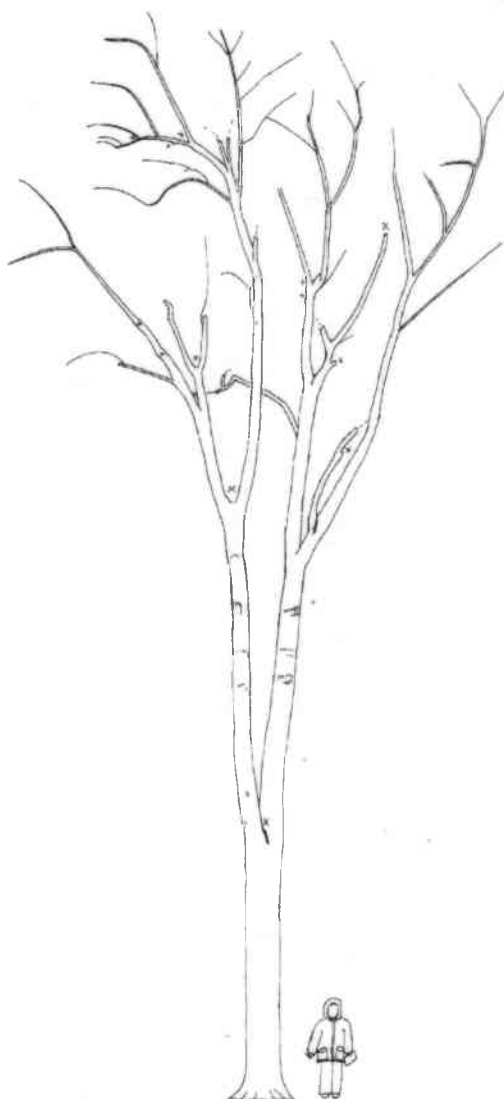
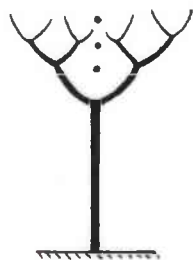
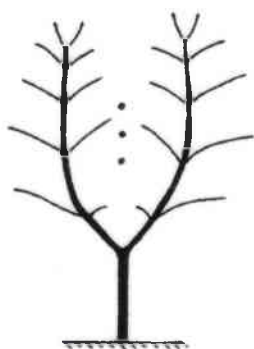




ARCHITECTURE DE L'ÉRABLE ARGENTÉ (*ACER SACCHARINUM* L.) ET RÉACTION À L'ÉLAGAGE PRÈS DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Projet d'article



Jeanne MILLET

André BOUCHARD





Institut de recherche en biologie végétale

4101 rue Sherbrooke est

Montréal (Québec)

H1X 2B2

Projet d'article

**Architecture de l'érable argenté
(*Acer saccharinum* L.) et
réaction à l'élagage près du réseau
de distribution**

préparé par

Jeanne MILLET

de l'Institut de recherche en biologie végétale

sous la responsabilité
d'André BOUCHARD

Présenté à Gervais Pellerin, conseiller en recherche scientifique,
Hydro-Québec, Distribution et service à la clientèle

Janvier 2001



Université de Montréal
Faculté des arts et sciences
Département de sciences biologiques



Ville de Montréal
Jardin botanique

On collaboré à la réalisation de l'étude:

1.- Le laboratoire d'écologie de l'Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal:

- | | | |
|---------------------|--|-------------------------|
| - Jeanne Millet | Ph.D en architecture des arbres et en écologie végétale, obtenu à l'Université de Montréal | Chargée de projet |
| - André Bouchard | professeur titulaire à l'Université de Montréal | Directeur |
| - Christiane Lareau | M.Sc. en sciences de l'environnement, obtenu à l'Université du Québec à Montréal | assistante de recherche |

2. - Hydro-Québec, Distribution et service à la clientèle:

- | | | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|
| - Gervais Pellerin | conseiller en recherche scientifique | Collaborateur |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|

ARCHITECTURE DE L'ÉRABLE ARGENTÉ (*ACER SACCHARINUM* L.) ET RÉACTION À L'ÉLAGAGE PRÈS DU RÉSEAU DE DISTRIBUTION

Jeanne Millet¹ et André Bouchard¹

¹Laboratoire d'écologie végétale, Institut de recherche en biologie végétale, Université de Montréal, 4101 est rue Sherbrooke, Montréal, Québec, H1X 2B2, Canada, e-mail: milletj@magellan.umontreal.ca

RÉSUMÉ

L'analyse architecturale de l'érable argenté en milieu naturel a permis l'identification des règles de croissance qui sous-tendent son développement. Elle a révélé la nature sympodiale de sa croissance, les trois niveaux d'organisation qui gèrent le développement de ses tiges dans une alternance de plans d'organisation (hiérarchique et polyarchique) de même que les traits caractéristiques des trois unités architecturales impliquées et des quatre catégories d'axes différenciés. Les réactions de croissance de l'érable argenté en bordure des rues ont été analysées dans quatre contextes d'élagage associés à la position de l'arbre par rapport aux fils du réseau de distribution: sans fil (SF), fils de côté (FC), sous un fil de large (1F), sous trois fils de large (3F). Les données révèlent que plus la pression de taille augmente, plus le pourcentage de la cime sous forme de rejets est grand et plus leur taux de croissance est grand (augmentation de la polyarchie dans la cime). De façon inattendue, la première fourche du tronc est en général plus haute avec un nombre de branches maîtresses plus faible chez les arbres 1F comparés aux arbres SF, bien que ce soit l'inverse pour les arbres 3F.

L'érable argenté est naturellement apte à mettre en place une fourche basse avec des branches maîtresses au développement hiérarchisé. Toutefois, les tailles de dégagement semblent encourager l'inverse, soit l'apparition d'une fourche haute et, après insistance des tailles, un développement plus polyarchique de la cime. Une meilleure compréhension de l'architecture et du mode de développement des arbres permettrait de mettre à profit les potentialités de croissance des espèces plutôt que de les combattre par des interventions coûteuses qui ont pour effet d'augmenter la menace que font les arbres aux fils.

1. INTRODUCTION

Depuis les travaux de Hallé et Oldeman (1970; Hallé, Oldeman & Tomlinson 1978), l'analyse architecturale permet la mise à jour des règles d'organisation qui gèrent la croissance des arbres. Ces règles changent au cours de l'ontogenèse de l'arbre selon une séquence de développement caractéristique pour chaque espèce. Plusieurs niveaux d'organisation entre les tiges peuvent être impliqués dans la séquence de développement (Millet, Bouchard & Édelin 1998b, 1999; Barthélémy 1990; Hallé 1986). À chaque niveau d'organisation, l'expression d'une unité architecturale (Barthélémy, Édelin & Hallé 1989; Édelin 1977) s'apparente fortement ou se conforme à l'un des 23 modèles architecturaux établis par Hallé et Oldeman (1970; Hallé, Oldeman & Tomlinson 1978). C'est la réitération (Oldeman 1974, 1990) des unités architecturales, leur métamorphose (Édeline 1984; Hallé & Ng 1981) et leur intégration dans un plan d'organisation hiérarchisé (Édeline 1991) qui mène à l'établissement d'une unité architecturale de niveau d'organisation supérieur (Millet, Bouchard & Édeline 1998b, 1999; Caraglio & Édeline 1990; Hallé 1986). Le passage d'une unité architecturale à une autre est marqué par l'expression plus ou moins prononcée d'un plan d'organisation polyarchique. Selon les espèces et les caractéristiques de leur mode de développement, la croissance du tronc de l'arbre est concernée ou non par une alternance de plans d'organisation qui est d'origine endogène.

Un tronc parfaitement rectiligne et issu d'un seul et même méristème, un monopode, résulte d'un plan d'organisation hiérarchisé. Le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana* L.) et le tremble (*Populus tremuloides* Michx) sont deux exemples d'arbres dont l'établissement du tronc répond de façon caractéristique à un plan d'organisation hiérarchisé (Millet, Bouchard & Édeline 1999). Par ailleurs, l'avènement régulier d'un plan d'organisation polyarchique, au travers d'épisodes hiérarchisés, stimule naturellement l'apparition de fourches. La poursuite de la croissance du tronc est possible par le rétablissement de la hiérarchie qui permet aux fourches successives de se résorber par le redressement d'un de leurs éléments et l'affaissement des autres. Le caryer cordiforme (*Carya cordiformis* (Wang) K. Koch) et la pruche du Canada

(*Tsuga canadensis* (L.) Carr.) sont deux exemples d'arbres dont le tronc sympodial résulte de l'alternance de plans d'organisation et de l'empilement de modules à croissance monopodiale (Millet, Bouchard & Édelin 1998b, 1999).

Des études récentes (Millet, Bouchard & Édelin 1998a, 1998b, 1999) ont révélé l'existence d'un lien fonctionnel entre le mode de développement caractéristique des arbres et leur rapport avec l'environnement. Chez les neuf espèces de la forêt feuillue tempérée qui ont été étudiées (Millet, Bouchard & Édelin 1998b, 1999), l'alternance des plans d'organisation (hiérarchique et polyarchique) lors de la croissance du tronc et le potentiel de réitération dans la cime de l'arbre adulte sont les deux principaux caractères reliés au statut successional des espèces. Ceci s'explique par leur influence sur la plasticité de la forme des arbres et conséquemment sur leur capacité à s'adapter à des conditions variables de croissance. La plasticité de la forme est une qualité importante pour les arbres de milieu urbain qui sont soumis à des élagages répétés pour des besoins de dégagement de l'espace. Caraglio et Édelin (1990) ont fait un lien entre les caractères architecturaux du platane (*Platanus hybrida* Brot.) et sa facilité à réagir positivement aux élagages. Ils attribuent à sa structure sympodiale de base sa grande souplesse de comportement. Comme le montre Genoyer (1994), l'arbre qui subit une taille ou un bris de ses axes dominants réagit par une production de rejets de toutes natures dans une désorganisation de son architecture. L'arbre connaît ensuite un rétablissement plus ou moins complet de son plan d'organisation. Une hiérarchie s'établit peu à peu entre les rejets (appelés aussi réitérats). Celui ou ceux qui s'accaparent la dominance tentent de reproduire l'architecture de l'arbre mutilé. Mais les potentialités de croissance de l'arbre changent en fonction du stade de développement qu'il a atteint. Drénou (1996, 1999) fait remarquer que la fourche, dont l'apparition est reliée au passage de l'arbre dans un plan d'organisation polyarchique, a un devenir différent selon la signification qu'elle a dans la séquence de développement de l'arbre. Il souligne l'importance de savoir reconnaître les caractères architecturaux et la séquence de développement caractéristique des espèces afin d'orienter judicieusement les travaux d'élagage et ainsi éviter les réactions de croissance indésirables.

Le but de la présente étude est de mettre à jour les caractéristiques architecturales et la séquence de développement d'une espèce d'arbre afin d'interpréter de façon éclairée ses réactions de croissance à différents scénarios d'élagage dans un contexte de dégagement du réseau de distribution. Nous avons choisi l'érable argenté (*Acer saccharinum* L.) qui est fréquemment utilisé dans le sud du Québec (Canada) comme arbre de rue aux abords du réseau de distribution et qui est en plus une espèce indigène dans la région, donc facilement observable en milieu naturel pour les besoins de l'analyse architecturale.

2. MÉTHODES ET CONTEXTES D'ÉTUDE

Pour rendre compte de l'architecture et du mode de développement de l'érable argenté, nous avons eu recours à la méthode d'analyse architecturale de Hallé et Oldeman (1970; Hallé, Oldeman & Tomlinson 1978; Hallé & Édelin 1986; Millet, Bouchard & Édelin 1998a, 1998b, 1999). L'analyse a été effectuée sur des arbres épargnés des élagages d'origine anthropique et poussant sur les terres protégées de quatre parcs-nature de la Communauté urbaine de Montréal, tous situés sur l'île de Montréal dans le sud du Québec (Canada): le parc du Cap-Saint-Jacques (Bouchard 1979), le Bois-de-la-Roche, le boisé de Saint-Raphaël-de-l'Île-Bizard et le Bois-de-Saraguay (Domon *et al.* 1986). Les arbres ont été observés en milieux ouverts et en milieux fermés, dans des peuplements purs ou mélangés d'âges variables, de façon à survoler l'ensemble des architectures possibles en milieu naturel. L'attention a surtout été portée sur les phases d'établissement du tronc des arbres et sur la reconnaissance finale de la réitération totale dans la cime. Une cinquantaine d'individus par stade de développement ont été analysés. Un suivi a été fait des architectures depuis le stade de la plantule jusqu'à l'arbre mature. Par recoupement, la séquence complète du développement des arbres a été déduite. Un individu représentatif de chaque stade a été choisi et dessiné afin de décrire dans le détail chaque stade. Les résultats ont été ensuite validés par un retour sur le terrain. Les observations ont été faites entre le début septembre et la fin décembre 1998.

Dans un deuxième temps, nous avons fait le diagnostic de l'architecture d'érables argentés ayant poussé en bordure de rue en milieu urbain dans quatre contextes d'élagage identifiés en fonction de la position de l'arbre par rapport aux fils: a) sans fil (SF), b) fils de côté seulement (FC), c) un fil de large au-dessus du tronc (1F), d) trois fils de large au-dessus du tronc (3F). L'étude a été faite dans les quartiers résidentiels de la Ville de Montréal où les conditions de croissance sont les plus favorables (plus grands espaces souterrains et aériens disponibles) et où les arbres ont eu l'opportunité de se développer suffisamment pour atteindre les fils et réagir aux fortes pressions d'élagage.

De façon générale, les fils de haute tension non gainés courent à environ 7 à 9 m du sol tandis que dessous, les fils gainés de basse tension et de communication peuvent descendre jusqu'à moins de 5 m du sol. Les fils sont le plus souvent enlignés les uns au-dessus des autres, fixés le long des poteaux. Seuls les fils de haute tension peuvent être disposés seuls ou trois de large dans le haut de la portée. Lorsqu'il y a trois fils de large, les deux fils les plus extérieurs sont distants l'un de l'autre d'environ 2 m.

Les normes de dégagement autour des fils ont changé au cours des années. Néanmoins, la forme des arbres observés au début de l'hiver 1999 reflète surtout les dernières normes de dégagement avant leur révision en 1997, soit: a) 2 m de dégagement de part et d'autre, 3 m au-dessus et 2,5 m au-dessous des fils de haute tension, b) 0,3 m de dégagement de part et d'autre et 0,3 m au-dessous des fils de basse tension et des fils de communication. Ainsi, le dégagement des fils a pu se faire jusqu'à moins de 4,5 m du sol et a pu atteindre plus de 6 m de large dans la cime des arbres. Au dégagement des fils s'ajoutent tous les autres dégagements des infrastructures urbaines effectués par les employés municipaux. À Montréal, les troncs sont généralement nettoyés de toutes branches jusqu'à une hauteur de 2,10 m depuis le sol. Les trottoirs sont dégagés jusqu'à une hauteur d'environ 3 m et la rue jusqu'à une hauteur de 4,25 m (Millet & Bouchard 1998). D'autres dégagements sont également effectués selon les besoins: ceux des bâtiments, des lampadaires, des feux de circulation, des panneaux de signalisation, etc.

La première plantation massive d'érables argentés à Montréal date des premières années du XX^{ième} siècle (P. Francoeur, comm. pers.). On retrouve aujourd'hui des arbres qui peuvent avoir jusqu'à 1 m de diamètre (dhp). La même espèce a souvent été plantée en enlignements purs. Nous avons étudié les arbres de gros diamètres (> 20 cm) regroupés sur un nombre limité de rues, sur la plus courte distance possible. De cette façon, nous nous sommes assurés un minimum de variabilité des conditions du milieu ainsi qu'un minimum de variabilité des âges. Sur une même rue, tous les arbres ont à peu près le même âge puisqu'ils ont été plantés au même moment. Il peut arriver que des arbres aient été remplacés par des plus jeunes mais ceux-ci sont en minorité. Les règles qui ont encadré les interventions des élagueurs à chacun de leurs passages dans les rues ont essentiellement été le respect des distances de dégagement prescrites, dont les principales ont été citées plus haut, et le respect du principe de la coupe directionnelle (sélection de l'appel-sève). Ces règles ont eu pour but de détourner la croissance de l'arbre aux abords des infrastructures de façon à retarder le plus possible les dangers d'interférence.

Les arbres ont été étudiés dans deux territoires différents à Montréal, de façon à vérifier si les conditions du milieu influencent les réactions de croissance des arbres aux élagages. Le premier territoire représente l'arrondissement 1 (Ahuntsic/Cartierville) de la Ville de Montréal tandis que le deuxième territoire regroupe les arrondissements 2 (Villeray/Saint-Michel/Parc-Extension) et 3 (Rosemont/Petite-Patrie). Le territoire 1 longe la rivière des Prairies au nord tandis que le territoire 2 se situe plus au sud, dans la partie centrale de l'île de Montréal. Dans le territoire 1, les arbres poussent surtout en parterre tandis que dans le territoire 2, ils disposent d'un espace plus restreint étant plantés dans des bandes entre le trottoir et la rue. Nous n'avons pas trouvé dans le territoire 2 d'arbres poussant de côté par rapport aux fils. En conséquent, seuls les contextes «sans fil», «un fil au-dessus» et «trois fils au-dessus» y ont été étudiés. Au total, 187 arbres ont été observés sur le territoire 1 (61 arbres SF, 29 arbres FC, 49 arbres 1F et 48 arbres 3F) et 150 arbres sur le territoire 2 (50 arbres SF, 50 arbres 1F et 50 arbres 3F).

Le but du diagnostic est de rendre compte de l'état du développement des arbres. Nous avons choisi les caractères qui témoignent de l'empreinte laissée dans la structure de l'arbre par

l'alternance des plans d'organisation. La hauteur de la première branche maîtresse et le nombre de branches maîtresses (ou réitérats totaux) servent à décrire la zone polyarchique qui termine le tronc. Sur chaque arbre, on a fait le décompte des branches maîtresses produites sur une distance d'au plus 2 m à partir de la première branche maîtresse. En général, au-delà de cette distance, les tiges ont retrouvé une croissance plus rectiligne (retour d'un plan d'organisation hiérarchisé à l'échelle de chaque branche). Le nombre de branches maîtresses est considéré comme un indice de l'intensité de la polyarchie que l'arbre a connu au moment où il a fourché. L'examen de la hauteur de la première branche maîtresse permet de vérifier si les tailles de dégagement ont eu l'effet souhaité par les intervenants, c'est à dire de diminuer la hauteur des fourches ou du moins d'éliminer les cas de fourches hautes en vue d'aider les arbres à contourner les fils lorsqu'ils sont plantés dessous.

La fréquence, la disposition et le taux de croissance des rejets comparés aux parties demeurées intactes de l'arbre sont des indicateurs de l'état actuel de réaction de l'arbre après les nombreuses tailles qu'il a connu. Nous avons évalué le pourcentage du volume total de la cime en rejets en utilisant des classes de pourcentages: 0-5, 5-25, 25-50, 50-75, 75-95 et 95-100%. La position des rejets dans l'arbre a été notée selon cinq classes, à savoir s'ils sont présents à l'extrémité des branches du haut (E), dans le haut de la cime (H, donnant au-dessus des fils), au centre de la cime (C, donnant vis-à-vis des fils), au bas de la cime (B, donnant sous les fils) ou s'ils sont absents (A). La position des rejets les plus nombreux a été spécifiée pour chaque arbre. Enfin, la longueur des unités de croissance de l'année (1999) a été estimée à l'extrémité distale des unités architecturales périphériques de la cime et des rejets (du centre et du bas). Ces mesures, qui permettent d'évaluer les rapports de dominance entre les tiges, ont été prises en tenant compte des classes de longueur suivantes: 0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-100 et 100-200 cm. La prise de données dans les rues de Montréal a été effectuée entre le 22 novembre et le 6 décembre 1999. Les analyses statistiques ont été faites à l'aide d'un test de fréquence.

3. ANALYSE DES RÉSULTATS

Architecture et mode de développement de l'éérable argenté, *Acer saccharinum* L.

Structure:

La plantule (figure 1a) est un monopode (A1) orthotrope à phyllotaxie opposée-décussée et à croissance rythmique. Les feuilles sont disposées de manière radiale autour de l'axe A1 et portent un bourgeon unique à leur aisselle.

Le très jeune plant (figure 1b) est constitué de deux catégories d'axes à phyllotaxie opposée-décussée et à croissance rythmique. L'axe A1 est un sympode mixte orthotrope. Les premiers modules, formés d'une à plusieurs unités de croissance, se terminent par un apex nécrosé. Le dernier module est un long monopode ramifié rythmiquement. Les modules de l'axe A1 dérivent les uns des autres par ramification subterminale à partir d'un bourgeon axillaire resté latent durant la période hivernale. Les rameaux latéraux A2 sont des monopodes orthotropes très courts insérés dans la partie distale d'unités de croissance de l'axe A1 qui alternent avec des unités de croissance non ramifiées. Les axes A2 ont une origine différée et sont disposés de manière radiale autour de l'axe A1.

Le jeune plant (figure 1c) est constitué de trois catégories d'axes à phyllotaxie opposée-décussée et à croissance rythmique. L'axe A1 est un sympode mixte orthotrope ramifié rythmiquement. Les rameaux (A2) sont des monopodes obliques à orthotropes. Leur structure varie selon leur position sur le module du tronc. Quelques rares rameaux (A2) longs et ramifiés alternent avec des rameaux (A2) plus courts non ramifiés. Les axes A3, peu nombreux, sont des monopodes agéotropes très courts à tendance orthotrope. Ils sont portés par des unités de croissance acrotones de l'axe A2, séparées d'unités de croissance non ramifiées. Ils sont disposés de manière radiale autour de l'axe A2.

Le très jeune arbre (figure 1d) est également constitué de trois catégories d'axes à phyllotaxie opposée-décussée et à croissance rythmique mais de structure différente. Le tronc (A1) est toujours un sympode mixte orthotrope ramifié rythmiquement. La structure des branches

(A2) varie selon leur position. Les plus longues, insérées dans la partie subterminale des modules du tronc, sont des sympodes mixtes orthotropes ramifiés rythmiquement. Elles alternent avec des branches (A2) plus courtes, des monopodes orthotropes ramifiés rythmiquement. Les branches (A2) longues ont un plus gros diamètre, une plus longue durée de vie et laissent de plus grosses cicatrices sur la partie élaguée du tronc. Elles portent des rameaux latéraux (A3), d'origine différée, dont la structure varie selon leur position sur la branche. Des rameaux (A3) longs sont insérés à l'extrémité distale des modules de l'axe A2 et alternent avec des rameaux (A3) courts. Les axes A3 longs sont des sympodes disposés sur les faces latérales et ventrales de la branche, ce qui lui confère une symétrie bilatérale. Les axes A3 longs forment un angle plus fermé avec la branche que axes A3 courts. Ces derniers, des monopodes aux unités de croissance très courtes, sont disposés radialement autour de l'axe A2. Les branches (A2) courtes portent des rameaux latéraux (A3) courts seulement. Ceux-ci sont disposés radialement autour de la branche, ce qui confère aux branches A2 courtes une symétrie radiale. Les rameaux courts sont situés tout au long des axes A2 mais on les retrouve également sur le tronc. L'ensemble des axes A2 ont une origine différée et sont disposés de manière radiale autour de l'axe A1.

Le jeune arbre (figure 1e) est constitué de quatre catégories d'axes à phyllotaxie opposée-décussée et à croissance rythmique. Le tronc (A1) et les branches (A2) sont toujours des sympodes mixtes orthotropes ramifiés rythmiquement. Le long du tronc, des branches de durée de vie plus longue et insérées sur le tronc avec un angle plus fermé, alternent avec des branches de durée de vie plus courte dont l'angle sur le tronc est plus ouvert. Les branches (A2) sont disposées de manière radiale autour de l'axe A1. Les branches les plus à l'horizontale ont l'extrémité redressée. Sur l'ensemble des branches A2, les rameaux latéraux A3 sont des monopodes obliques à l'extrémité redressée. Ils sont disposés sur les faces latérales de la partie proximale des branches (A2) et sur les faces ventrale et latérales de la partie distale des branches. Les rameaux A3 de la partie distale forment des angles plus fermés avec l'axe A2. Cette disposition des axes A3 confère aux branches A2 une symétrie bilatérale dont le plan de symétrie diffère entre le début et la fin de la branche. Les rameaux A3 sont ramifiés rythmiquement de

rameaux courts (A4). Ces derniers sont des monopodes agéotropes à tendance orthotrope et sont disposés radialement autour de l'axe A3. Les caractères détaillés de chaque catégorie d'axe sont résumées à la figure 3.

L'arbre adulte (figure 1f) peut atteindre 20 à 30m de haut. Il présente des branches maîtresses d'origine subterminale à l'extrémité de son tronc. Chacune est un réitérat total qui reproduit la structure du jeune arbre. Ces réitérats totaux fourchent à leur tour. La cime de l'arbre est constituée d'une succession de tels réitérats, les plus périphériques étant les plus courts et constitués seulement de trois catégories d'axes.

Ontogenèse:

Le développement de l'érable argenté est marqué par six grandes étapes (figures 1 et 2). La première correspond à la mise en place de la première unité monopodiale décrite au stade de plantule. Elle représente le premier niveau d'organisation de l'espèce, l'unité architecturale de premier niveau, l'UA1 (figures 1a et 2a).

La deuxième étape correspond à la duplication de l'UA1. L'apex de la première unité avorte et un bourgeon subterminal est à l'origine d'un relais qui reproduit la structure de l'UA1. Les UA1 se succèdent de façon linéaire et forment l'axe A1 (figures 1b et 2b).

La troisième étape du développement équivaut à la différenciation d'axes latéraux et à l'intégration des UA1 dans une structure à croissance monopodiale. En cours de succession, les UA1 acquièrent le potentiel de se ramifier latéralement d'axes différenciés du tronc. Les UA1 sont acrotones et produisent des axes latéraux A2 au niveau de leurs dernières unités de croissance (figures 2b et 2c). Parallèlement, les apex survivent en fin d'UA1. On ne devine plus les limites entre les UA1 que par la rythmicité dans la disposition des axes A2. Les UA1 qui se succèdent se ramifient de plus en plus. Des rameaux A3 se forment sur les plus longs axes A2 qui rappellent les limites des UA1. Ceci complète l'édification d'une structure hiérarchisée à trois catégories d'axes, décrite au stade de jeune plant, qui représente l'unité architecturale de niveau 2

(UA2) (figures 1c et 2c). L'organisation de l'UA2 est conforme au modèle de Rauh (Hallé & Oldeman 1970).

La quatrième étape correspond à la duplication de l'UA2. L'apex du jeune tronc avorte et une fourche aux brins inégaux se forme à partir de deux bourgeons subterminaux. Un des deux éléments de la fourche est plus long et reproduit la structure de l'UA2. Il se redresse et prend le relais du tronc. L'autre, plus petit et de structure plus divariquée, s'affaisse légèrement et donne une branche à deux catégories d'axes (figures 1d et 2d).

La cinquième étape du développement équivaut à la différenciation et à l'invasion des axes A4 à l'échelle de l'arbre. Tandis que les UA2 se succèdent et forment le tronc, leurs branches acquièrent le potentiel de se ramifier latéralement jusqu'à l'ordre 4. L'empilement et la métamorphose des UA2 conduit à l'édification d'une structure hiérarchisée à 4 catégories d'axes décrite au stade de jeune arbre. Elle représente l'unité architecturale de niveau 3 (UA3) qui est l'unité architecturale caractéristique de l'espèce (figures 1e et 2e). Son organisation est apparentée au modèle de Koriba (Hallé et Oldeman 1970).

La sixième étape du développement consiste en la duplication de l'UA3. La mortalité de l'apex du tronc est suivie de la mise en place d'une fourche dont les éléments reproduisent la structure du jeune arbre avec ses 4 catégories d'axes. Aucune dominance ou différenciation ne se manifeste entre ces réitérats totaux de sorte que la fourche est persistante et que la croissance en hauteur du tronc est définitivement interrompue. Chaque réitérat total fourche ensuite à son tour (figure 1f). La couronne de l'arbre est une succession de fourches terminales dont les éléments sont de plus en plus petits et peu ramifiés. L'unité minimale n'a pas été observée.

Variations:

La première variation observée concerne l'apparition de fourches lors de la duplication des UA1. Il arrive qu'en fin d'UA1, deux axes subterminaux se forment et se partagent la dominance. Une fourche apparaît et se maintient jusqu'à ce qu'une différenciation entre les

éléments permette le redressement de l'un, qui poursuit la croissance du tronc, et l'affaissement ou la mort de l'autre.

La deuxième variation observée concerne la reconnaissance des UA1 à l'intérieur des UA2. Il n'est pas toujours possible de distinguer des UA1 dans un système monopodial tel qu'il est décrit aux stades de très jeune plant et de jeune plant. Elles ne sont perceptibles que si les unités de croissance du tronc sont suffisamment petites pour permettre l'expression de la rythmicité de la ramification. Si les unités de croissance sont grandes, leur acrotonie cache l'expression du niveau d'organisation sous-jacent.

La troisième variation observée concerne l'expression possible d'une croissance sympodiale à l'intérieur des UA2. La fourche transitoire en fin d'UA2 apparaît constante pour l'espèce et dépend directement d'un plan d'organisation polyarchique à la limite d'une unité architecturale. Entre deux limites d'UA2, le long du tronc, des morts d'apex peuvent néanmoins survenir pour des raisons diverses (gel de l'apex, piquûre d'insecte, etc.). Ces évènements surviennent de façon non prévisible, bien que fréquents, et ne sont pas nécessairement associés à un plan d'organisation polyarchique. Aussi, il arrivera qu'on observe des mortalités de l'apex qui ne sont pas suivies de la mise en place d'une fourche ou de l'établissement d'une grosse branche, confirmant ainsi le plan d'organisation hiérarchisé de l'arbre.

La quatrième variation observée concerne la possibilité de réitération totale et de persistance de fourche basse sur le tronc, au moment de la duplication des unités architecturales de niveau 1 et 2 (UA1 et UA2). Les conditions du milieu qui poussent l'arbre à fourcher de façon permanente avant qu'il ait eu le temps de mettre en place son unité architecturale de niveau 3 n'ont pas été identifiées.

La cinquième variation observée concerne la possibilité de réitération totale à la base de l'arbre par développement différé. Des rejets se forment à partir de bourgeons adventifs. On peut ainsi retrouver des arbres en touffes. Le diamètre et le développement variables des arbres suggèrent que cette régénération végétative peut s'étendre sur une grande période de temps. Des

rejets à la base des arbres peuvent se développer même si les conditions d'ombrage en milieu fermé favorise l'élagage des branches du tronc.

Diagnostic de l'architecture des arbres de rues

Les données regroupant les deux territoires sont présentées sous la forme d'histogrammes (figures 4 à 9). Pour chacun, les différences entre les contextes d'élagage (SF à 3F) sont significatives. Un test d'analyse des fréquences a été fait sur chaque matrice de données utilisée et les seuils observés sont inférieurs au seuil classique de 0.05. Dans le territoire 1 pris isolément, les différences entre les contextes d'élagage sont encore plus significatives tandis qu'elles le sont moins dans le territoire 2. On interprète cela du fait que dans le territoire 2, les conditions de croissance semblent plus difficiles, ce qui affecterait la possibilité de réaction des arbres aux différents types d'élagages. Pour les besoins de l'analyse des résultats, nous considérons les données regroupées en spécifiant seulement au besoin la distinction observée entre les deux territoires.

Hauteur et nombre des branches maîtresses:

Les toutes premières branches maîtresses (ou premières fourches du tronc) se situent en général à 2 m du sol (figure 4). Les seuls arbres qui présentent une fourche à 1 m (territoire 1, contexte 1F) sont situés derrière une clôture de propriété privée et ont vraisemblablement subi un traitement différent de celui des autres arbres de rue. Dans tous les contextes d'élagage, les fourches basses (2 ou 3 m du sol) touchent au moins 45% des arbres. Dans le contexte sans fil, 22% des arbres présentent une première branche maîtresse à 2 m du sol, 37% à 3 m, tandis que dans 41% des cas, le tronc fourche à une hauteur située entre 4 et 8 m du sol (figure 4). Dans les autres contextes (FC, 1F, 3F), la proportion des arbres qui ont une première branche maîtresse à 2 m tend à augmenter. C'est dans le contexte à trois fils de large (3F) qu'on retrouve la plus grande proportion d'arbres fourchés bas (2 ou 3 m: 77% comparativement à 59% dans le contexte SF, 48% dans le contexte

FC et 45% dans le contexte 1F) et la plus grande proportion d'arbres fourchés à 3 m (45% comparativement à 37% dans le contexte SF, 21% dans le contexte FC et 16% dans le contexte 1F).

Pour ce qui est des fourches hautes (6 m et plus), les résultats nous montrent qu'elles sont déjà peu nombreuses dans le contexte SF (8% des arbres, figure 4). Elles le sont encore moins dans le contexte 3F (2%) mais on y atteint tout de même une fois 10 m, ce qui n'a même pas été vu dans le contexte SF. Dans le contexte 1F, les premières fourches à 7 m et à 8 m ont été éliminées par rapport au contexte SF mais les fourches à 6 m sont plus nombreuses (11%), ce qui fait qu'au total les fourches hautes (6 m et plus) sont plus nombreuses dans le contexte 1F (11%) que dans le contexte SF (8%). Les premières fourches à 4 m sont également plus nombreuses dans le contexte 1F (34%) que dans le contexte SF (26%). Enfin, le contexte fils de côté (FC) est celui qui présente le plus de cas de fourches hautes (38% ont leur première branche maîtresse à une hauteur de 6 à 10 m), malgré que plusieurs de ces arbres peuvent avoir été taillés au niveau de leur flèche en raison de leur proximité des fils et de la possibilité qu'ils avaient de pousser à l'intérieur de la zone de dégagement. L'analyse des fourches à 4 m et à 6 m et plus dans les différents contextes nous amène à conclure que les tailles de dégagement ont réussi à remonter la hauteur de la première fourche dans de nombreux cas.

En considérant plus particulièrement les contextes SF et 1F, on voit que le contexte 1F présente moins d'arbres fourchés à 3 m et plus d'arbres fourchés à 4 m et à 6 m (figure 4). Bien qu'ayant éliminé quelques fourches hautes (7 m et 8 m) et ayant augmenté le nombre de fourches à 2 m, la taille semble surtout avoir augmenté la hiérarchie dans l'arbre et la différenciation d'un tronc unique jusqu'à 4 et 6 m, ce qui est l'inverse de l'effet souhaité et qui fait dire que la taille n'a pas été efficace pour baisser la hauteur de fourche dans le contexte 1F. La réussite est toutefois plus grande dans le contexte 3F.

Les différences en nombre de branches maîtresses pour les arbres des quatre contextes suivent une tendance semblable (figure 5). Dans les contextes FC et 1F, les arbres présentent en général moins de branches maîtresses que dans le contexte SF: ils présentent plus souvent 2 branches (45%

des arbres FC, 27% des arbres 1F et 18% des arbres SF) et moins souvent 5 branches et plus (24% des arbres FC, 18% des arbres 1F et 36% des arbres SF). À l'inverse, les arbres du contexte 3F présentent plus de branches maîtresses que dans le contexte SF: ils présentent moins souvent 2 branches (8% des arbres 3F contre 18% des arbres SF) et plus souvent 5 branches et plus (46% des arbres 3F contre 36% des arbres SF). La taille dans le contexte 3F semble avoir eu pour effet d'augmenter l'intensité de la polyarchie chez les arbres du fait qu'on y retrouve un plus grand nombre de branches maîtresses. La taille dans les contextes 1F et FC semble toutefois avoir eu l'effet inverse d'atténuer la polyarchie du système. De façon générale, tous territoires confondus, les différents contextes se disposent dans le même ordre selon qu'il y a augmentation de la hauteur de la première branche maîtresse ou diminution du nombre de branches maîtresses (3F, SF, 1F, FC). Ceci peut se traduire de la même façon en termes d'intensité de la polyarchie inscrite dans la structure des arbres au niveau du tronc et de ses fourches maîtresses, allant en diminuant de 3F à SF, à 1F et à FC.

Si on considère que l'intensité des tailles que subissent les arbres augmente de SF à FC, à 1F, à 3F, on peut interpréter qu'un seuil de tolérance des arbres a été dépassé entre le contexte 1F et 3F. La taille dans les contextes 1F et FC a aidé au rétablissement de la hiérarchie dans la structure de l'arbre (augmentation de la hauteur de la fourche et diminution du nombre de branches maîtresses) tandis qu'avec l'intensité plus forte de la taille dans le contexte 3F, il semble qu'un seuil d'épuisement de l'arbre ait été atteint, ce qui a provoqué l'inverse, c'est à dire une augmentation de la polyarchie dans la structure de l'arbre (baisse de la hauteur de la fourche et augmentation du nombre de branches maîtresses). L'effet n'est toutefois pas valable pour le territoire 2 pris isolément. Le nombre de branches maîtresses ne diminue pas du contexte SF au contexte 1F, au contraire. Ceci peut se comprendre puisque dans le territoire 2, les conditions de croissance semblent plus difficiles et le seuil d'épuisement de l'arbre peut avoir été plus rapidement dépassé.

État de réaction des arbres:

Le pourcentage du volume de la cime sous la forme de rejets est un bon indice de l'intensité de la réaction des arbres. Si on considère l'ensemble des arbres des deux territoires, on constate que le pourcentage des cimes en rejets est au plus bas dans le contexte SF et au plus haut dans le contexte 3F (figure 6). Près de 50% des arbres dans le contexte SF ne présentent que 0 à 5% du volume de leur cime sous la forme de rejets, contre 41% des arbres du contexte FC, 32% des arbres du contexte 1F et 9% des arbres du contexte 3F. L'ordre de fréquence des arbres par contexte s'inverse déjà lorsqu'on considère un pourcentage de 5 à 25% du volume de la cime en rejets: 34% des arbres SF, 38% des arbres FC, 43% des arbres 1F et 46% des arbres 3F. L'écart entre le contexte 3F et les autres est encore plus prononcé si on considère un pourcentage de 25 à 50 en rejets: 30% des arbres 3F contre 17% des arbres 1F, 10% des arbres FC et 10% des arbres SF. Enfin, 15% des arbres 3F présentent un pourcentage de leur cime en rejets de plus de 50%, comparativement à 7% des arbres 1F, 10% des arbres FC et 8% des arbres SF. De façon générale, l'intensité de la réaction de l'arbre (en termes de pourcentage de rejets) augmente avec l'augmentation de l'intensité de la pression de taille sur les arbres: de SF à FC, à 1F, à 3F.

Cette tendance est légèrement plus prononcée dans le territoire 1 pris isolément et légèrement moins dans le territoire 2 (non illustré ici). Il semble que dans le territoire 2, d'autres facteurs de stress s'ajoutent, ce qui aurait pour effet de diluer l'effet seul des contextes sur l'intensité de la réaction des arbres. D'ailleurs, si on considère l'ensemble des arbres de tous les contextes, l'intensité de leur réaction est plus forte (plus grand pourcentage en rejets) dans le territoire 2 que dans le territoire 1. Dans le territoire 2, les plus grands pourcentages d'arbres ont 5 à 25 et 25 à 50% de leur cime en rejets tandis que dans le territoire 1, les plus grands pourcentages d'arbres ont 0 à 5 et 5 à 25% de leur cime en rejets. Ceci confirme que les arbres du territoire 2 subissent un plus haut niveau de stress que les arbres du territoire 1.

L'examen de la position des rejets pour sa part, ne permet pas vraiment de faire des interprétations sur l'état des arbres (données non illustrées ici). Dans tous les contextes, les rejets se

distribuent surtout dans le bas (plus de 65% des arbres) et au centre (plus de 86% des arbres) de la cime, ce qui équivaut respectivement à vis-à-vis et en-dessous des fils. Les rejets les plus nombreux pour chaque arbre sont le plus souvent au centre de la cime (plus de 65% des arbres dans tous les contextes). Ceci signifie que la position des rejets, lorsqu'il y en a, ne change pas vraiment selon que l'arbre est plus ou moins intensément taillé. N'oublions pas cependant que les rejets du bas ont été sous évalués dans tous les contextes en raison du passage des élagueurs de la Ville suite au verglas de l'hiver 1998, ce qui ne permet pas de comparer la tendance des arbres à rejeter du tronc selon les contextes.

La longueur des unités de croissance poussées en 1999 (en périphérie de la cime, à l'extrémité des rejets du centre et à l'extrémité des rejets du bas) donne par ailleurs une idée de la répartition du potentiel de croissance dans l'arbre, bien qu'on n'ait pas tenu compte du nombre de tiges à chaque niveau (figures 7, 8 et 9). De façon générale, tous contextes confondus, la longueur des pousses de 1999 est surtout de 5-10 ou 10-25 cm en périphérie de la cime, de 25-50 ou 50-100 cm chez les rejets du centre et de 50-100 ou 100-200 cm chez les rejets du bas. Le taux de croissance des rejets est généralement plus grand que celui des tiges du haut de la cime. Ceci est encouragé par l'état de réaction des arbres.

Quelques différences s'observent entre les contextes. Pour ce qui est des unités périphériques (figure 7), les arbres du contexte 1F présentent le plus faible taux de croissance (27% des arbres ont une pousse de 0 à 5 cm contre 14% dans le contexte SF, 3% dans le contexte FC et 9% dans le contexte 3F) tandis que les arbres du contexte 3F présentent le plus élevé (48% des arbres ont une pousse de 10 à 25 cm, contre 35% dans le contexte SF, 34% dans le contexte FC et 15% dans le contexte 1F). Plus l'intensité de la pression d'élagage augmente (de SF vers FC, 1F et 3F), plus l'arbre produit des rejets (figure 6), plus l'arbre dispose d'un espace limité pour pousser (Millet & Bouchard 1998) et plus le nombre total de tiges en périphérie risque de diminuer (non mesuré) en raison des tailles de plus en plus intenses. L'interprétation des effets de ces différents facteurs sur le taux de croissance des tiges est hasardeuse dans l'état actuel de nos connaissances. Il semble pour le moment que dans les contextes FC et 1F, les tailles de dégagement provoquent une diminution de

la longueur des unités de croissance périphériques, soit à cause de la compétition pour le potentiel de croissance avec les rejets, soit à cause d'un affaiblissement de l'arbre dû aux tailles. Dans le contexte 3F, les pousses en périphérie de la cime sont plus longues malgré l'intensité plus grande des tailles de dégagement. Il est possible que ce soit dû à une plus forte concentration du potentiel de croissance sur un nombre limité de tiges. Ceci ne pourrait être confirmé que par des mesures appropriées. On peut tout au moins retenir pour le moment qu'un seuil a été dépassé du contexte 1F au contexte 3F faisant que la réaction des arbres a basculé une fois de plus dans sa tendance. Si on considère les deux territoires 1 et 2 séparément, on retrouve les mêmes tendances selon les contextes mais le taux de croissance est plus faible de façon générale dans le territoire 2 comparativement au territoire 1.

En ce qui concerne les unités de croissance 1999 des rejets du centre, on observe que les arbres du contexte 3F présentent les plus longues unités par rapport aux autres contextes (figure 8). On note que 54% des arbres du contexte 3F ont une pousse 1999 de 50 cm à 2 m de long, comparé à 33% dans le contexte SF, à 27% dans le contexte 1F et à 17% dans le contexte FC, les unités des contextes 1F et FC ne dépassant pas 1 m de long. Cette même tendance se retrouve dans les deux territoires pris séparément, avec une croissance généralement plus forte dans le territoire 1 que dans le territoire 2. Ceci met en évidence le fait que les arbres soumis au dégagement d'un système à trois fils de large (3F) sont en forte réaction et tentent avec vigueur de rétablir une cime de remplacement à l'aide de rejets du centre qui sont les plus nombreux. Ceci est un effet indésirable de la taille dans le contexte 3F.

En ce qui concerne finalement les unités de croissance 1999 des rejets du bas, on observe que les arbres du contexte 3F présentent également les plus longues unités par rapport aux autres contextes (figure 9): 38% des arbres du contexte 3F ont une pousse 1999 de 1 à 2 m de long, comparé à 12% dans le contexte 1F, à 10% dans le contexte FC et 12% dans le contexte SF. Cette même tendance se retrouve dans les deux territoires pris séparément avec une croissance généralement plus forte dans le territoire 1 que dans le territoire 2. Ceci confirme une fois de plus la très forte réaction des arbres soumis au contexte 3F et leurs efforts pour rétablir une cime de remplacement.

4. DISCUSSION

L'analyse architecturale de l'érable argenté a permis d'identifier les règles de croissance qui sous-tendent le développement de l'espèce. On a pu mettre en évidence la nature sympodiale de la croissance de l'érable argenté, identifier les trois niveaux d'organisation entre ses tiges, suivre l'alternance des plans d'organisation (hiérarchique et polyarchique) lors de son développement et décrire ses unités architecturales (UA1, UA2 et UA3) dont la plus élaborée est composée d'un maximum de quatre catégories d'axes différenciés. On a constaté que l'espèce a le potentiel de faire de la réitération totale avant même que son unité architecturale de niveau trois (UA3) soit établie. Tous ces caractères favorisent chez l'arbre une grande plasticité de sa forme et une aisance à s'adapter aux conditions du milieu. On comprend à la lumière de ces informations que l'érable argenté soit reconnu pour sa facilité à former des fourches sous les fils (B. Paquet, comm. pers.). La connaissance des caractéristiques architecturales et de développement de l'érable argenté nous permet maintenant d'interpréter les données que nous avons recueillies sur les arbres de rue.

Le diagnostic de l'architecture des arbres et du taux de croissance des tiges dans les quatre contextes d'élagage révèle des différences plus significatives dans le territoire 1, où les conditions de croissance sont plus favorables, mais suivent généralement les mêmes tendances dans les deux territoires. Une différence majeure fait exception. On remarque dans le territoire 1, contre toute attente, que la hauteur de la première fourche (première branche maîtresse) est en général plus élevée chez les arbres situés sous un fil de large (contexte 1F) que chez les arbres du contexte sans fil (SF). Ceci est exactement l'inverse de ce qui a été souhaité par les intervenants puisque le but de tailler les arbres sous les fils était essentiellement de les en éloigner, ce qui n'a pas été réussi dans le contexte 1F. On peut interpréter ce phénomène à la lumière des nouvelles connaissances du mode de développement de l'érable argenté et en tenant compte de l'histoire des arbres de rue (Millet & Bouchard 1998). Lorsque les arbres ont été plantés de part et d'autre des rues, ils ont fait l'objet pendant les premières années de tailles de formation. On voulait de cette façon assurer une bonne croissance rectiligne des troncs et éliminer progressivement les branches

basses de façon à dégager les voies de circulation pour les piétons et les véhicules motorisés. Les tailles de formation ont cessé lorsque les arbres ont atteint 2,10 m afin de leur permettre d'établir leur cime définitive. Les arbres étaient certainement en état de réaction après les multiples tailles qu'ils venaient de subir, ce qui ne pouvait qu'accentuer la polyarchie de leur système (Genoyer 1994). On peut présumer qu'à 2-3 m du sol, la majorité des arbres ont eu tendance à produire un grand nombre de branches maîtresses. Cette tendance n'a pu qu'être accentuée par la taille des flèches terminales. En effet, il semble qu'il y a cinquante ans c'était une pratique courante de couper la flèche terminale des arbres à 2,10 m de hauteur dans le but de provoquer la fourchaison et l'établissement des branches maîtresses (B. Paquet, comm. pers.). L'ensemble des arbres, avec ou sans fils, ont donc été soumis à un ensemble de conditions favorisant l'établissement de nombreux éléments de fourche à partir de 2,10 m du sol. Ceci se vérifie aujourd'hui dans le contexte SF (tous territoires confondus) où 59% des arbres présentent une première fourche à 2-3 m (figure 4) et que 55% des arbres ont 4 branches maîtresses ou plus (figure 5). Néanmoins, le rétablissement de la dominance du tronc a été possible dans plusieurs cas. Environ 41% des arbres du contexte SF ont établi leur première fourche définitive à une hauteur située entre de 4 et 8 m. Ces chiffres suggèrent que les arbres n'avaient pas atteint à 2-3 m la pleine expression de leur unité architecturale UA3, ce qui ne les disposait pas naturellement à établir aussi rapidement leur cime par réitération totale. Ceux qui l'ont fait ont été aidés par des conditions stimulant une fourchaison rapide et par le potentiel que possède tout de même l'espèce de réitérer totalement avant l'accomplissement de son UA3. Drénou (1999) explique que plus le nombre d'éléments de fourche est élevé, plus le retour de la hiérarchie du système est difficile. Même si physiologiquement, l'arbre n'était pas disposé à établir de lui-même une fourche permanente, la réaction au traumatisme (ici la taille de la flèche) peut avoir provoqué la mise en place d'une fourche qui persiste ensuite dans sa structure (Drénou 1999; Genoyer 1994).

Les arbres positionnés au-dessous des fils ont certainement tout autant fourché à 2-3 m que les arbres sans fil. Toutefois, les tailles de dégagement du réseau ont orienté différemment leur devenir. Les intervenants ont certainement cherché à conserver les éléments de fourche les plus

éloignés des fils et à éliminer ceux qui poussaient trop directement dessous. L'élimination d'un certain nombre d'éléments de fourche a visiblement favorisé une levée d'inhibition et une reprise de la dominance apicale par un des éléments épargnés, expliquant que sous un fil de large (contexte 1F) les fourches basses (2-3 m) sont aujourd'hui moins fréquentes et les fourches hautes (6 m et plus) plus fréquentes que dans le contexte sans fil. Ceci confirme que les arbres n'avaient pas atteint à 2-3 m une maturité ontogénique suffisante (UA3 complétée) les disposant à fourcher naturellement de façon permanente. Ce sont les conditions de traitement (tailles de formation et coupe de la flèche) qui ont favorisé l'établissement des fourches à 2-3 m, puis la poursuite des tailles sous les fils a permis le rétablissement de la dominance du tronc, ce qui était l'inverse de l'effet souhaité. Cette réaction aurait pu être prévisible si on avait su reconnaître la séquence de développement de l'espèce et l'expression inachevée de l'UA3. Plusieurs approches auraient alors pu être expérimentées: sauvegarde plus ou moins prolongée des éléments de fourche, détournement mécanique des tiges, réévaluation de la méthode de taille de formation, etc. Mais il aura fallu attendre de nombreuses années avant de pouvoir constater et comprendre comment les tailles sous les fils ont pu provoquer un tel effet indésirable. Une taille justifiée à l'époque par un besoin de dégagement du réseau a eu pour effet, au contraire, de rapprocher encore plus le tronc du réseau et d'augmenter par le fait même la menace qu'exerce sur les fils la croissance forte d'une flèche dominante.

Dans le contexte à trois fils de large (3F), les fourches hautes ont été pratiquement éliminées. On retrouve surtout des fourches basses. On serait tenté de conclure à la réussite des opérations de taille. Toutefois, sachant maintenant que la polyarchie à 2-3 m était surtout imposée par les conditions de traitement et maintenue par la présence de nombreux rejets, on peut présumer que tout comme dans le contexte 1F, les arbres du contexte 3F ont dû tenter de rétablir la hiérarchie de leur système. Mais les tailles plus sévères et répétitives du contexte 3F ont eu raison de ces tentatives. Ce sont les arbres du contexte avec fils de côté (FC) qui ont pu profiter au mieux du rétablissement de la hiérarchie de leur système (38% des arbres ont leur première fourche à 6-10 m de haut, figure 4). On peut conclure que les fourches basses en 3F résultent

plus de l'acharnement des opérations de tailles que de la réussite d'une bonne orientation de la croissance. La hiérarchie dans la structure de l'arbre a été combattue jusqu'à ce qu'une fourche basse se mette en place avec des tiges suffisamment affaissées et éloignées du réseau pour être épargnées des tailles. Il est certain que les tailles ont dû être beaucoup plus intenses et plus coûteuses, pour l'arbre et pour l'intervenant, qu'il n'aurait été nécessaire si l'arbre avait été soumis à des conditions de traitement le disposant naturellement à fourcher bas. Non seulement la tentative de l'arbre à rétablir sa hiérarchie a dû être combattue pendant de longues années à grands frais de coûts d'opération mais, en plus, cet acharnement a influencé la qualité du développement subséquent de la cime.

Les cycles de tailles-repousses qui ont suivi l'établissement de la première fourche ont accentué dans les contextes 1F et 3F l'effet déstabilisant des tailles sur le plan d'organisation de l'arbre. Nos données révèlent en effet que plus la pression de taille augmente (de SF à FC, à 1F, à 3F), plus le pourcentage de la cime en rejets est grand (figure 6) et plus la croissance de ces rejets est grande (figures 8 et 9). Ce fait met en évidence que plus les arbres sont intensément taillés, plus leur plan d'organisation est affecté, devenant plus polyarchique avec une profusion de rejets qui tentent de remettre en place une nouvelle cime. De plus, la plus grande prolifération de rejets se situe à proximité des fils, ce qui maintient élevée la menace qu'exerce l'arbre sur les fils sous l'effet de sa croissance. Un plan d'organisation polyarchique rend encore plus difficile la tentative d'orienter la croissance de l'arbre. Celle-ci a plutôt tendance à se faire dans tous les sens.

L'analyse architecturale de l'érable argenté en milieu naturel a pourtant révélé que son potentiel de faire de la réitération totale avant l'établissement de son UA3 le rend apte à établir des réitérats ou branches maîtresses à basse hauteur dont le développement par la suite répond à un plan d'organisation hiérarchisé (illustré à la figure 10a). Les premières unités architecturales que l'arbre produit dans sa cime sont généralement les plus longues après le tronc (Millet, Bouchard & Édélin 1998b, 1999; Caraglio & Édélin 1990; Hallé, Oldeman & Tomlinson 1978). De réitération en réitération, elles diminuent de longueur mais le maximum de déploiement des unités

est possible au début de la séquence. De longues unités architecturales seraient tout à fait adéquates de part et d'autre des fils (figure 10a). Toutefois, les interventions ont au contraire provoqué le schéma inverse (figure 10b). On a encouragé une plus grande hiérarchie (H) à bas âge et finalement la polyarchie (P) a été accentuée dans la cime sous l'effet des tailles répétitives. Si on compare les deux scénarios (figures 10a et 10b), on comprend que la taille d'une branche à la hauteur des fils n'implique pas le même type de tige dans les deux cas et a peu de chance d'être suivi par la même réaction de croissance. Dans le premier cas, la taille (t_1) est faite à la base d'une branche secondaire (A2) tandis que dans le deuxième cas (t_2) elle est faite à la base d'un réitérat total (A1). La branche sectionnée en t_1 a un taux de croissance et une durée de vie relativement faibles du fait qu'elle est intégrée dans une unité architecturale hiérarchisée à forte dominance apicale. En plus, les branches situées dans la zone de contact entre deux unités architecturales ont naturellement tendance à être plus menues que celles poussant vers l'extérieur. La taille t_1 a peu de chance de provoquer une forte prolifération de rejets. Par contre, la taille t_2 (figure 10b) équivaut en quelque sorte à enlever un petit arbre complet. La dominance de sa tête est forte, son taux de croissance relativement élevé et sa durée de vie longue. Sa taille risque plus d'être suivie par une prolifération de rejets à croissance forte, multipliant d'autant la menace faite aux fils.

7. CONCLUSION

L'analyse architecturale de l'érable argenté a permis d'identifier les règles de croissance qui sous-tendent le développement de l'espèce et d'interpréter ses réactions de croissance lorsqu'elle est soumise aux tailles de dégagement du réseau de distribution. On constate que les tailles ont eu des effets contraires à ceux souhaités à deux niveaux. On a encouragé la hiérarchie sous les fils alors que la polyarchie précoce aurait été plus adéquate. Ensuite, on a accentué la polyarchie à la hauteur des fils alors que la hiérarchie aurait permis un dépassement plus rapide de la zone de dégagement et limité le nombre de tiges à forte croissance poussant en direction des fils. Les nouvelles connaissances du mode de développement de l'érable argenté et de son potentiel de réaction aux conditions du milieu nous permettent de comprendre l'origine de la grande plasticité

de la forme qui rend l'espèce intéressante à planter en bordure des rues. Toutefois, ses potentialités ont été mal exploitées. Sa taille sous les fils l'a surtout encouragée à faire l'inverse de ce dont elle est capable avec comme résultat d'avoir amplifié considérablement les besoins d'interventions: tailles nécessaires plus importantes, plus fréquentes sur une période de temps plus longue. Ceci démontre l'importance de tenir compte de l'âge ontogénique de l'arbre dans le choix des interventions appropriées afin d'éviter les interventions inutiles et surtout néfastes.

Dans le contexte étudié, il aurait été souhaitable, soit de faire coïncider l'établissement de la première UA3 avec la hauteur de fourche souhaitée, soit de provoquer une fourchaison rapide mais en s'assurant par la suite de sa permanence dans la structure. L'expérimentation de méthodes adéquates pour orienter la croissance des arbres est nécessaire. Ceci permettrait de trouver des solutions pour éviter de combattre l'arbre et mettre plutôt à profit ses potentialités de croissance en fonction des objectifs d'aménagement. Il nous apparaît important de rendre accessibles aux élagueurs et aux gestionnaires les connaissances de l'architecture et du mode de développement des arbres et, avant cela, de veiller à mettre à jour ces connaissances essentielles.

REMERCIEMENTS

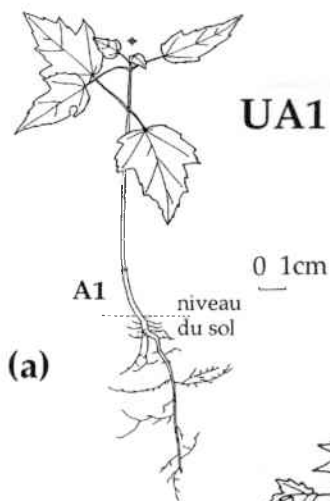
Nous remercions C. Lareau pour sa participation à la collecte des données dans les rues de Montréal et pour la confection des histogrammes. L'accès aux parcs-nature de la Communauté urbaine de Montréal a rendu possible l'analyse architecturale en milieu naturel. La Ville de Montréal a fourni une banque de données sur les arbres qui a facilité le choix des sujets observés en bordure de rue. Enfin, l'étude a été possible grâce au financement d'Hydro-Québec, Distribution et service à la clientèle, qui nous a été accordé par l'entremise de G. Pellerin, conseiller en recherche scientifique.

RÉFÉRENCES

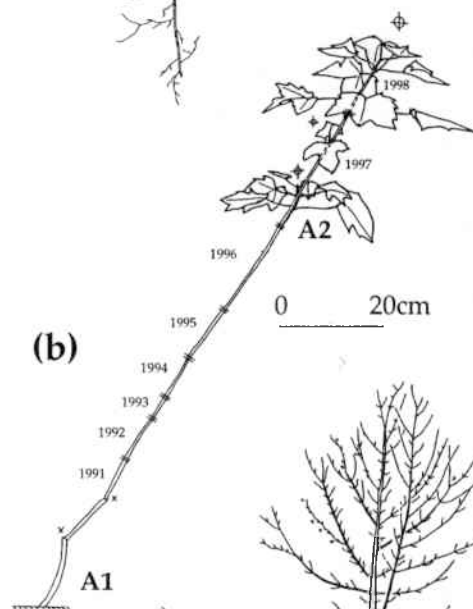
- Barthélémy, D. 1990. Levels of organization and repetition phenomena in seeds plants. *Acta biotheoretica*, 39: 309-323.
- Barthélémy, D., C. Édelin & F. Hallé. 1989. Architectural concepts for tropical trees. In: *Tropical forests. Botanical dynamics, speciation and diversity*. Holm-Nielsen, L.B., I.C. Nielsen et H. Balslev (Eds) Academic Press, Londres: 89-100.
- Bouchard, A. 1979. La végétation forestière du cap Saint-Jacques, île de Montréal, Québec. *Canadian Journal of Botany* 57: 1191-1202.
- Caraglio, Y. & C. Édelin. 1990. Architecture et dynamique de croissance du platane. *Platanus hybrida* Brot. (Platanaceae). *Bull. Soc. bot. Fr.* 137, *Lettres bot.* (415): 279-291.
- Domon, G., A. Bouchard, Y. Bergeron & C. Gauvin. 1986. La répartition et la dynamique des principales espèces arborescentes du Bois-de-Saraguay, Montréal (Québec). *Canadian Journal of Botany* 64 (5): 1027-1038.
- Drénou, C. 1996. Les fourches: un problème de taille.... *Forêt-entreprise*, no 108: 43-47.
- Drénou, C. 1999. La taille des arbres d'ornement: du pourquoi au comment. Institut pour le développement forestier, Paris.
- Édelin, C. 1977. Images de l'architecture des conifères. Thèse de doctorat en Sc. Biologiques, Université des Sciences et Techniques du Languedoc. 146 p.
- Édelin, C. 1984. L'architecture monopodiale. L'exemple de quelques arbres d'Asie tropicale. Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier. 258 p.
- Édelin, C. 1991. Nouvelles données sur l'architecture des arbres sympodiaux: le concept de plan d'organisation. In: *L'Arbre: Biologie et Développement*, Édelin, C. (Ed.), *Naturalia Monspeliensia*, Actes du 2^{ième} Colloque international sur l'Arbre: 127-154.
- Genoyer, P. 1994. Contribution à l'étude de la régénération d'arbres traumatisés. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, Montpellier. 191 pp.
- Hallé, F. 1986. Modular growth in seed plants. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 313: 77-87.
- Hallé, F. & C. Édelin. 1986. L'analyse architecturale des arbres. 6^{ième} Colloque sur les recherches fruitières - Bordeaux, 10-11 déc. 1986. 15 p.
- Hallé, F. & F. S. P. Ng. 1981. Crown construction in mature Dipterocarp trees. *The Malaysian Forester*, 44 (2-3): 222-233.
- Hallé, F. & R. A. A. Oldeman. 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*. Masson et Cie. Paris. 178 p.
- Hallé, F., R. A. A. Oldeman & P. B. Tomlinson. 1978. *Tropical trees and forests: an architectural analysis*. Springer-Verlag. 441 p.

- Millet, J. & A. Bouchard. 1998. Structuration de la forme des arbres en fonction des besoins des utilités publiques et des attentes des citoyens. Rapport d'étude préparé pour Hydro-Québec et la Ville de Montréal. Mars 1998. 53 pp.
- Millet, J., A. Bouchard & C. Édelin. 1998a. Plant Succession and Tree architecture: An Attempt at Reconciling Two Scales of Analysis of Vegetation Dynamics. *Acta Biotheoretica*, 46(1):.1-22.
- Millet, J., A. Bouchard & C. Édelin. 1998b. Plagiotropic architectural development of four tree species of the temperate forest. *Canadian Journal of Botany* 76: 2100-2118.
- Millet, J., A. Bouchard & C. Édelin. 1999. Relationship between architecture and successional status of trees in the temperate deciduous forest. *Écoscience* 6 (2): 187-203.
- Oldeman, R. A. A. 1974. Architecture de la forêt guyanaise. O.R.S.T.O.M. ed., Mémoire n° 73, 204 p.
- Oldeman, R. A. A. 1990. Forests: elements of sylvology. Berlin Heidelberg New-York, Springer-Verlag ed. 624 p.

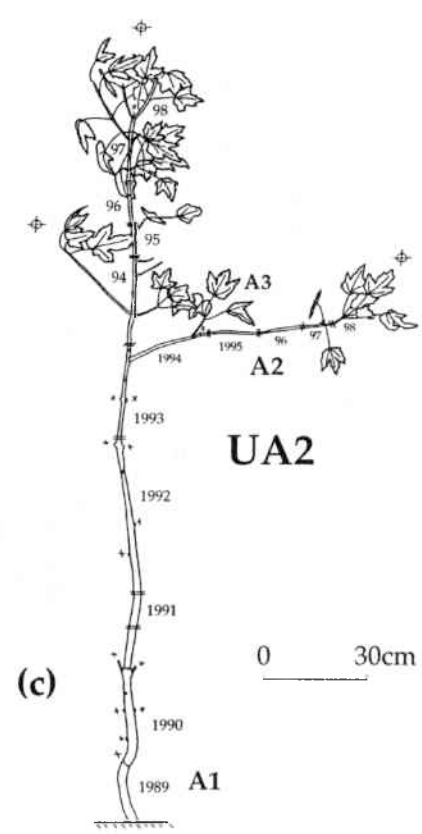
Figure 1. *Acer saccharinum* a) plantule; b) très jeune plant d'au moins dix ans; c) jeune plant de près d'un mètre de haut; d) très jeune arbre d'environ 6m de haut; e) jeune arbre d'environ 11m de haut; f) arbre adulte d'environ 20m de haut; ϕ : phyllotaxie opposée-décussée; = : limite des unités de croissance; \times : mortalité de l'apex; An : axe de catégorie n ; UAn : unité architecturale de niveau n , 199-: année de l'élongation de l'unité de croissance.



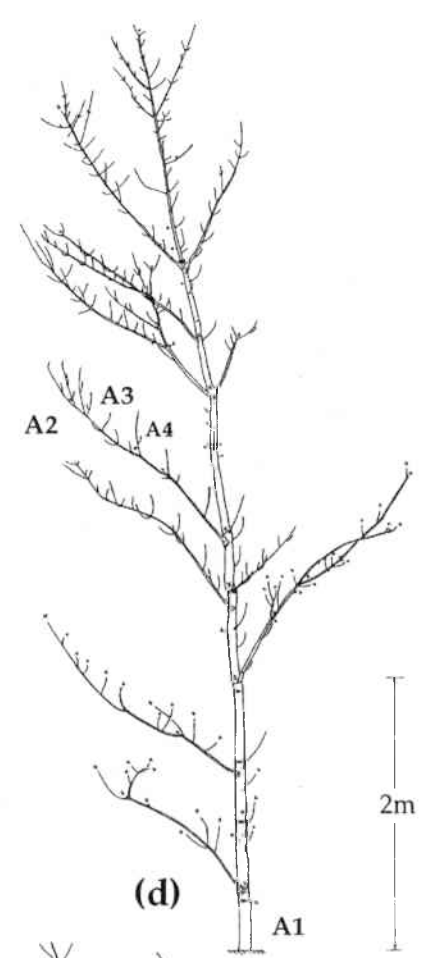
(a)



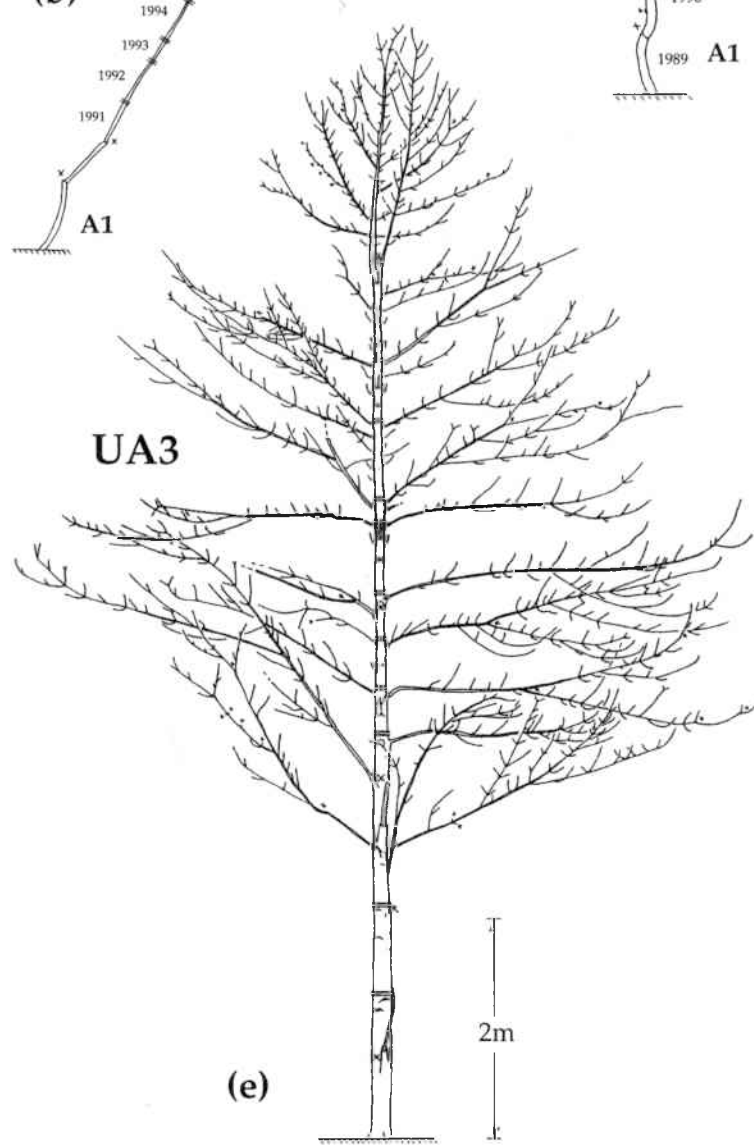
(b)



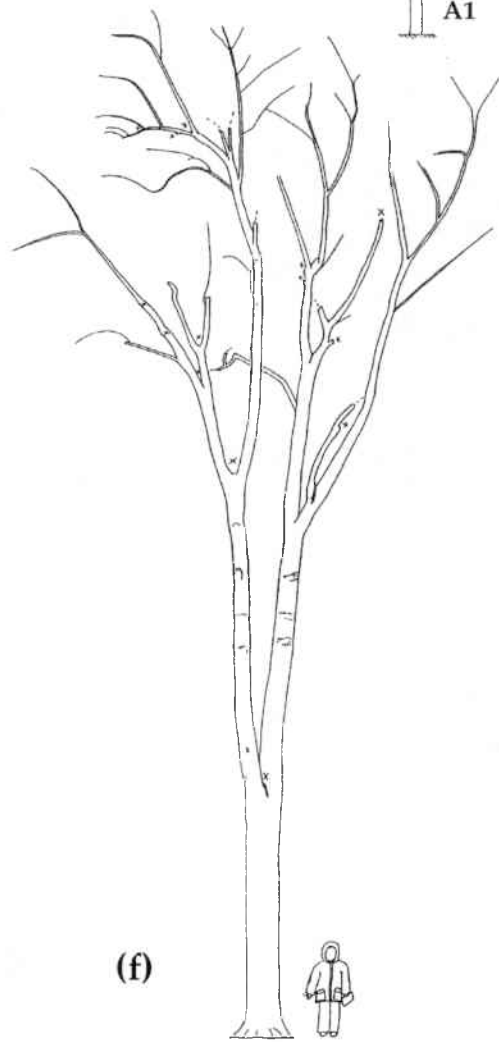
(c)



(d)



(e)



(f)

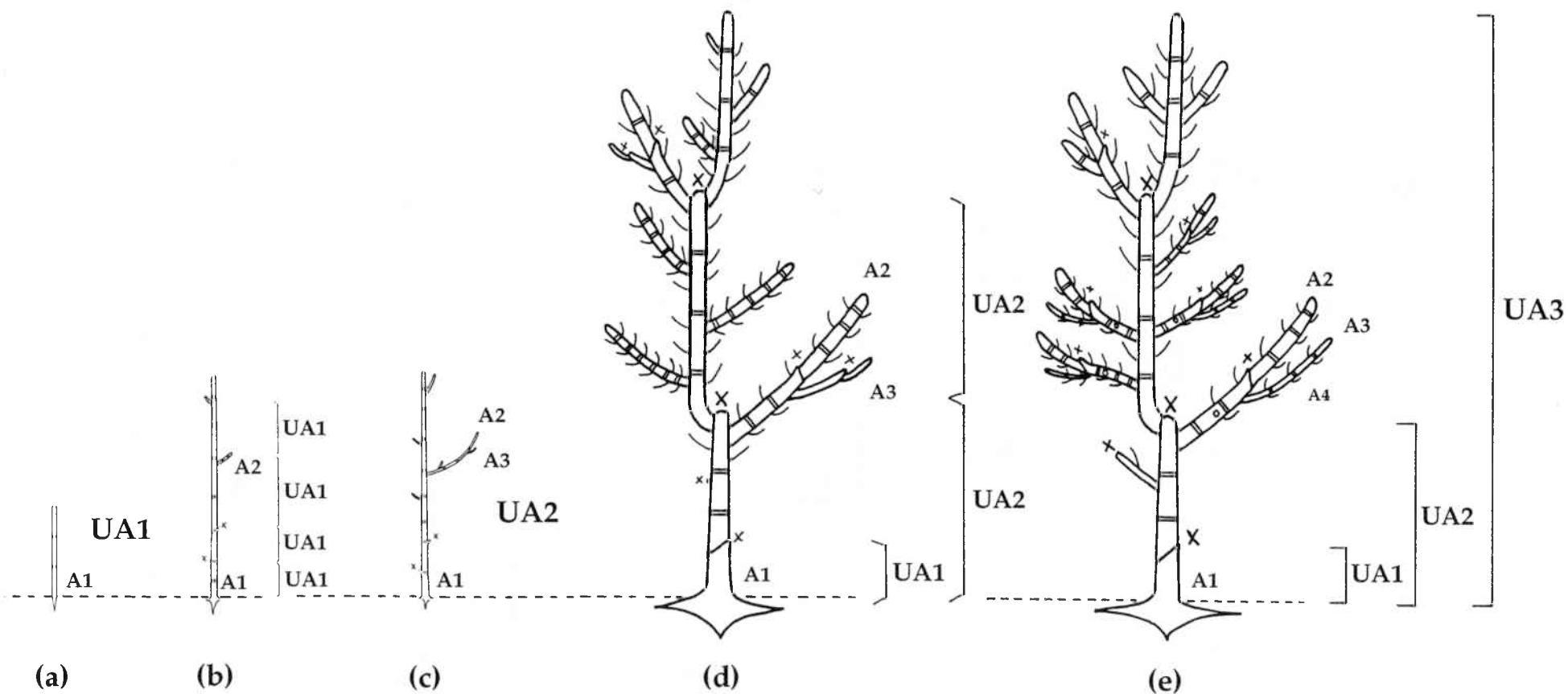
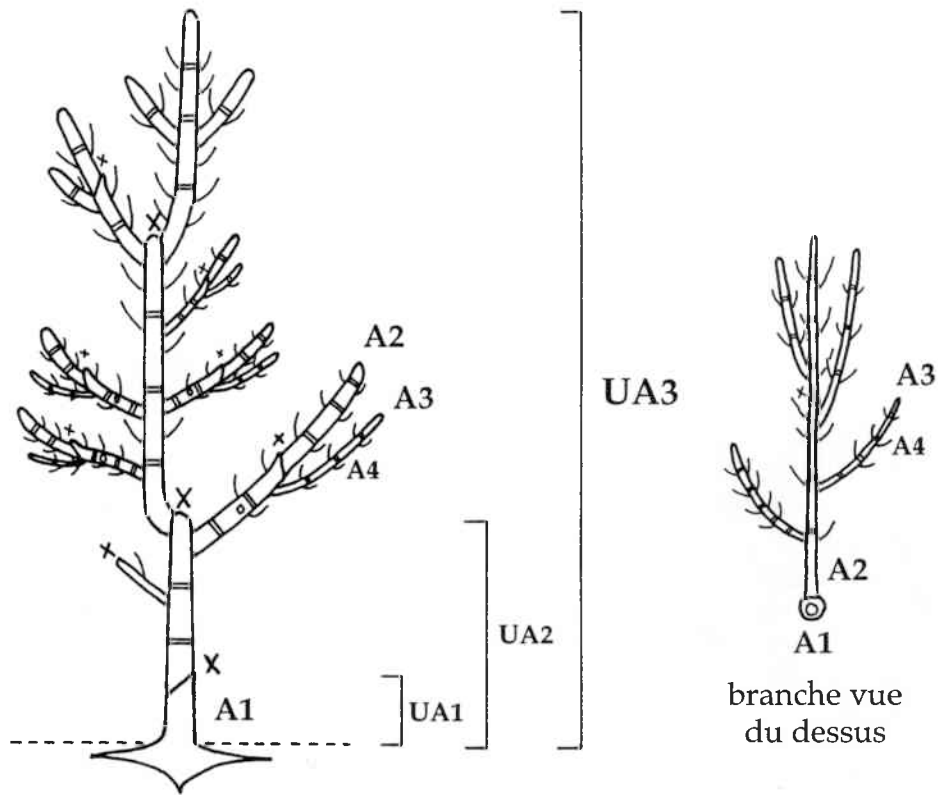


Figure 2. Phases d'établissement du tronc, équivalent aux cinq premières étapes de la séquence de développement d'*Acer saccharinum* a) unité architecturale de premier niveau (UA1), stade de plantule; b) réitération des unités architecturales de premier niveau (UA1) et différenciation des premiers axes latéraux, stade de très jeune plant; c) unité architecturale de niveau 2 (UA2), stade de jeune plant; d) réitération des unités architecturales de niveau 2 (UA2), stade de très jeune arbre; e) unité architecturale de niveau 3 (UA3), stade de jeune arbre (voir la description des différents types d'axes à la figure 3). La sixième étape de la séquence de développement équivaut à la réitération totale de l'UA3 dans la cime; = : limite des unités de croissance; x : mortalité de l'apex; A_n : axe de catégorie n .



A1	A2	A3	A4
sympode mixte	sympode mixte	monopode	monopode
phyllotaxie opposée-décussée	phyllotaxie opposée-décussée	phyllotaxie opposée-décussée	phyllotaxie opposée-décussée
ramification rythmique différée acrotone axile	ramification rythmique différée acrotone axile	ramification rythmique différée acrotone axile	rameau court non ramifié
orthotrope	orthotrope	oblique à extrémité redressée	agéotrope à tendance orthotrope
symétrie radiale	symétrie bilatérale par hypotonie	symétrie radiale	
croissance indéterminée	croissance déterminée à long terme	croissance déterminée à moyen terme	croissance déterminée à court terme

Figure 3. Description de l'unité architecturale de niveau 3 (UA3) d'*Acer saccharinum*, stade de jeune arbre. = : limite des unités de croissance, x: mortalité de l'apex, An: axe de catégorie n.

Figure 4. Hauteur de la première branche maîtresse

seuil observé du test des fréquences: 0,0000

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc

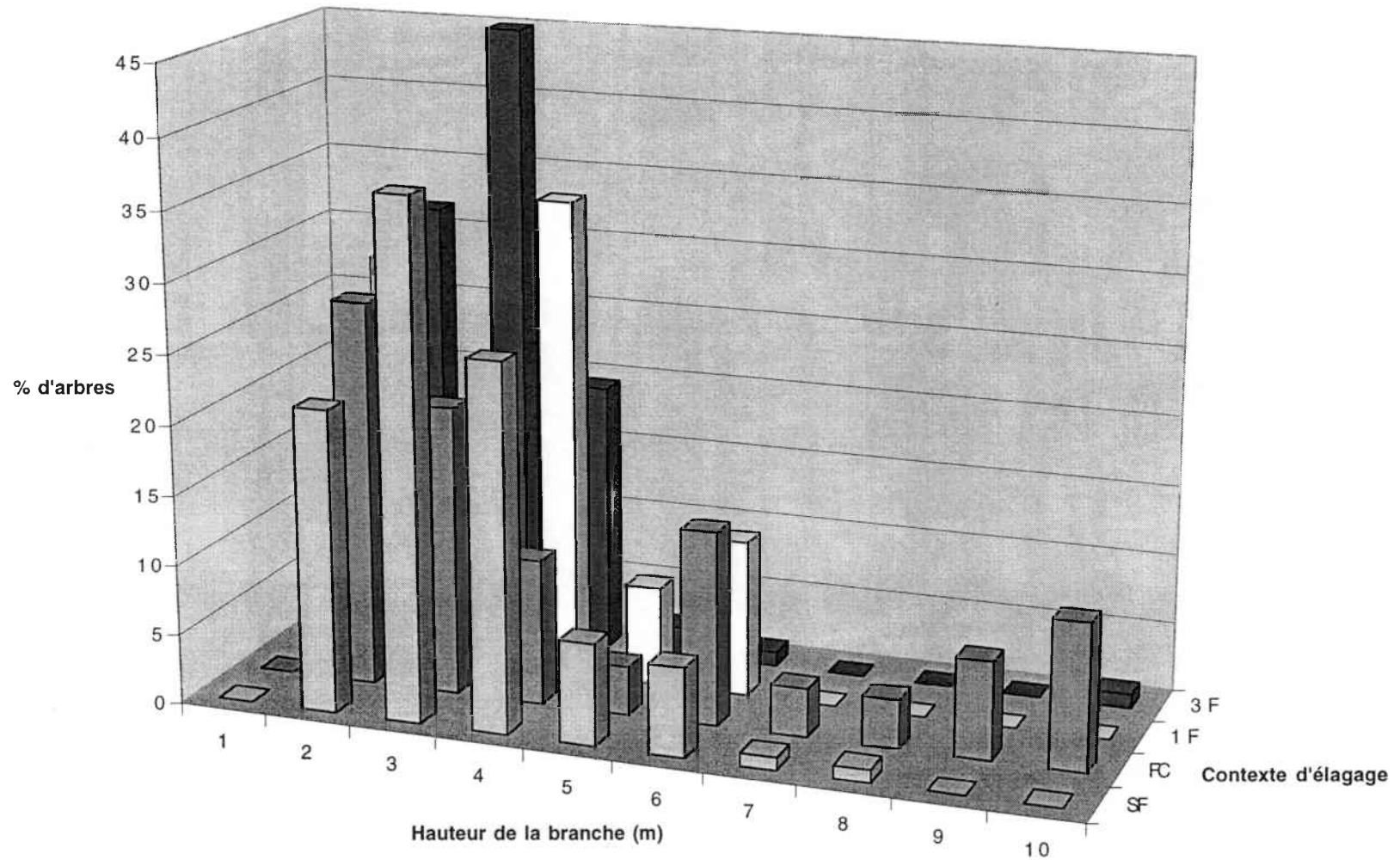


Figure 5. Nombre de branches maîtresses par arbre

seuil observé du test des fréquences: 0,0027

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc

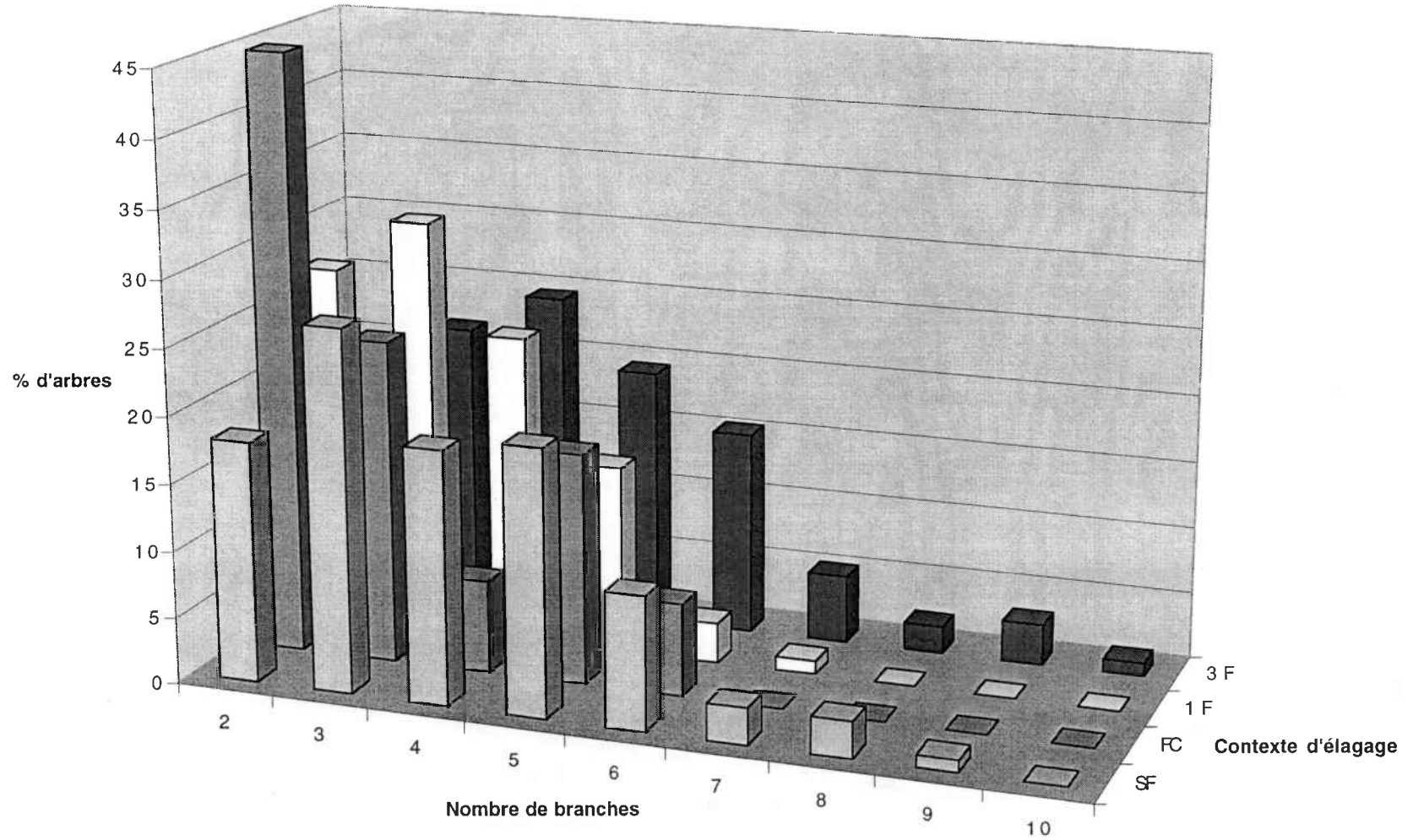


Figure 6. Pourcentage du volume de la cime en rejets

seuil observé du test des fréquences: 0,0000

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc

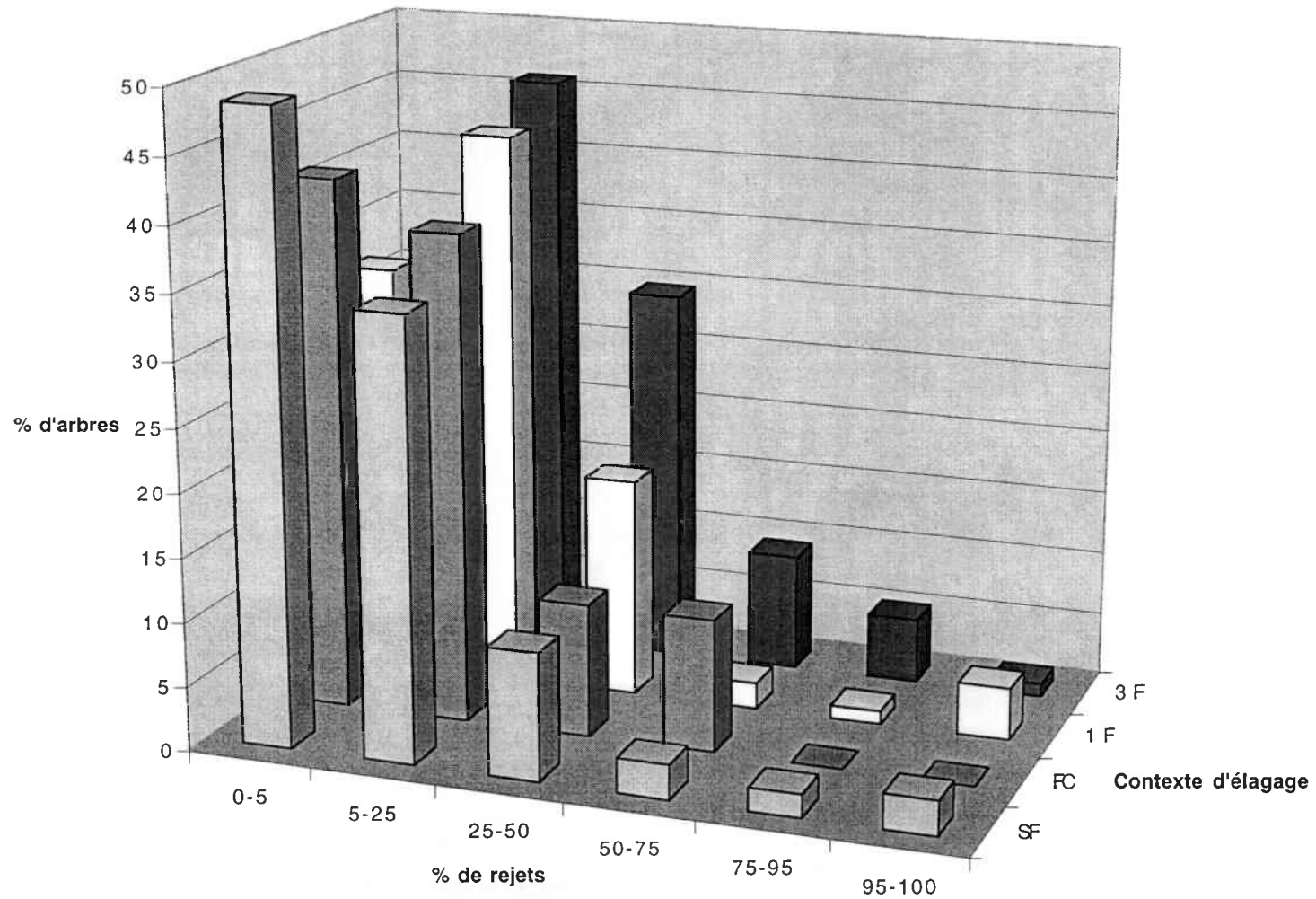


Figure 7. Longueur de l'unité de croissance 1999 en périphérie de la cime

seuil observé: 0,0000

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc

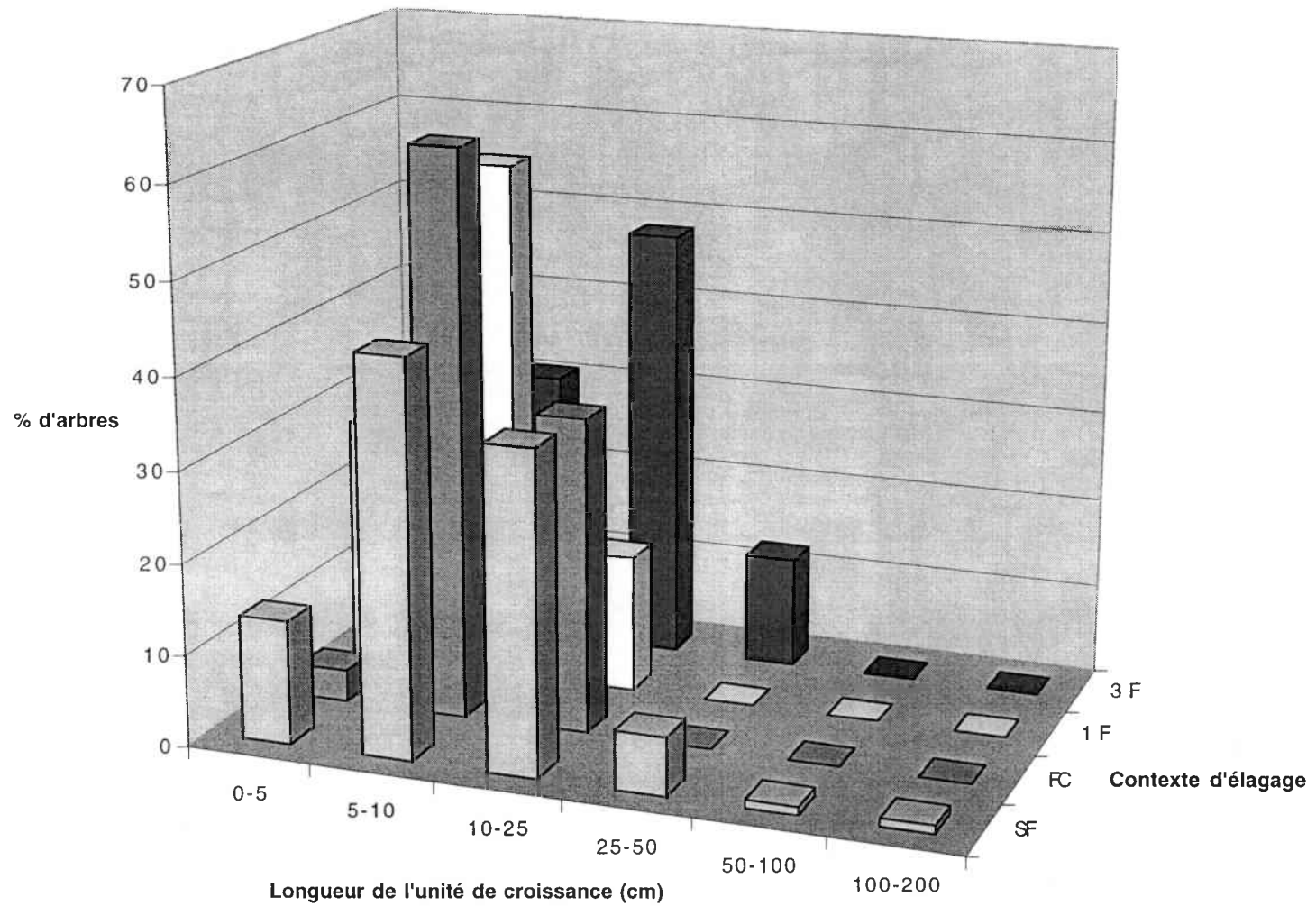


Figure 8. Longueur de l'unité de croissance 1999 des rejets du centre

seuil observé du test des fréquences: 0,0000

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc

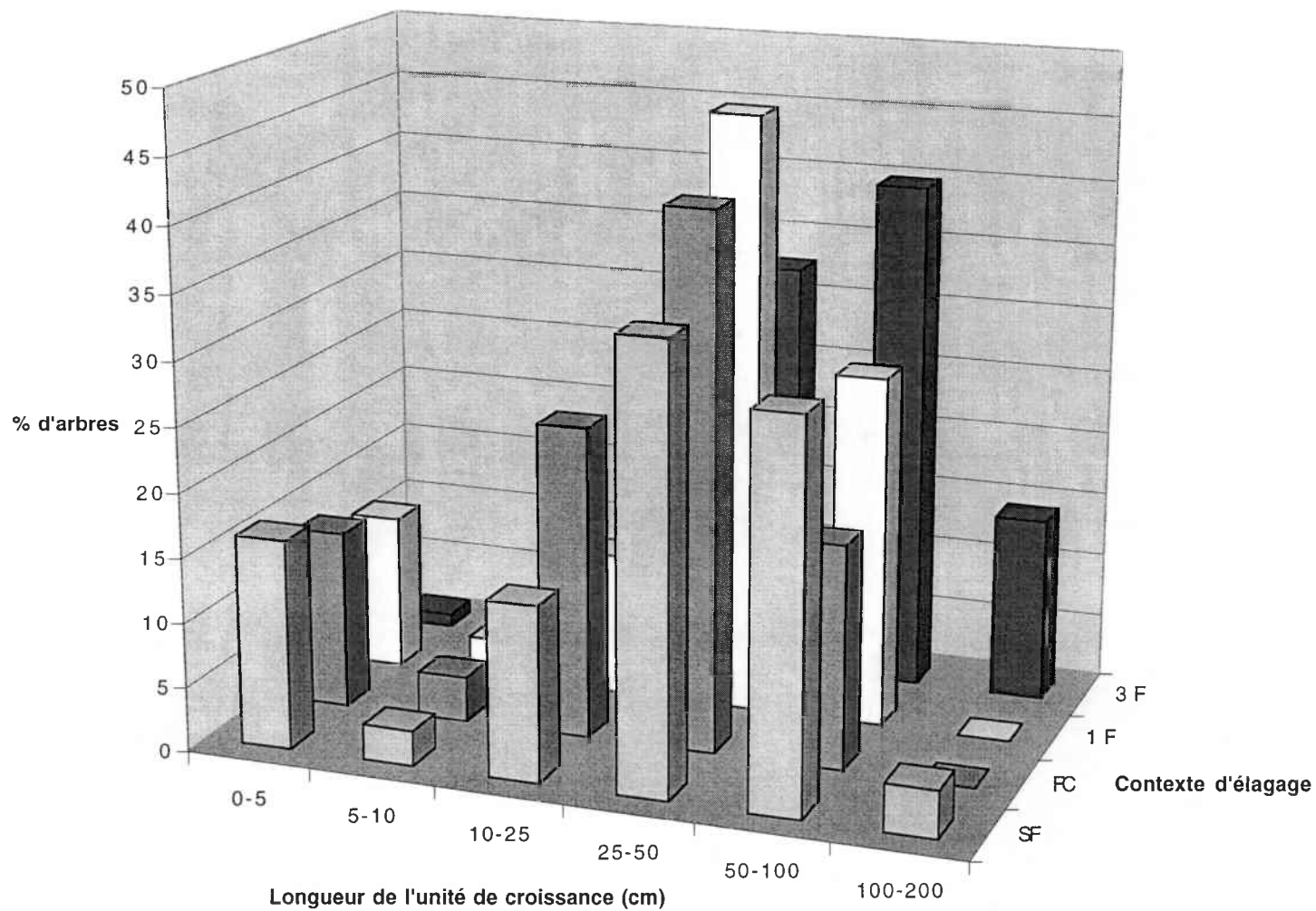
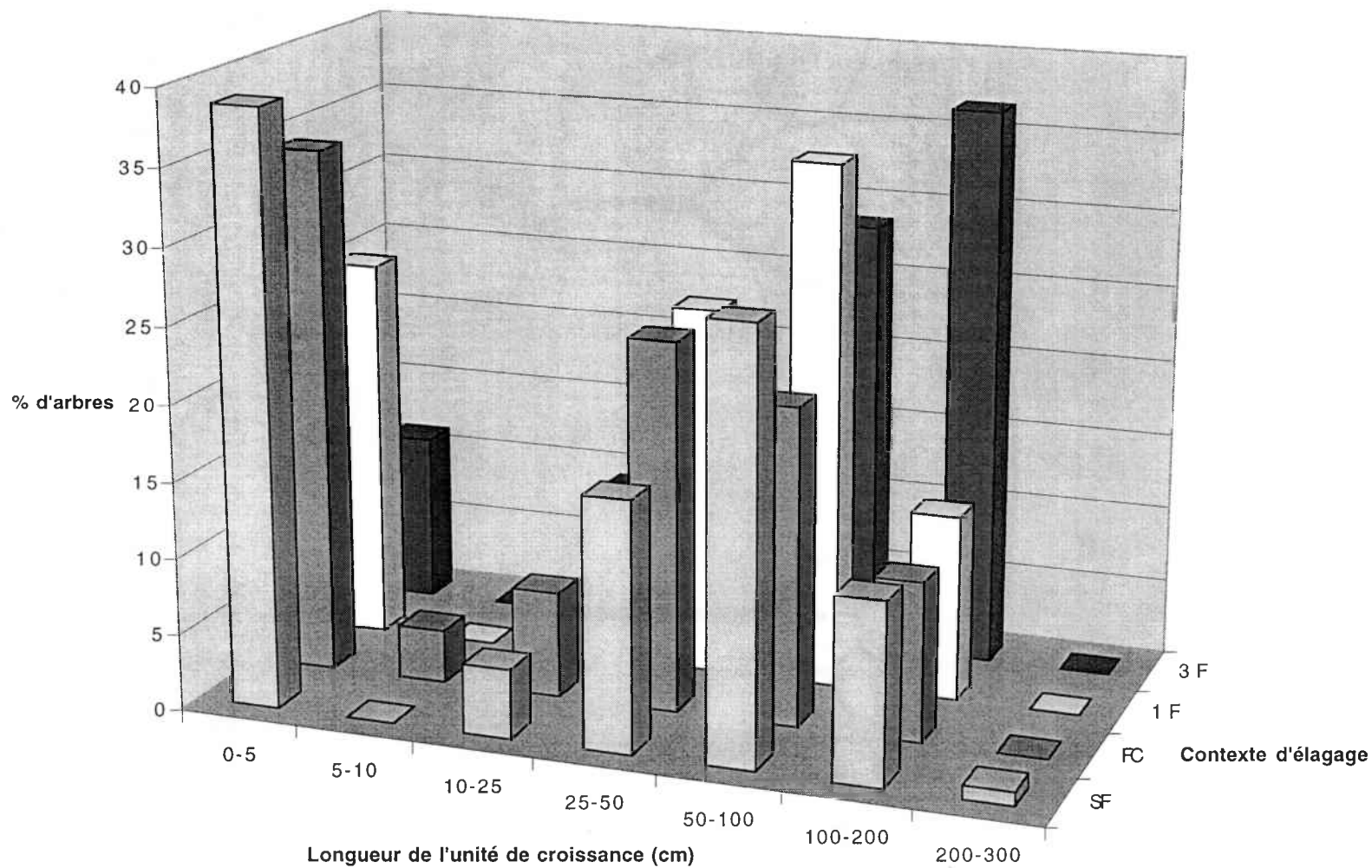


Figure 9. Longueur de l'unité de croissance 1999 des rejets du bas

seuil observé: 0,0000

SF: sans fil, FC: fils de côté, 1F: un fil de large au-dessus du tronc, 3F: trois fils de large au-dessus du tronc



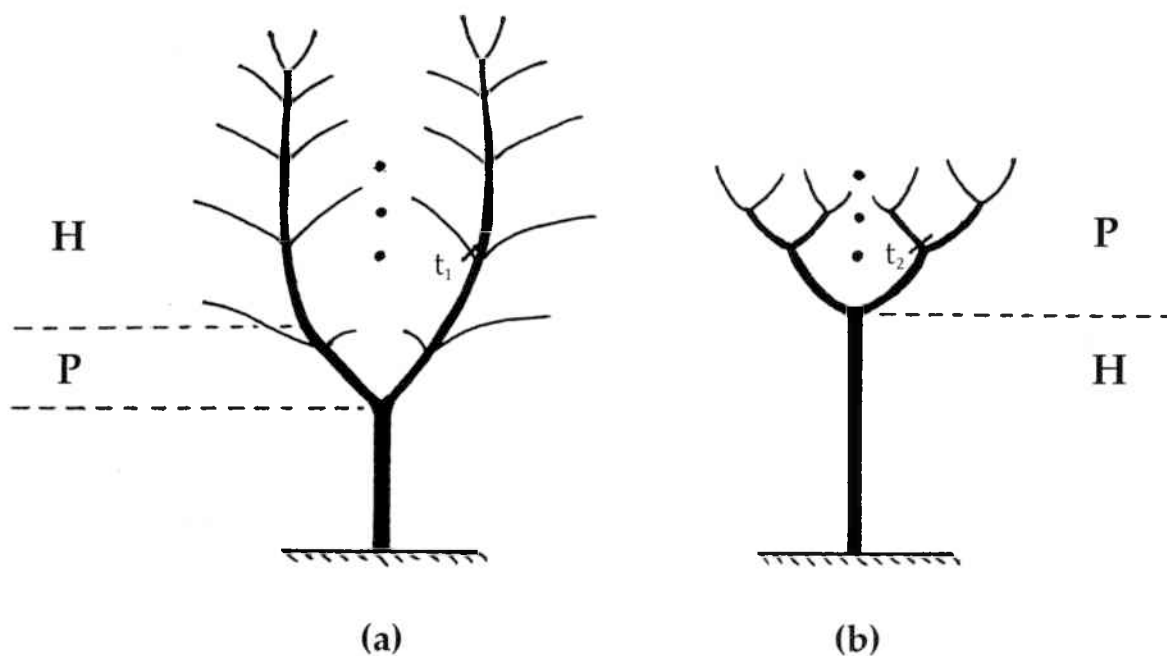


Figure 10. Alternance des plans d'organisation par rapport à la hauteur des fils, tel que souhaité (a) et tel que provoqué par les tailles de dégagement (b). H: plan d'organisation hiérarchisé, favorisant la dominance d'une tige principale sur ses branches latérales, P: plan d'organisation polyarchique, favorisant l'établissement d'une fourche (partage de dominance apicale entre plusieurs tiges), •: fil électrique.