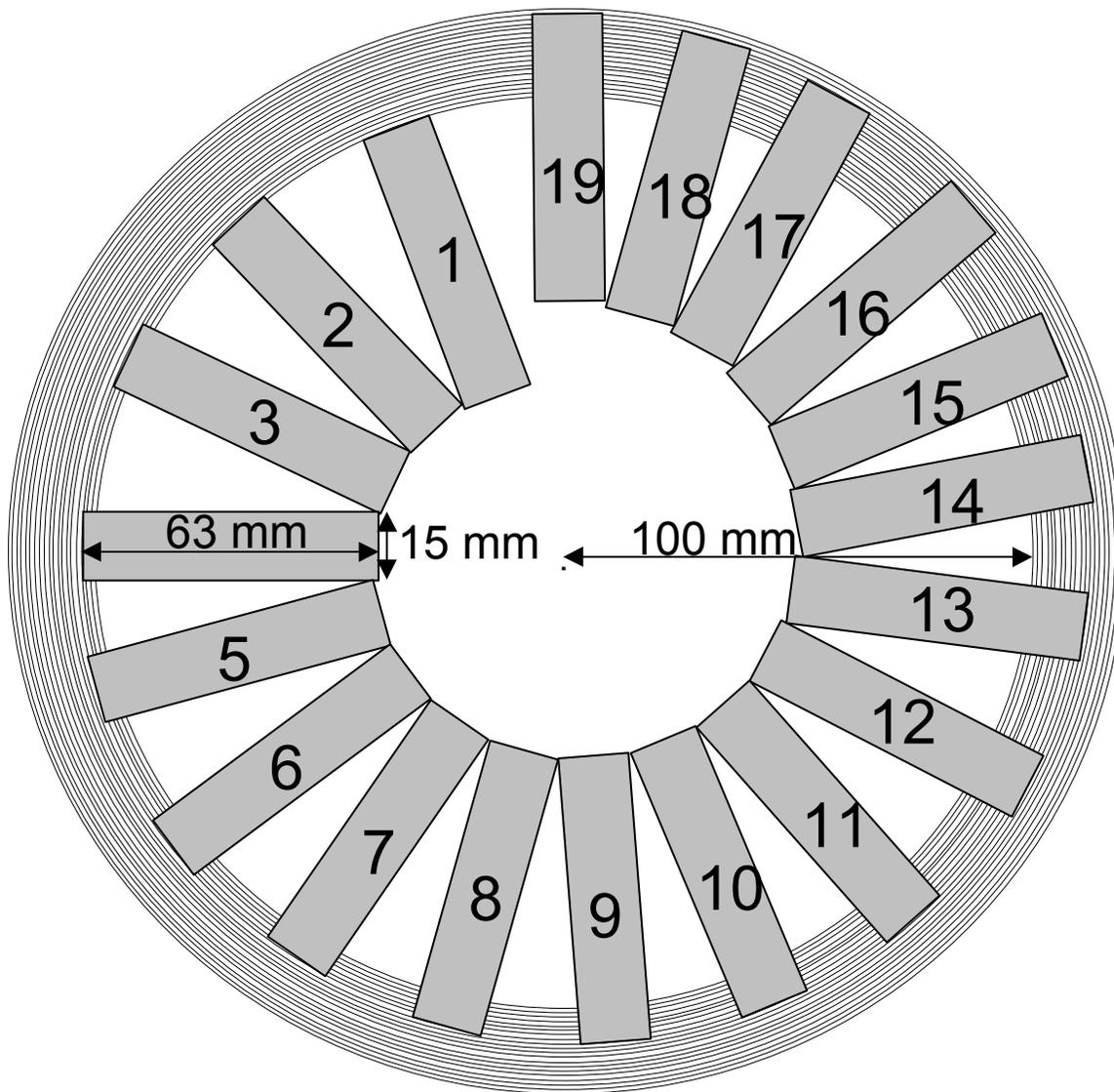


Figure 2. Schéma présentant un érable ayant 20 cm de DHP au début du cycle d'entailage et entaillé à la même hauteur pendant 19 ans

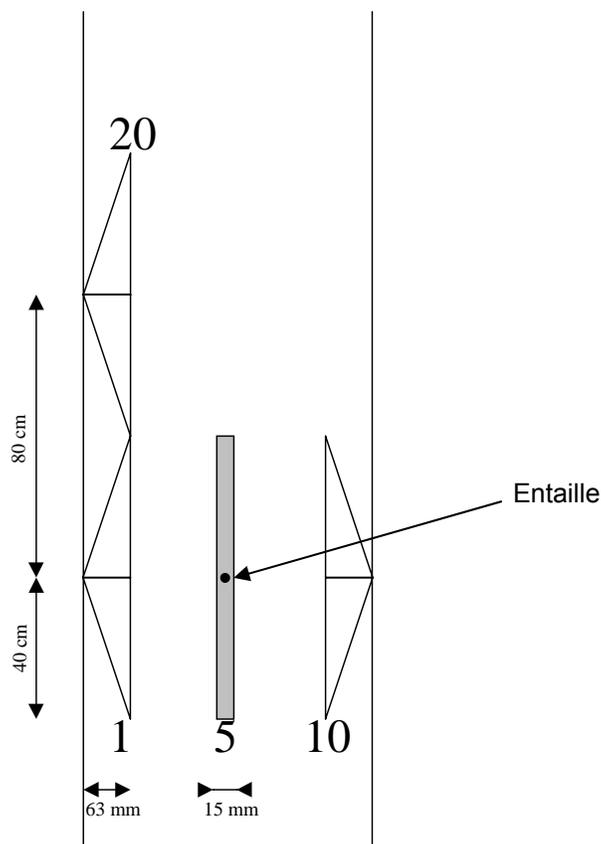


Figure 3. Schéma présentant le compartimentage résultant de 19 années d'entaillage (vue partielle)

L'utilisation de niveaux inférieur ou supérieur est d'application concrète difficile. Pour le niveau inférieur, les acériculteurs sont limités par la présence de la couche de neige. Pour le niveau supérieur, son atteinte est difficile, sauf si on envisageait l'entaillage avec une échelle. On semble donc condamné à ne pouvoir exploiter qu'un seul niveau.

Le tableau 1 présente les normes d'entaillage actuellement en vigueur accompagnées de celles de nos voisins. Il est vraisemblable que ces normes étaient le fruit d'intuition ou de consensus parmi les acériculteurs plutôt que le résultat de procédures expérimentales. Toutefois, au début des années 1950, Morrow (1963) a étudié le nombre d'entailles que pouvait porter un érable destiné à la production acéricole. Un résumé de ses expériences, menées pendant deux à sept ans dans quatre érablières, est présenté à la figure 4. On y voit que le rendement total en sève récoltée augmente avec le nombre d'entailles pratiquées sur un arbre, mais que cette augmentation ne double ou ne triple pas si le nombre d'entailles porté à deux ou à trois. Par contre, il est raisonnable de penser que le volume de bois compartimenté sera vraisemblablement doublé ou triplé.

Avec l'avènement du Sysvac, on peut s'attendre à ce que les productions soient augmentées et on peut aussi supposer que ce mode d'exploitation ne génèrera pas plus de compartimentage. Toutefois, on ignore si l'ajout d'entailles supplémentaires produira plus de sirop. On doit maintenant vérifier si les tendances observées avec le système à gravité se maintiennent ou se modifient, à la hausse ou à la baisse, lorsqu'on change de système d'exploitation.

Le projet proposé visait à procéder à des essais d'entaillage sur le terrain pendant deux ans pour comparer les rendements atteignables avec deux systèmes d'exploitation (récolte avec mise sous vide et récolte sous force gravitaire) et aussi comparer les rendements obtenus en faisant une, deux, trois ou quatre entailles sur le même arbre, et ce pour cinq classes de diamètre. Nous vérifierons ainsi la pertinence d'ajouter des entailles sur un arbre compte tenu du compartimentage supplémentaire occasionné par cette pratique. Ce faisant, nous vérifierons si les normes d'entaillage sont encore d'actualité.

Tableau 1. Nombre maximal d'entailles permis pour des érables de différents diamètres mesurés en cm à 1,3 mètre de hauteur au-dessus du sol (DHP)

Nombre d'entailles	Willits (1958)	Winch et Morrow (1962)	Houston <i>et al.</i> (1990)	Chapeskie, <i>et al.</i> (2007)	Gouvernement du Nouveau-Brunswick (1987)	CPVQ (1983) et Gouvernement du Québec (2004)
0	< 25	< 25	< 30	< 25	< 23	< 20
1	26 à 36	26 à 43	31 à 44	25 à 36	23 à 35	20 à 39
2	37 à 48	44 à 61	> 45	37 à 49	35 à 45	40 à 59
3	49 à 61	62 à 79		> 50	> 45	60 à 79
4	> 62	> 80				> 80

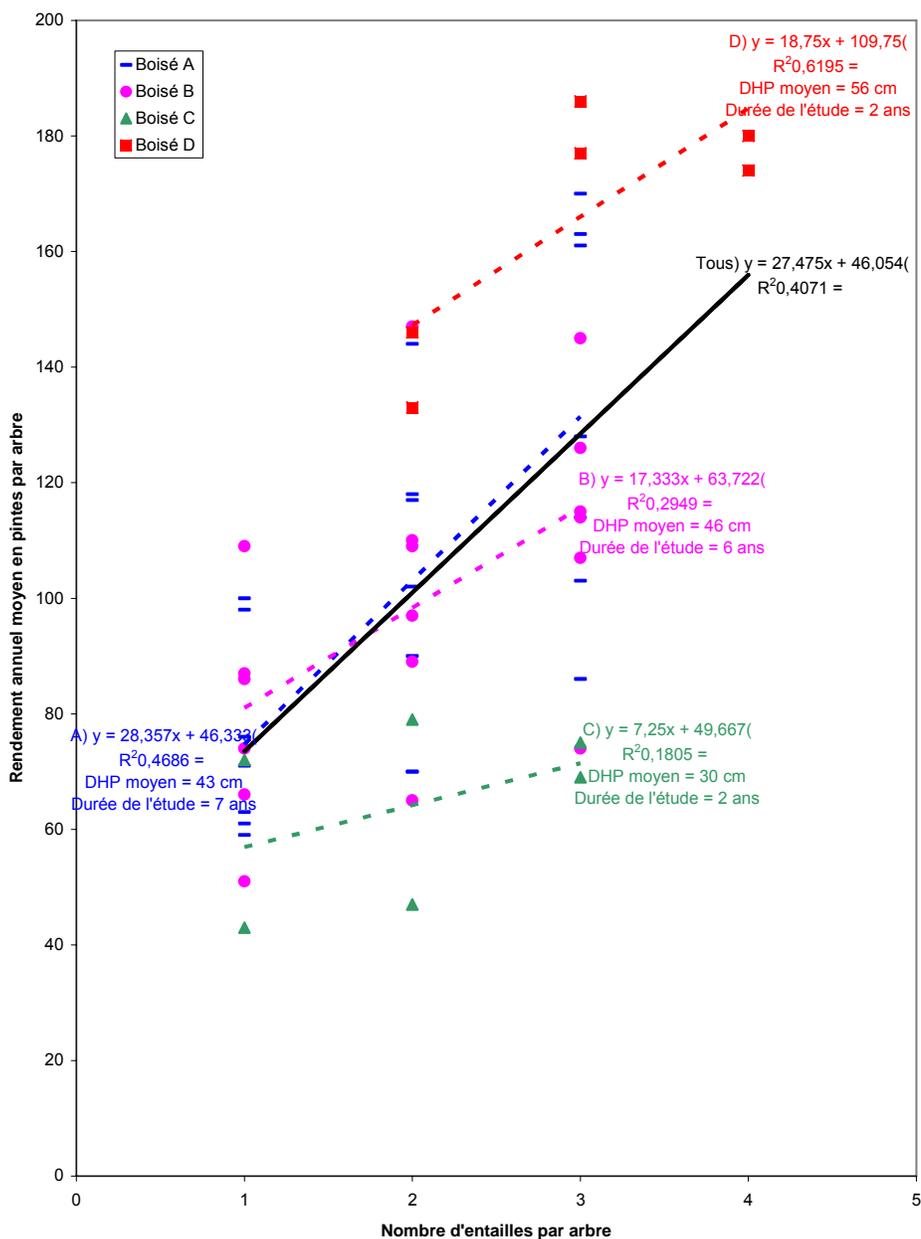


Figure 4. Rendement annuel moyen en fonction du nombre d'entailles par arbre (Morrow, 1963)

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons mené cette expérience à la station expérimentale du Centre Acer à St-Norbert d'Arthabaska au cours des printemps 2007 et 2008. Il s'agissait d'un dispositif factoriel complet impliquant deux facteurs, soit le mode de récolte (Vide (-20" Hg) ou Gravité) et le nombre d'entailles par arbre (1, 2, 3 ou 4). Comme covariable, nous avons cinq classes de diamètre (25, 35, 45, 55 et 65 cm). La classe 25 comprend les arbres mesurant entre 20 et 29 cm de DHP, la classe 35 ceux mesurant entre 30 et 39 cm de DHP, etc. Nous avons cinq arbres par répétition, soit un total de 200 arbres. Le tableau 2 présente les DHP moyens et les écarts types de chaque groupe (N = 20).

Tableau 2. Moyennes et écarts types des DHP par groupe

Classe de DHP (cm)	Mode de récolte	
	Gravité	Vide
25	24,8 ± 1,3	25,0 ± 1,4
35	35,1 ± 0,9	34,8 ± 0,8
45	45,5 ± 0,8	45,0 ± 1,3
55	54,4 ± 1,3	54,9 ± 1,3
65	65,0 ± 3,0	63,3 ± 2,7

Puisque l'érablière expérimentale de St-Norbert a un long passé d'entailage et que nous ne possédons pas tous les détails sur chaque arbre, il est vraisemblable, voire certain, que tous les érables utilisés dans notre projet ont déjà été entaillés, d'où la présence quasi certaine de bois coloré dans la zone normale d'entailage. Afin d'être sûr de percer dans du bois sain, nous avons retenu 2,5 m comme hauteur d'entailage. Nos observations ont d'ailleurs confirmé l'absence de trous d'entailage à cette hauteur. Toutes les entailles avaient 50 mm de profondeur et 7,5 mm de diamètre.

Comme récipient de collecte de l'eau d'érable, nous avons 500 barils de 145 L pour autant d'entailles, dont la moitié a été mis sous vide. Nous avons pesé tous les barils vides en début de saison. Nous avons déposé dans chacun d'eux, en novembre 2006 et novembre 2007, une quantité déterminée de Quatal (liquide désinfectant à base de glutaraldéhyde et d'ammonium quaternaire destiné à empêcher la fermentation de l'eau d'érable dans les barils).

Nous avons entaillés tous les arbres au printemps de chaque année et avons noté l'angle des entailles (par rapport au nord géographique). En 2007, l'entailage était terminé le 11 mars, alors qu'en 2008, c'était le 27 février. Dès l'entaille percée, nous lui avons installé un chalumeau de plastique et une chute de quelque 2 m de longueur. Nous avons relié chaque chute à un baril, qui était mis sous vide ou non. Nous avons réglé la pompe à vide pour qu'elle se mette en marche automatiquement si la température passait au dessus du point de congélation. Nous avons recueilli l'eau d'érable entre le 11 mars et le 19 avril 2007 et entre le 15 mars et le 21 avril 2008. Les derniers jours de coulée de chaque année, nous avons coupé toutes les chutes. Il est arrivé, en cours de récolte, que certains barils risquaient de déborder. Pour ceux-là, nous avons soutiré et pesé tout le volume d'eau par une valve installée à la mi-hauteur de chaque baril et avons mesuré le degré Brix avec un réfractomètre.

Nous n'avons fabriqué aucun sirop avec l'eau d'érable recueillie. La production de sirop est le résultat du produit mathématique du volume d'eau recueillie multiplié par sa concentration. Elle est calculée avec la formule suivante :

$$\text{Quantité de sirop} = [(\text{Poids de l'eau recueillie} * \text{°Brix de l'eau d'érable}) / (66 * 1,3248)]$$

La présence de Quatal dans la solution d'eau d'érable fausse les données de deux façons, soit en volume et en concentration. Pour calculer le poids net d'eau d'érable recueilli, il suffit de soustraire du poids total la quantité connue de Quatal ajouté. Pour les concentrations, nous avons calibré une courbe de concentration, telle que présentée à la figure 5. Nous avons mis quelques gouttes de Quatal « pur » (c'est-à-dire tel qu'extrait du contenant dans lequel il nous a été livré) sur un réfractomètre et avons eu une lecture de 19,8 comme Brix. Puis, nous avons dilué le Quatal par dix, avons repris une lecture au réfractomètre, puis dilué à nouveau la solution

quatre autre fois jusqu'à obtenir une solution à environ 1%. La régression linéaire tirée de cet essai a donné un R^2 de près de 1 et elle passe par l'origine.

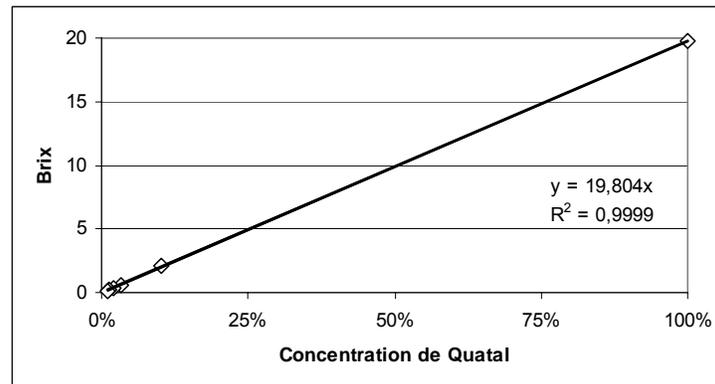


Figure 5. Mesures du Brix au réfractomètre avec différentes concentrations de Quatal

Pour calculer le degré Brix, dit « corrigé », provenant de la seule contribution de l'eau d'érable, nous avons appliqué la formule suivante :

$$\text{Brix corrigé} = \text{Brix lu} - \left[\frac{\text{Quantité de Quatal ajouté} \times 0,001 \times 19,804}{\text{Poids total}} \right]$$

où : Brix lu est la lecture telle que prise au réfractomètre; et
Poids total est le poids de l'eau d'érable recueillie et le poids du Quatal ajouté.

Comme présenté auparavant, il est arrivé que les barils risquaient de déborder. Afin de ne pas perdre d'eau, nous avons vidangé les barils de tout ce qui dépassait la moitié de leur contenu potentiel, soit environ 73 L. Ce faisant, la quantité de Quatal diminue à chaque vidange et il faut en tenir compte lors du calcul du Brix, soit lors de récolte partielle, soit à la dernière récolte. La quantité de Quatal retiré est calculée comme suit :

$$\text{Quatal retiré} = \left[\frac{\text{Poids de la solution soutirée} \times \text{Quantité de Quatal initiale}}{72,6 + \text{Poids de la solution soutirée}} \right]$$

La quantité de Quatal résiduel diminuant à chaque vidange est calculée à chaque fois et le degré Brix de l'eau d'érable de la récolte totale est une moyenne pondérée.

Finalement, les analyses statistiques ont été faites avec Excel-Stat et SAS.

3 RÉSULTATS

Puisque nous avons deux variables réponses, soit la coulée et le degré Brix, et que leur produit donne la production calculée de sirop, nous présentons les résultats dans cet ordre. Toutefois, nous avons concentré nos analyses statistiques sur la production de sirop, puisque c'est la variable la plus intéressante dans une étude comme celle-ci.

3.1 LA COULÉE

La figure 6 présente la coulée totale par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre. On constate que le rendement en eau d'érable est meilleur avec le système sous vide qu'avec le système gravitaire et que le rendement augmente avec les classes de DHP. Dès maintenant, on peut constater que le rendement n'augmente pas proportionnellement avec le nombre d'entailles, mais semble plutôt plafonner assez rapidement. En effet, si on peut déceler que les arbres exploités avec deux entailles donnent plus d'eau que ceux avec une seule entaille, on remarque aussi que ce rendement est loin d'être le double.

Les figures 7 et 8 reprennent essentiellement les données présentées à la figure 6 pour le mode de récolte sous vide et sous gravité respectivement, mais pour examiner les rendements de chaque entaille. Dans cette figure, et dans les autres semblables, le nombre d'entailles par arbre apparaît en abscisse et les regroupements de bâtonnets représentent une, deux, trois et quatre entailles par arbre respectivement. Le premier bâtonnet de chaque groupe représente le meilleur rendement du groupe, suivi du deuxième, troisième et quatrième. Le dernier bâtonnet du groupe représente le rendement total pour toutes les entailles. Toutes les barres d'erreurs sont les écarts types calculés sur chaque moyenne. On constate que l'ajout d'entailles amène peu de rendement supplémentaire et que le plafond semble atteint avec deux entailles par arbre, quelque soit la classe de DHP. À mesure qu'on augmente le nombre d'entailles sur un arbre, le rendement par entaille diminue.

3.2 LE DEGRÉ BRUX

La figure 9 présente les moyennes des degrés Brix pour les deux modes de récolte et pour chaque année. Les barres d'erreurs sont les intervalles de confiance à 95%. En 2007, le degré Brix moyen de la récolte sous vide était de 2,0%, alors que celui de la récolte sous gravité était de 2,2%. Un test d'Anova a révélé que cette différence était significative ($F_{1,493} = 29,267$; $Pr > F < 0,0001$). En 2008, le degré Brix moyen de la récolte sous vide était de 2,3%, alors que celui de la récolte sous gravité était de 2,7%. Un test d'Anova a révélé que cette différence était significative ($F_{1,498} = 76,289$; $Pr > F < 0,0001$).

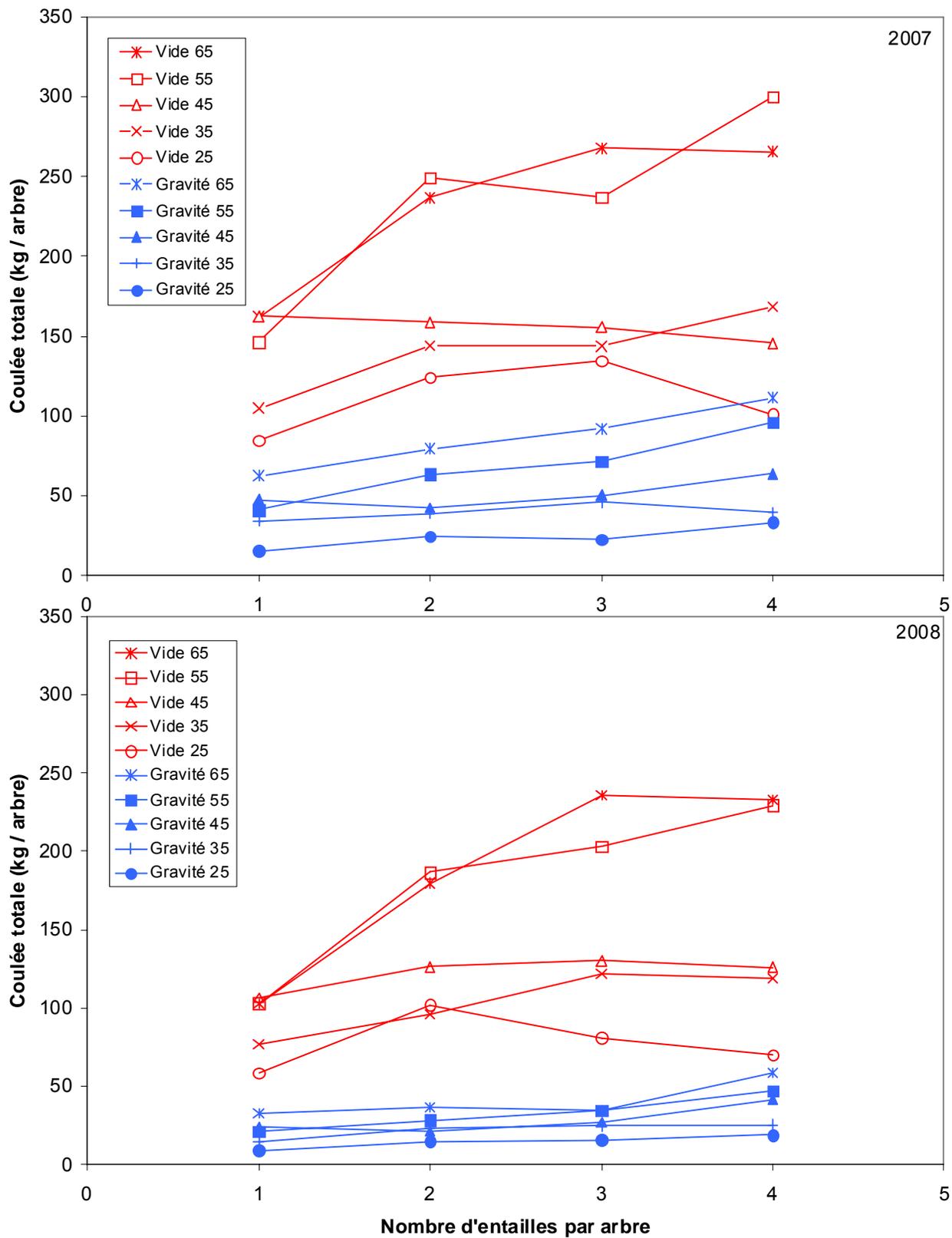


Figure 6. Coulée par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre pour 2007 et 2008

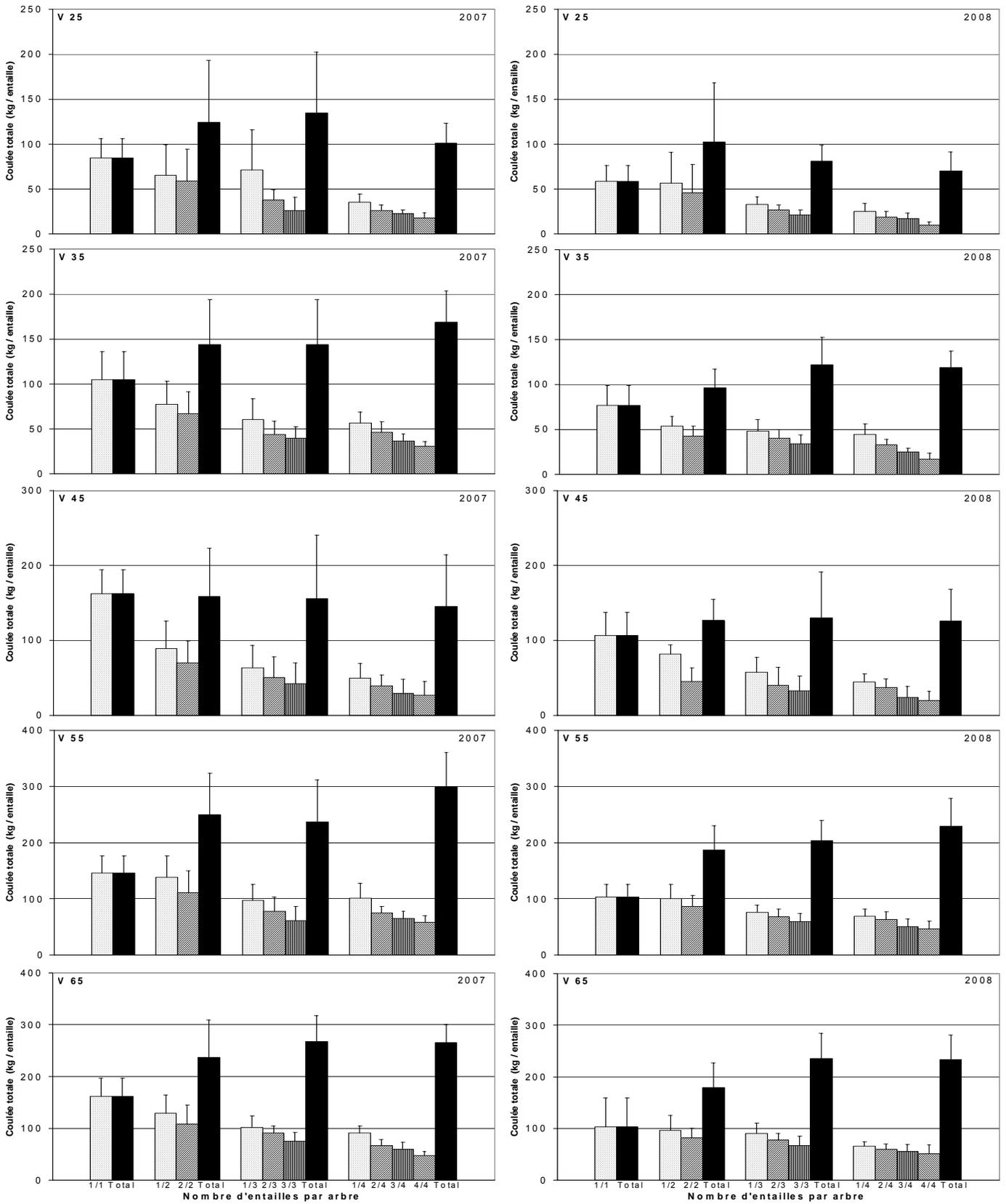


Figure 7. Coulée pour le système de récolte sous vide selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008

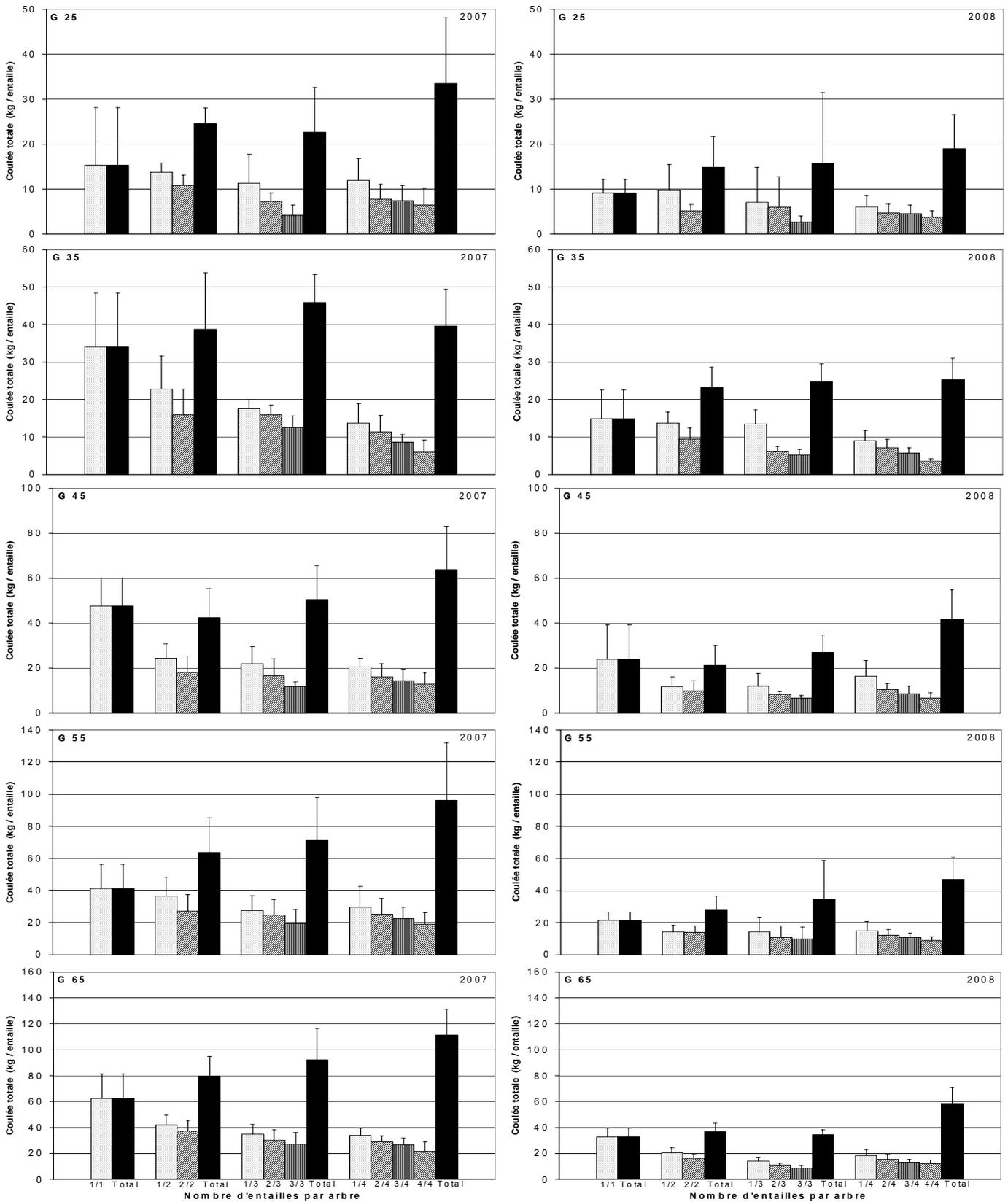


Figure 8. Coulée pour le système de récolte à gravité selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008

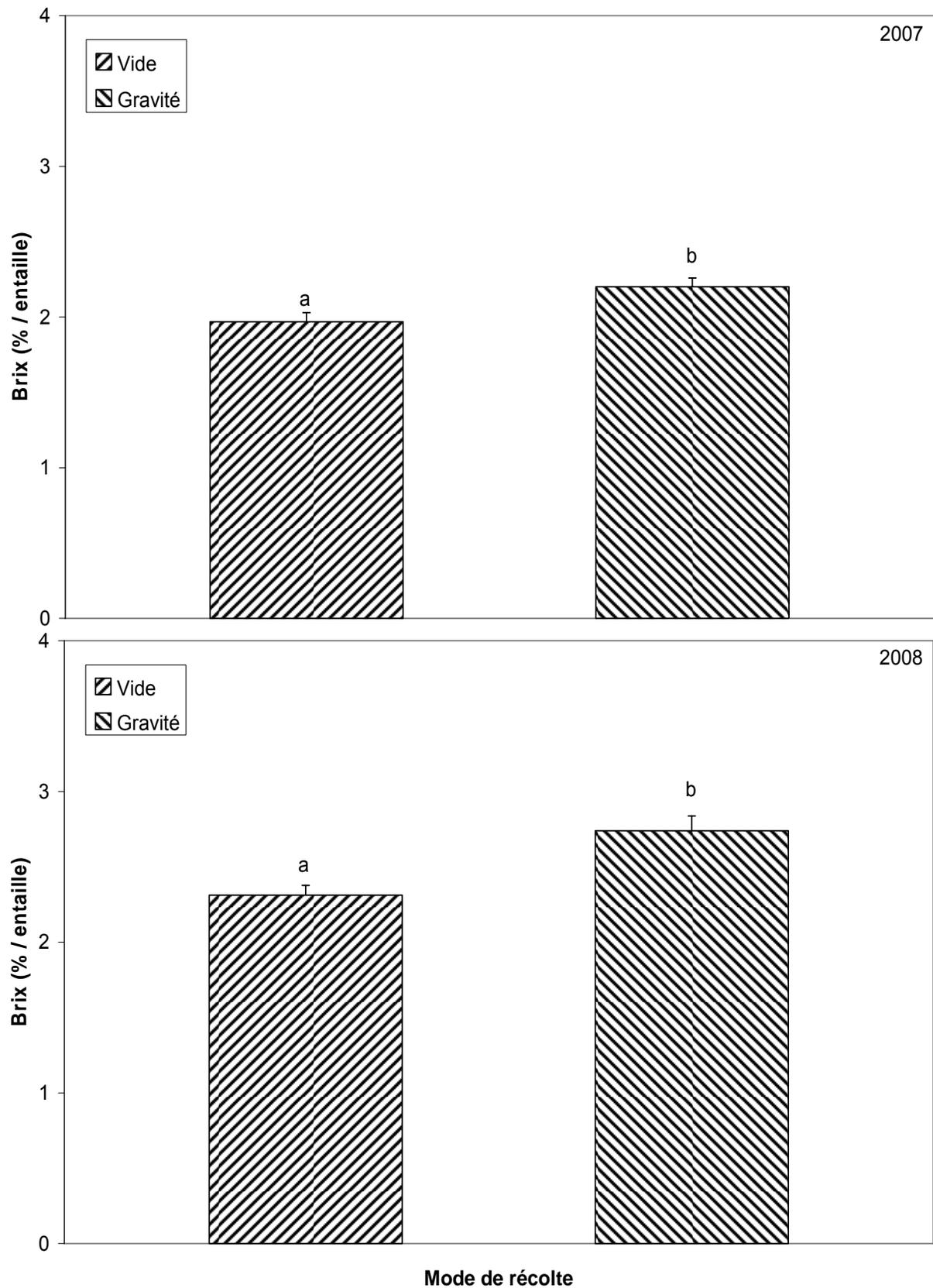


Figure 9. Brix moyen par entaille selon le système de récolte pour 2007 et 2008

3.3 LA PRODUCTION DE SIROP

La production de sirop est d'abord examinée en regard des systèmes de récolte, puis des classes de DHP et finalement en relation du nombre d'entailles par arbre.

3.3.1 Comparaison entre les systèmes de récolte

La figure 10 présente les moyennes des productions totales de sirop par arbre pour les deux modes de récolte et pour chaque année. Les barres d'erreurs sont les intervalles de confiance à 95%. En 2007, la production totale de sirop de la récolte sous vide était de 4,072 L par arbre, alors que celle de la récolte sous gravité était de 1,416 L. Un test d'Anova a révélé que cette différence était significative ($F_{1,197} = 140,410$; $Pr > F < 0,0001$). En 2008, la production totale de sirop de la récolte sous vide était de 3,568 L par arbre, alors que celle de la récolte sous gravité était de 0,861 L. Un test d'Anova a révélé que cette différence était significative ($F_{1,198} = 181,079$; $Pr > F < 0,0001$). Le système de récolte sous vide produit en moyenne 3,5 fois plus de sirop que le système gravitaire. Cette observation va dans le sens de ce que Wilmot *et al.* (2007) ont rapporté lorsque le vide appliqué était de l'ordre de -20" Hg.

3.3.2 Production de sirop par entaille

Les tableaux 3 et 4 présentent les résultats des analyses de variance faites sur la racine carrée de la variable dépendante pour 2007 et sur le logarithme de la variable dépendante pour 2008 pour la production partielle de sirop par entaille sous gravité et sous vide respectivement. Les transformations effectuées étaient nécessaires pour assurer le respect de normalité et d'homogénéité de la variance des résidus.

L'interaction entre les classes de DHP et le nombre d'entailles n'est pas significative pour la production sous gravité ($Pr > F = 0,2266$ en 2007 et $Pr > F = 0,9763$ en 2008), ni pour la production sous vide ($Pr > F = 0,1707$ en 2007 et $Pr > F = 0,3622$ en 2008). Ceci implique que l'effet de la classe de DHP ne varie pas selon le nombre d'entailles et vice-versa. On peut donc étudier seulement les effets simples. Ainsi, pour comparer les classes de DHP, on utilise les moyennes par classe pour tous les nombres d'entailles. De même, pour comparer l'effet du nombre d'entailles, on utilise les moyennes par entaille pour toutes les classes de DHP combinées.

Tableau 3. Analyse de variance de la production partielle de sirop par entaille sous gravité pour 2007 et 2008

Source	2007			Source	2008		
	NDL	F	Pr > F		NDL	F	Pr > F
Classe de DHP	4	32,49	< 0,0001	Classe de DHP	4	32,76	< 0,0001
Nombre d'entailles	3	19,62	< 0,0001	Nombre d'entailles	3	20,27	< 0,0001
Interaction	12	1,32	0,2266	Interaction	12	0,35	0,9763

Tableau 4. Analyse de variance de la production partielle de sirop par entaille sous vide pour 2007 et 2008

Source	2007			Source	2008		
	NDL	F	Pr > F		NDL	F	Pr > F
Classe de DHP	4	34,38	< 0,0001	Classe de DHP	4	40,32	< 0,0001
Nombre d'entailles	3	54,08	< 0,0001	Nombre d'entailles	3	30,40	< 0,0001
Interaction	12	1,43	0,1707	Interaction	12	1,11	0,3622

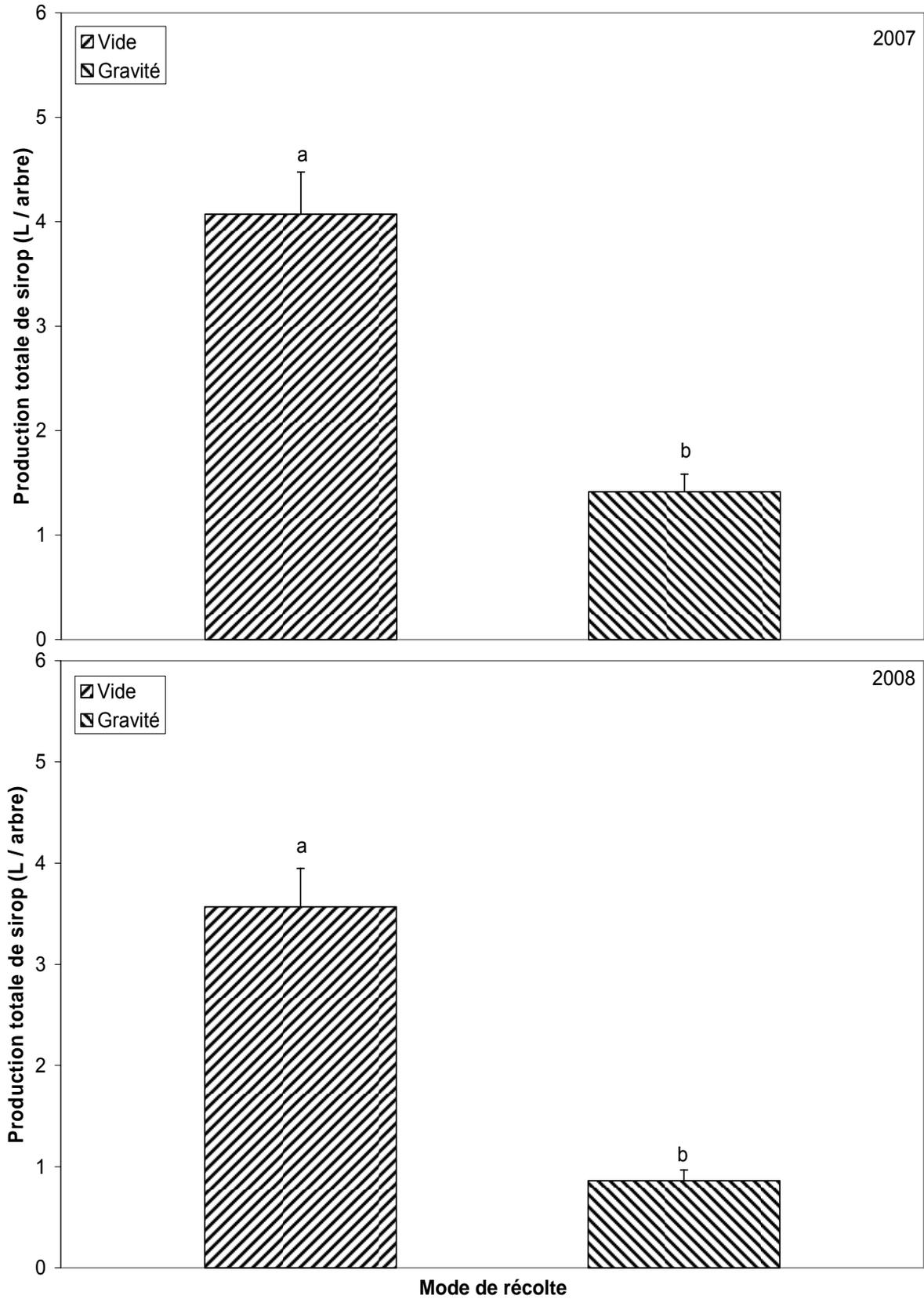


Figure 10. Production totale de sirop par arbre selon le système de récolte pour 2007 et 2008

3.3.2.1 Production de sirop par entaille par classe de DHP

La figure 11 présente la production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et la classe de DHP pour 2007 et 2008. Les deux années présentent les mêmes tendances. La production partielle de sirop par entaille augmente à mesure que le DHP augmente. Elle passe de 0,993 L par entaille pour la classe de DHP de 25 cm à 2,860 L par entaille pour celle de 65 cm en 2007 pour le système de récolte sous vide et de 0,800 à 2,347 L par entaille en 2008. Pour le système de récolte sous gravité, ces valeurs sont de 0,247 à 1,102 L par entaille en 2007 et 0,163 à 0,635 L par entaille en 2008. Les moyennes sont indiquées par la longueur des bâtonnets et les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. Des lettres différentes pour chaque année indiquent que les rendements sont significativement différents entre eux lorsque les données sont soumises à un test de classement de Tukey avec une valeur $\alpha = 0,05$.

3.3.2.2 Production de sirop par entaille par nombre d'entailles

La figure 12 présente la production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008. Les deux années présentent les mêmes tendances. La production partielle de sirop par entaille est toujours la meilleure lorsqu'une seule entaille est impliquée sur un arbre et cette production à l'entaille décroît à mesure que le nombre d'entaille augmente. Les moyennes sont indiquées par la longueur des bâtonnets et les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. Des lettres différentes pour chaque année indiquent que les rendements sont significativement différents entre eux lorsque les données sont soumises à un test de classement de Tukey avec une valeur $\alpha = 0,05$.

En 2007 pour le système de récolte sous vide, les rendements partiels sont de 3,346, 2,179, 1,402 et 1,087 L par entaille pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Ces différences de rendement sont significativement différentes pour une, deux et trois entailles, mais ne le sont pas lorsqu'on a trois ou quatre entailles par arbre. Au sujet de la production partielle de sirop sous gravité, les rendements partiels sont de 1,051, 0,685, 0,494 et 0,440 L par entaille pour une, deux, trois ou quatre entailles respectivement. Ici, les rendements partiels impliquant une ou deux entailles sont significativement différents, mais les différences entre deux, trois ou quatre entailles ne sont pas toutes significatives.

En 2008 pour le système de récolte sous vide, les rendements partiels sont de 2,339, 1,872, 1,339 et 1,042 L par entaille pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Les différences de rendement ne sont pas significativement différentes pour une et deux entailles, mais elles le sont lorsqu'on a deux, trois ou quatre entailles par arbre. Au sujet de la production partielle de sirop sous gravité, les rendements partiels sont de 0,617, 0,398, 0,268 et 0,307 L par entaille pour une, deux, trois ou quatre entailles respectivement. Ici, les rendements partiels impliquant une, deux ou trois entailles sont significativement différents, mais les différences entre trois ou quatre entailles ne sont pas significatives.

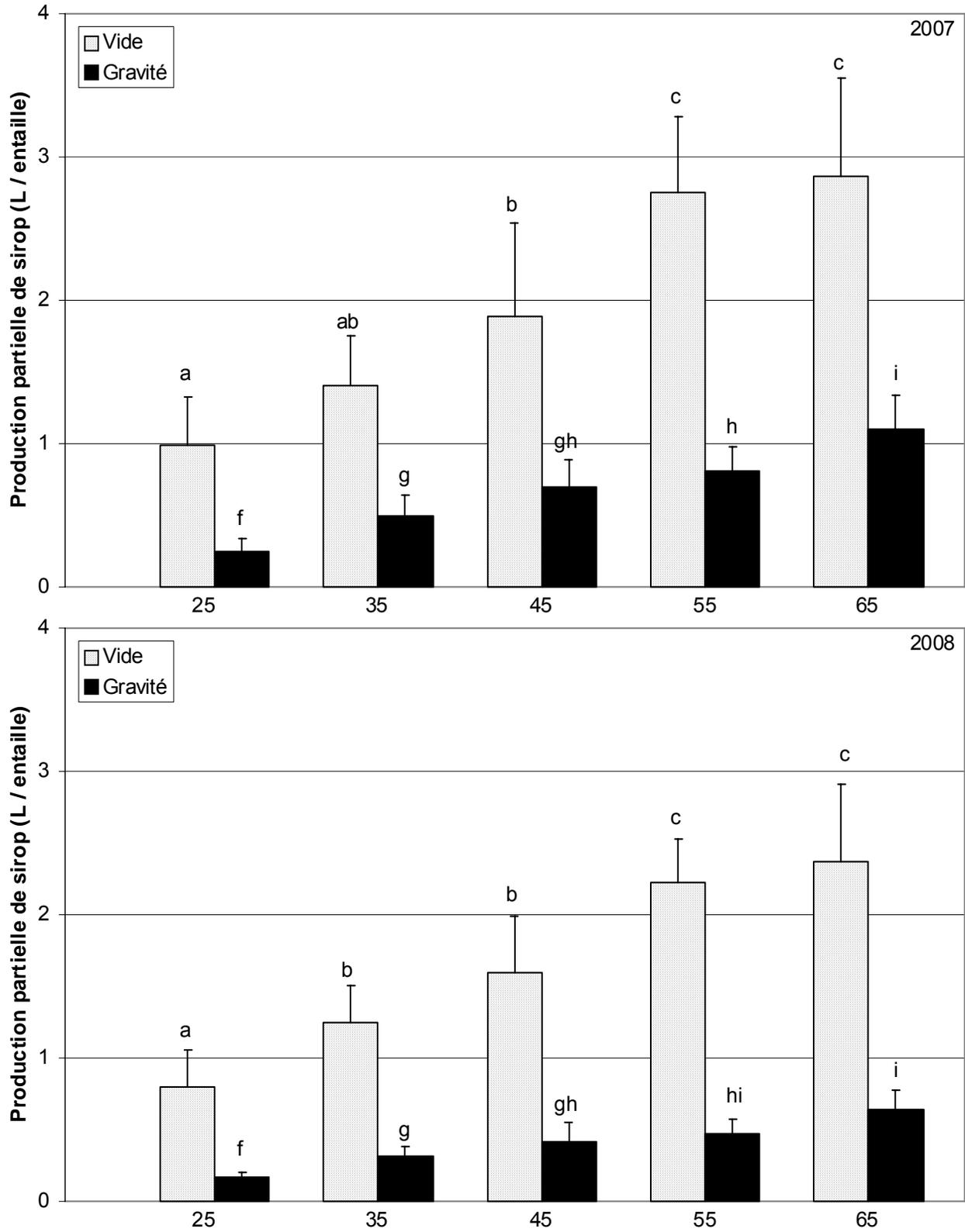


Figure 11. Production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et la classe de DHP pour 2007 et 2008

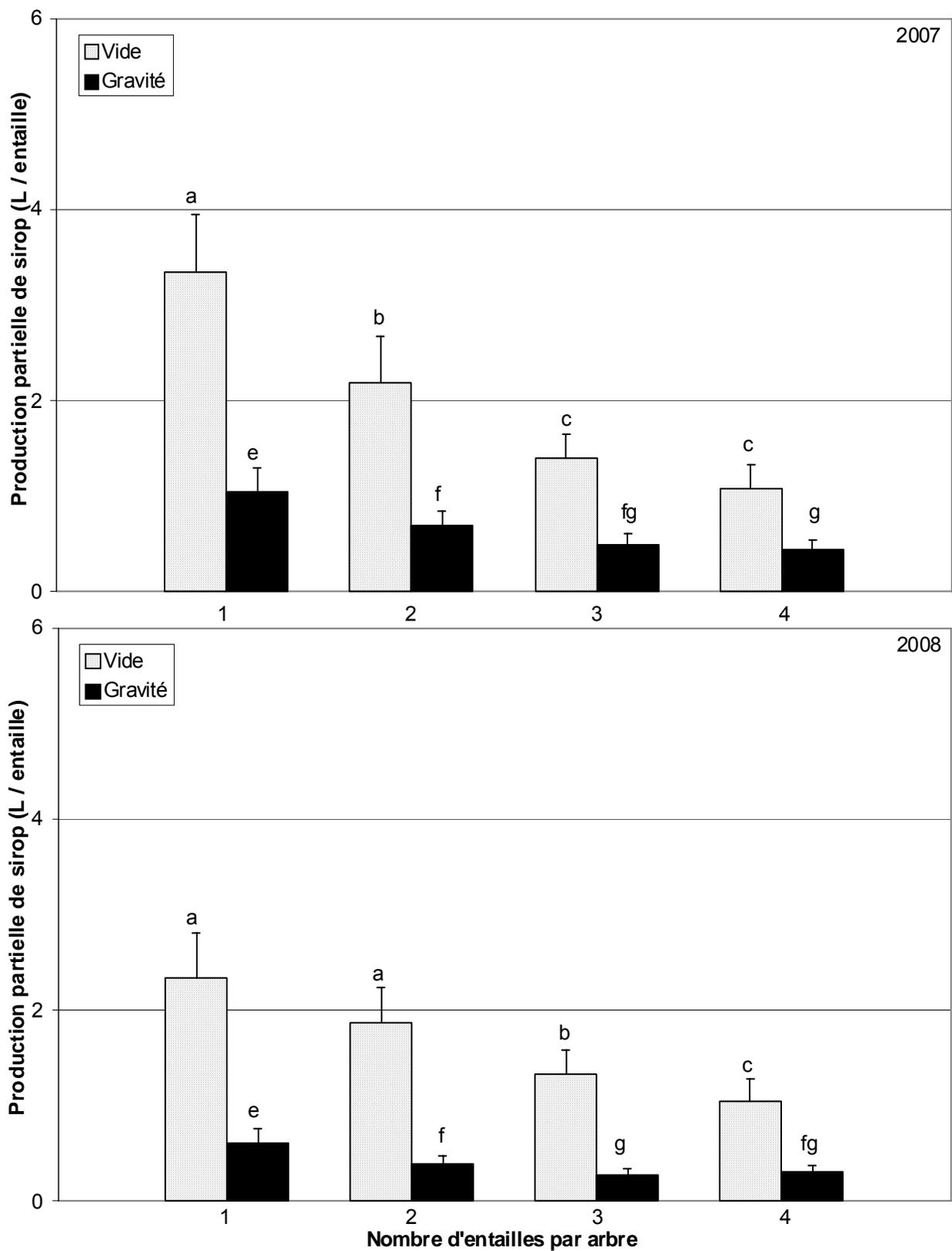


Figure 12. Production partielle de sirop par entaille selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008

3.3.3 Production de sirop par arbre

Le tableau 5 présente les résultats des analyses de variance faites sur la racine carrée de la variable dépendante pour 2007 et sur le logarithme de la variable dépendante pour 2008 pour la production totale de sirop par arbre sous gravité. Le tableau 6 présente les résultats des analyses de variance faites sur la variable dépendante (non transformée) pour 2007 et sur le logarithme de la variable dépendante pour 2008 pour la production totale de sirop par arbre sous vide. Les transformations effectuées étaient nécessaires pour assurer le respect de normalité et d'homogénéité de la variance des résidus.

L'interaction entre les classes de DHP et le nombre d'entailles n'est pas significative pour la production sous gravité ($Pr > F = 0,6691$ en 2007 et $Pr > F = 0,9763$ en 2008), ni pour la production sous vide ($Pr > F = 0,1493$ en 2007 et $Pr > F = 0,0559$ en 2008). Ceci implique que l'effet de la classe de DHP ne varie pas selon le nombre d'entailles et vice-versa. On peut donc étudier seulement les effets simples. Ainsi, pour comparer les classes de DHP, on utilise les moyennes par classe pour tous les nombres d'entailles. De même, pour comparer l'effet du nombre d'entailles, on utilise les moyennes par entaille pour toutes les classes de DHP combinées.

Tableau 5. Analyse de variance de la production totale de sirop par arbre sous gravité pour 2007 et 2008

Source	2007			Source	2008		
	NDL	F	Pr > F		NDL	F	Pr > F
Classe de DHP	4	37,01	< 0,0001	Classe de DHP	4	32,76	< 0,0001
Nombre d'entailles	3	7,56	0,0002	Nombre d'entailles	3	13,99	< 0,0001
Interaction	12	0,78	0,6691	Interaction	12	0,35	0,9763

Tableau 6. Analyse de variance de la production totale de sirop par arbre sous vide pour 2007 et 2008

Source	2007			Source	2008		
	NDL	F	Pr > F		NDL	F	Pr > F
Classe de DHP	4	34,32	< 0,0001	Classe de DHP	4	45,07	< 0,0001
Nombre d'entailles	3	3,78	0,0136	Nombre d'entailles	3	15,81	< 0,0001
Interaction	12	1,48	0,1493	Interaction	12	1,84	0,0559

3.3.3.1 Production de sirop par arbre par classe de DHP

La figure 13 présente la production totale de sirop par arbre selon la classe de DHP et le système de récolte pour 2007 et 2008. Les deux années présentent les mêmes tendances. Les barres d'erreurs sont les intervalles de confiance à 95%. La production totale de sirop par arbre augmente à mesure que le DHP augmente. Cela a d'ailleurs été remarqué dans de nombreuses études (Grenier, 2008a). La production passe de 2,122 L par arbre pour la classe de DHP de 25 cm à 5,841 L par arbre pour celle de 65 cm en 2007 pour le système de récolte sous vide et de 1,623 à 5,332 L par arbre en 2008. Pour le système de récolte sous gravité, ces valeurs sont de 0,539 à 2,327 L par arbre en 2007 et 0,356 à 1,347 L par arbre en 2008. Les moyennes sont indiquées par la longueur des bâtonnets et les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. Des lettres différentes pour chaque année indiquent que les rendements sont significativement différents entre eux lorsque les données sont soumises à un test de classement de Tukey avec une valeur $\alpha = 0,05$.

3.3.3.2 Production de sirop par arbre par nombre d'entailles

La figure 14 présente la production totale de sirop par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre. Pour le système de récolte sous vide, les rendements des classes de DHP 55 et 65 cm se confondent, ce qui est accord avec les résultats présentés à la figure 11 où le test de Tukey n'a pas relevé de différence significative entre ces deux classes de DHP. Pour les classes de DHP inférieures, non seulement on n'obtient pas plus de rendement en ajoutant des entailles, mais on semble même observer l'effet inverse au-delà de deux ou trois entailles. Pour le système gravitaire, les rendements augmentent à mesure que

croît le nombre d'entaille, mais tout comme pour la coulée, ils sont loin d'être doublés ou triplés si le nombre d'entaille est deux ou plus.

Les figures 15 et 16 reprennent essentiellement les données présentées à la figure 13 pour le mode de récolte sous vide et sous gravité respectivement, mais pour examiner les rendements en sirop de chaque entaille. Tout comme pour la coulée, on constate que l'ajout d'entailles amène peu de rendement supplémentaire et que le plafond semble atteint avec deux entailles par arbre, quelque soit la classe de DHP. À mesure qu'on augmente le nombre d'entailles sur un arbre, le rendement par entaille diminue.

La figure 17 présente la production totale de sirop par arbre selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008. Les deux années présentent les mêmes tendances. La production totale de sirop par arbre plafonne à deux entailles avec le système de récolte sous vide et l'ajout d'une troisième ou d'une quatrième entaille n'amène pas de rendement supplémentaire. Pour le système de récolte sous gravité, une troisième ou une quatrième entaille a amené un peu plus de rendement en 2007, alors que seulement une quatrième entaille a eu pareille conséquence en 2008. Les moyennes sont indiquées par la longueur des bâtonnets et les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. Des lettres différentes pour chaque année indiquent que les rendements sont significativement différents entre eux lorsque les données sont soumises à un test de classement de Tukey avec une valeur $\alpha = 0,05$.

En 2007 pour le système de récolte sous vide, les rendements totaux sont de 3,346, 4,358, 4,206 et 4,347 L par arbre pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Ces différences de rendement ne sont significativement différentes que pour une entaille par arbre. Il n'y a pas de différence significative lorsqu'on a deux, trois ou quatre entailles par arbre. Au sujet de la production totale de sirop sous gravité, les rendements totaux sont de 1,051, 1,370, 1,481 et 1,759 L par arbre pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Ici, les rendements totaux impliquant une ou deux entailles ne sont pas significativement différents entre eux, alors que les différences entre deux, trois ou quatre entailles ne sont pas significatives.

En 2008 pour le système de récolte sous vide, les rendements totaux sont de 2,339, 3,745, 4,018 et 4,168 L par arbre pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Il n'y a aucune différence significative de rendement qu'on ait deux, trois ou quatre entailles et la seule différence significative est pour les arbres ayant reçu une seule entaille. Au sujet de la production totale de sirop sous gravité, les rendements totaux sont de 0,617, 0,795, 0,805 et 1,228 L par arbre pour une, deux, trois ou quatre entailles par arbre respectivement. Ici, il n'y a que le rendement total impliquant quatre entailles qui soit significativement différent des trois autres.

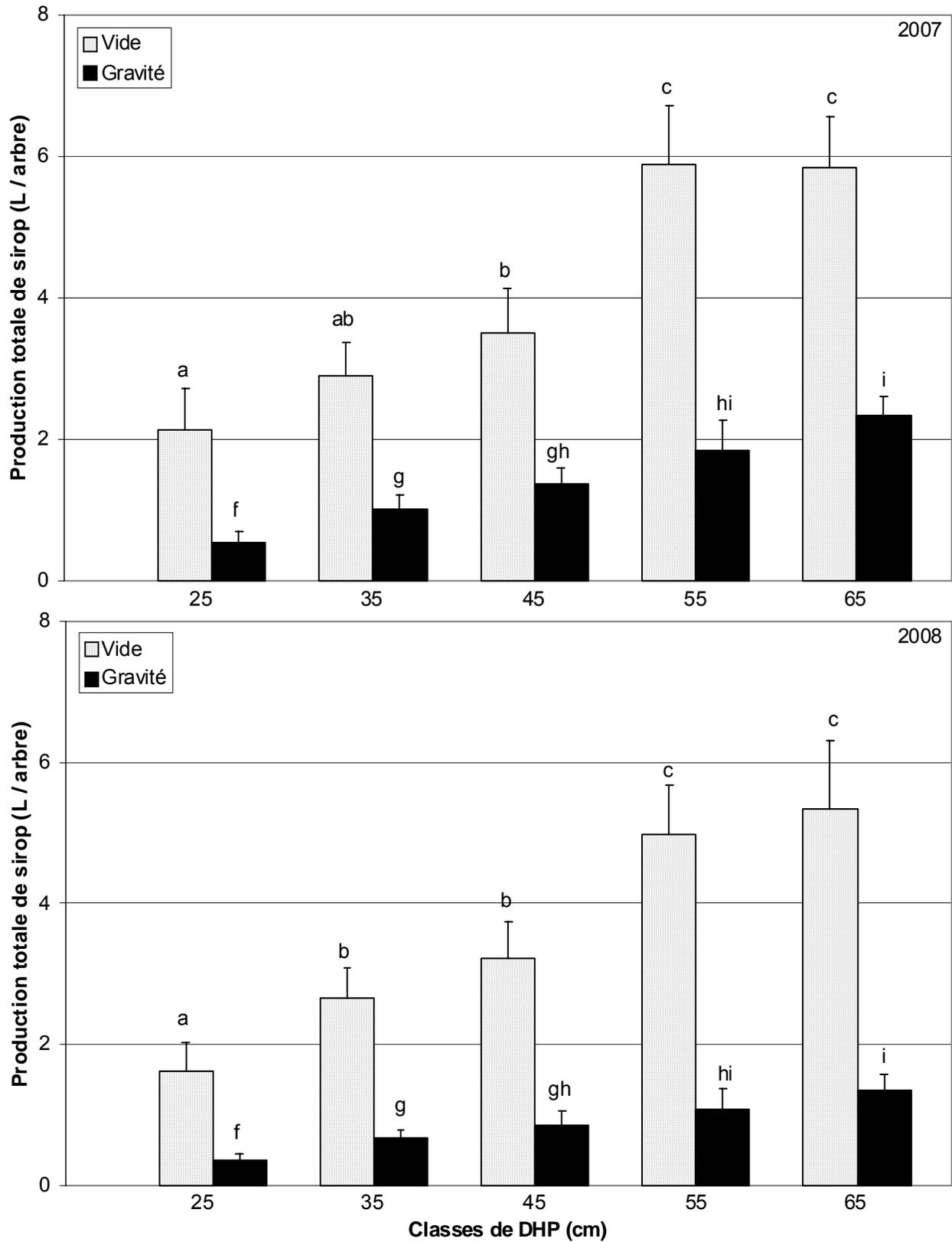


Figure 13. Production totale de sirop par arbre selon la classe de DHP et le système de récolte pour 2007 et 2008

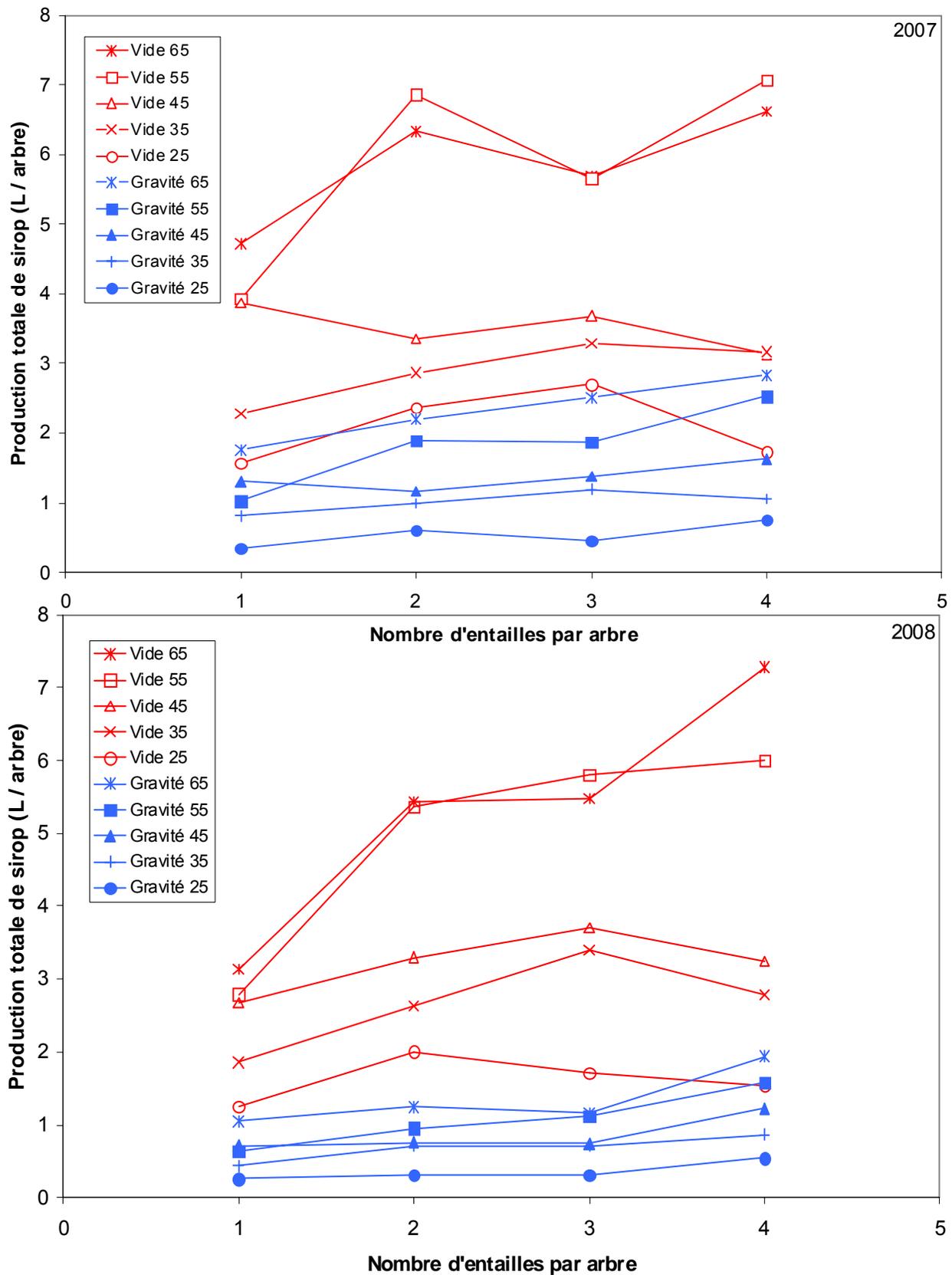


Figure 14. Production de sirop par arbre selon le système de récolte, la classe de DHP et le nombre d'entailles par arbre pour 2007 et 2008

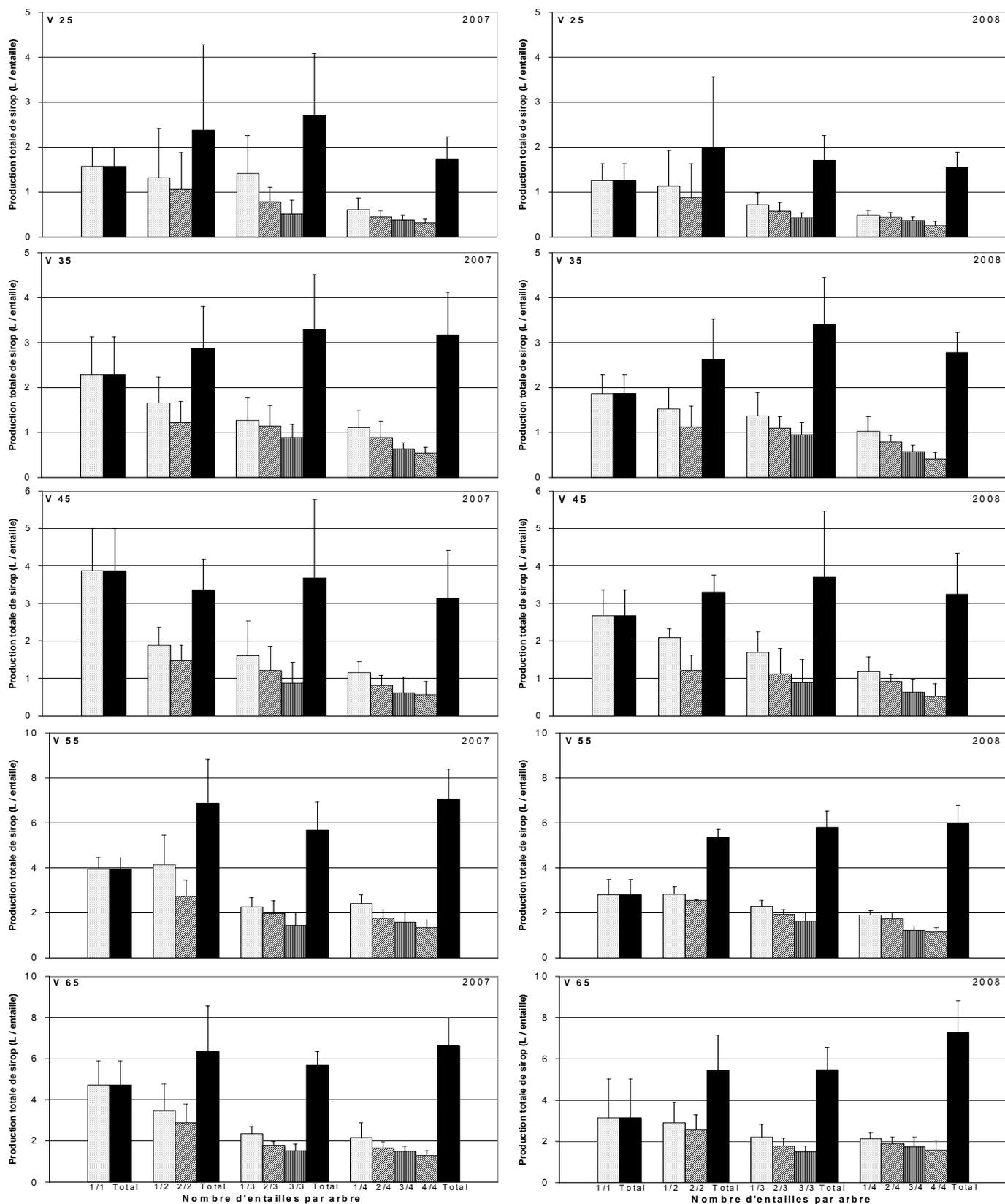


Figure 15. Production de sirop pour le système de récolte sous vide selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008

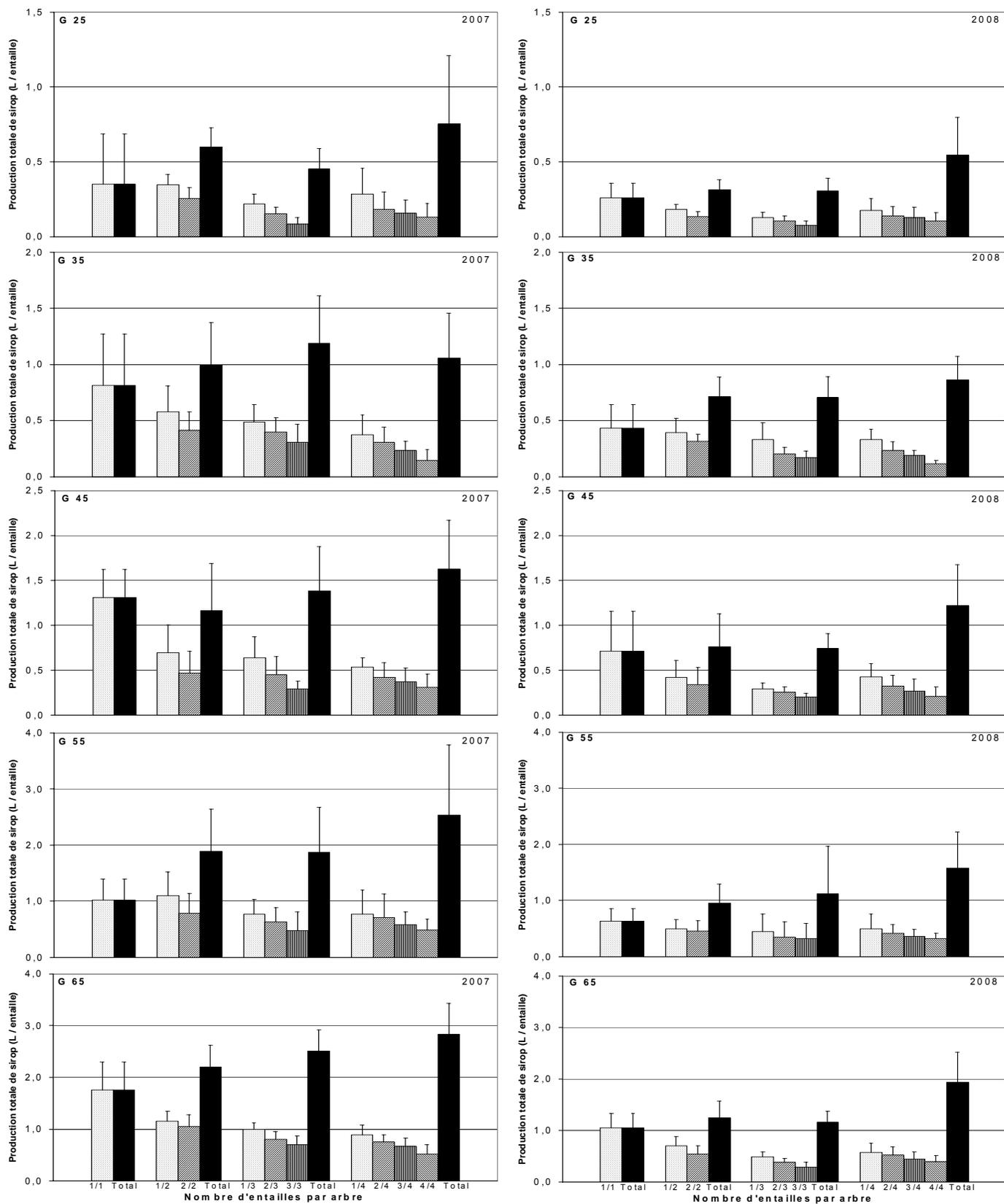


Figure 16 Production de sirop pour le système de récolte à gravité selon le nombre d'entailles par arbre par classe de DHP pour 2007 et 2008

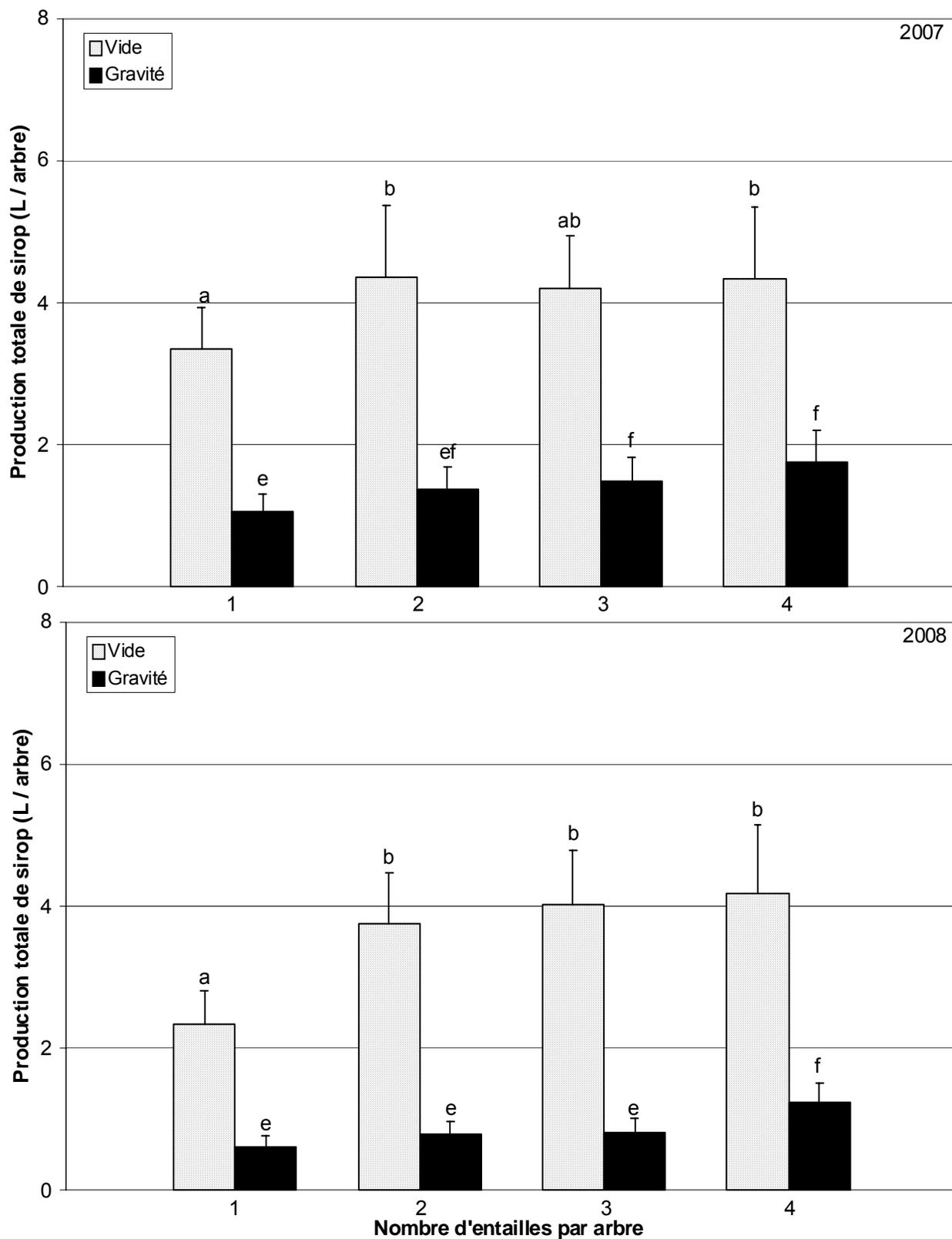


Figure 17. Production totale de sirop par arbre selon le système de récolte et le nombre d'entailles pour 2007 et 2008

4 DISCUSSION ET RELATION AVEC LE PROJET CONCERNANT LE BOIS SAIN

L'objectif principal de ce travail était de déterminer si l'ajout d'entailles sur un arbre pouvait augmenter les rendements. À la lumière de nos observations, on en conclue que ce n'est pas le cas. L'augmentation des rendements qu'il est possible d'atteindre résulte surtout de la technologie appliquée. En effet, la production de sirop par la méthode du vide partiel est beaucoup plus performante que la production traditionnelle sous gravité. Essentiellement, c'est là que les gains sont possibles.

On a observé que le rendement par entaille diminue régulièrement avec l'augmentation du nombre d'entailles et cette diminution est plus rapide avec le système sous vide qu'avec le système sous gravité. Parallèlement, la production par arbre plafonne avec deux entailles et l'ajout d'une troisième ou d'une quatrième entaille ne procure pas plus de rendement. D'autre part, si on considère que le compartimentage total est proportionnel au nombre d'entaille, on n'a aucune raison de faire plus de deux entailles sur un arbre.

Au Québec, la norme actuellement en vigueur stipule qu'on peut faire deux entailles par année sur un arbre si son DHP est de 40 cm. Dans l'autre volet de cette projet où nous nous sommes intéressés à la croissance moyenne par région, nous avons pu calculer des taux de croissance radiale différents pour dix sous-régions écologiques (Grenier, 2008b). Nous avons donc cherché à calculer quel pouvait être le DHP minimum des arbres qui pourraient supporter deux entailles par année sans compromettre le caractère durable d'une telle exploitation. Reprenant la figure 2 comme modèle, mais utilisant une profondeur et un diamètre d'entailage de 63 et 7,9 mm respectivement et plaçant deux entailles par année, on peut calculer les valeurs présentées au tableau 7. On voit donc que les arbres ayant un DHP égalant 40 cm peuvent supporter deux entailles par année là où la croissance radiale moyenne annuelle égale ou dépasse 1,463 mm. Si la croissance radiale moyenne annuelle est inférieure à cette valeur, il faudrait que le DHP minimum soit haussé en conséquence. D'un autre côté, pour une croissance radiale moyenne annuelle supérieure à 1,463 mm, on pourrait faire deux entailles par année sur des arbres plus petits que 40 cm. La valeurs des DHP initiaux présentés pour chaque sous-région écologique est optimale, car elle permet d'exploiter toute la circonférence du tronc sur un niveau au cours de toutes les années de la série 1, et ce sans jamais entailler dans du bois compartimenté et la croissance radiale permet de générer assez de bois sain durant cette première série pour initier ensuite une deuxième série sans délai d'attente. Cela suppose, bien sûr, que ces arbres n'ont jamais été entaillés auparavant. Nous présentons en annexe l'exemple d'un arbre de 40 cm de DHP initial exploité avec deux entailles par année dans la sous-région écologique 1a-T.

Tableau 7. DHP initial minimum permettant de faire deux entailles par année sur un arbre dont on a entaillé toute la circonférence lors de la première série et qui peut être de nouveau entaillé dans du bois sain pour une deuxième série par sous-région écologique

Sous-région écologique [†]	Croissance radiale (mm/an)	DHP _i (cm)	Durée de la série 1 (années)	DHP _j (cm)
1a-T	1,463	40	43	52
2b-T	0,965	57	66	70
2c-T	1,387	42	46	55
3c-T	0,788	68	81	81
3d-M	1,318	44	49	57
3d-S	1,272	45	50	58
3d-T	1,416	41	45	54
4f-M	1,559	38	41	51
4f-S	1,863	33	34	45
4f-T	1,390	42	46	55

† : Saucier *et al* (1998)

5 CONCLUSION

Dans l'ensemble de ce projet, soit le Volet A et le Volet B, nous avons démontré que les normes d'entailage actuellement en vigueur au Québec ne sont pas adéquates. D'abord, le DHP minimum fixé à 20 cm pour permettre de faire une entaille est trop bas et se traduit par une accumulation de bois compartimenté après 25 à 30 ans d'exploitation selon les régions écologiques. Ces durées varient de 30 à 40 ans pour les arbres de 22 cm de DHP. Passé ces durées, il n'est plus possible d'entailler dans du bois sain et ces arbres devraient être délaissés de l'exploitation un certain nombre d'années pour leur laisser le temps d'accumuler assez de nouveau bois pour les remettre en service plus tard ou encore, on doit accepter que les rendements sont diminués par l'existence de bois compartimenté. Nous référons ici le lecteur au rapport présenté concernant le Volet « A » de ce projet (Grenier, 2008b).

Nous avons aussi démontré que la pratique de faire trois ou quatre entailles par arbre, même s'ils sont assez gros pour ce faire, n'amène pas de rendement supplémentaire. Le meilleur gain marginal est atteint avec deux entailles. Toutefois, en regard du compartimentage, il faut que les arbres recevant deux entailles par année soient assez gros et cette barre de passage varie entre les régions. On devrait même examiner si les arbres de très gros DHP devraient être conservés. On n'a pas observé de rendement supplémentaire au-delà de 55 cm de DHP. Ces gros arbres, quoique peu nombreux, occupent beaucoup d'espace et nuisent à la croissance des plus petits.

Généralement, on ne se rend pas compte des problèmes réels, parce que les productions acéricoles génèrent quand même chaque année du sirop. Toutefois, les normes appliquées actuellement au Québec ne permettent pas d'avoir une acériculture durable, ni optimale, lorsqu'examiné sur une longue période. On produit et produira toujours du sirop d'érable, mais les rendements ne sont pas optimisés à long terme.

6 RÉFÉRENCES CITÉES

- ALLARD, G.B., BOUDREAU, G. et RENAUD, J.-P. (1997). Modèle de simulation du rendement d'une entaille en fonction de différents paramètres physiques et physiologiques associés à l'entailage. *In* Les stress et la productivité de l'érable à sucre : De l'arbre au peuplement. Actes du colloque tenu à St-Hyacinthe les 11 et 12 novembre 1997. Centre Acer inc., éd. Pp.111-130.
- CHAPESKIE, D., RICHARDSON, M., WHEELER, A., SAJAN, B. et NEAVE, P. (2007). Guide d'amélioration et de maintien de la santé et de la productivité des érablières. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario.
- COMMISSION SUR L'AVENIR DE L'AGRICULTURE ET DE L'AGROALIMENTAIRE QUÉBÉCOIS. (2008). Agriculture et agroalimentaire québécois : assurer et bâtir l'avenir : rapport. 272 p.
- CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES DU QUÉBEC (1983). Érablières. Entailage des érables. Conseil des productions végétales du Québec. AGDEX 300/50.
- FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS ACÉRIQUES DU QUÉBEC. (2005a). Dossier économique 2004.
- FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS ACÉRIQUES DU QUÉBEC. (2005b). Dossier économique 2005.
- FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS ACÉRIQUES DU QUÉBEC. (2006). Dossier économique 2006.
- FÉDÉRATION DES PRODUCTEURS ACÉRIQUES DU QUÉBEC. (2007). Dossier économique 2007.
- GOVERNEMENT DU QUÉBEC. (2004). Règlement sur les permis de culture et d'exploitation d'érablière dans les forêts du domaine de l'État. Gazette Officielle 2, p. 3734.
- GOVERNEMENT DU NOUVEAU-BRUNSWICK (1987). Normes recommandées en matière d'entailage au Nouveau-Brunswick. Service de consultation forestière du Nouveau-Brunswick. Note technique n° 1987-1.
- GRENIER, Y. (2008a). Étude de quelques caractéristiques dendrométriques qui influencent les variations quantitatives et qualitatives de la coulée interindividuelle. Rapport présenté à la Direction du Centre Acer.
- GRENIER, Y. (2008b). Vers la formulation de nouvelles normes d'entailage pour conserver la production acéricole à long terme Volet A : détermination de la quantité de bois sain basée sur les taux de croissance régionaux. Rapport présenté à la Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune.
- HOUSTON, D.R., ALLEN, D.C. et LACHANCE, D. (1990). Aménagement de l'érablière : guide de protection de la santé des arbres. Forêts Canada, Rapport d'information LAU-X-92F.
- MORROW, R.R. (1963). Influence of number and depth of tap holes on maple sap flow. Cornell Univ. Agr. Exp. Stn. Bull. 982.
- SAUCIER, J.-P., BERGERON, J.-F., GRONDIN, P. et ROBITAILLE, A. (1998). Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version). L'Aubelle, suppl. février-mars 1998. Pp. 1-12.
- WILLITS, C.O. (1958). Maple syrup producers' manual. USDA Agric. Handbook 134.
- WILMOT, T.R., PERKINS, T.D. et van den BERG, A.K. (2007). Vacuum sap collection : how high or low should you go? Proctor Maple Research Center, Univ. of Vermont. Maple Syrup Digest, oct. 2007 19A(3) : 27-32.
- WINCH, F.E. et MORROW, R.R. (1962). Production of maple syrup and other maple products. N.Y. State Agric. Exp. Stn. Bull. 974.

Annexe. Régie d'entailage d'un érable d'un DHP initial de 40 cm croissant dans la sous-région écologique 1a-T entaillé avec deux entailles de 7,9 mm de diamètre et 63 mm de profondeur par année

Année	DHP (mm)	Angle α (°)	Angles α cumulés (°)	Série d'entailage
1	400	10 [†]	10	1
2	403	10	20	1
3	406	10	30	1
4	409	10	39	1
5	412	10	49	1
6	415	9	58	1
7	418	9	68	1
8	420	9	77	1
9	423	9	86	1
10	426	9	95	1
11	429	9	104	1
12	432	9	113	1
13	435	9	122	1
14	438	9	130	1
15	441	9	139	1
16	444	9	148	1
17	447	8	156	1
18	450	8	165	1
19	453	8	173	1
20	456	8	181	1
21	459	8	189	1
22	461	8	198	1
23	464	8	206	1
24	467	8	214	1
25	470	8	222	1
26	473	8	229	1
27	476	8	237	1
28	479	8	245	1
29	482	8	253	1
30	485	8	260	1
31	488	8	268	1
32	491	7	275	1
33	494	7	283	1
34	497	7	290	1
35	499	7	297	1
36	502	7	304	1
37	505	7	312	1
38	508	7	319	1
39	511	7	326	1
40	514	7	333	1
41	517	7	340	1
42	520	7	347	1
43	523	7	354	1
44	526	7	7	2
45	529	7	14	2
46	532	7	20	2
47	535	7	27	2
48	537	7	34	2
49	540	7	40	2
50	543	7	47	2

† Deux fois la valeur d'un angle α de 5° en première année