LA GESTION DES ARBRES D'ORNEMENT.

1^{re} partie :

Une méthode d'analyse et de diagnostic de la partie aérienne *

P. RAIMBAULT - M. TANGUY
avec la collaboration d'Hélène BERTRAND

La gestion des arbres d'ornement, quels que soient leur âge et leur situation en parc, espace vert ou alignement, nécessite une estimation préalable de leur état, une prévision de leur développement et de leur espérance de vie et enfin une préconisation de traitements.

Plusieurs études sur la restauration des parcs et des recherches sur le développement de la partie aérienne et du système racinaire des arbres ont été menées depuis cinq ans. Ces travaux nous ont permis d'élaborer une méthodologie complète à l'échelle de l'arbre et à celle du parc dans son ensemble. Grâce à des professionnels intéressés, gestionnaires et praticiens, nous soumettons actuellement notre méthode à des situations pratiques.

Nous présentons dans une série d'articles tout d'abord notre approche méthodologique pour l'analyse et le diagnostic de la partie aérienne, puis du système racinaire ; nous aborderons ensuite les interventions sur l'arbre et enfin la gestion des parcs.

*
**

Les grands parcs français ayant pour la plupart été créés ou replantés dans la seconde partie du XIX^e siècle, leur restauration se heurte aujourd'hui presque inéluctablement au problème posé par un patrimoine arboré sénescant. Ces vieux arbres posent une problématique particulière et, pour amorcer la recherche, nous avons adopté une démarche différente et surtout plus complète que celle d'un protocole expérimental classique. C'est ce que nous exposerons dans la première partie de cet article, avant de proposer une méthode d'analyse et de diagnostic généralisable à l'ensemble des arbres d'ornement.

UNE DÉMARCHE SPÉCIFIQUE NÉE D'UNE PROBLÉMATIQUE PARTICULIÈRE

Travailler sur les grands arbres d'ornement, en particulier des parcs, pose les problèmes dans des termes totalement différents de ceux rencontrés par l'expérimentateur forestier ou fruitier. Ces différences tiennent non seulement à la nature de la population mais aussi aux conditions de traitement et donc d'expérimentation.

* Étude réalisée avec la participation financière du SRETIE, ministère de l'Environnement.

Le matériel est peu adapté à l'expérimentation classique

Ces arbres constituent en effet des populations hautement hétérogènes. Les espèces et cultivars utilisés sont innombrables. Même en peuplement monospécifique, hormis les cas limités de plantations forestières, les arbres peuvent être isolés sur pelouse, en alignement ou en bosquet de densité variable. Dans ces conditions, les différences d'âge chronologique et d'âge physiologique ⁽¹⁾ sont accentuées, en particulier en ville où les conditions de milieu aérien et souterrain sont rarement constantes.

Sur de telles populations, les modes de conduite et d'entretien varient dans l'espace et dans le temps.

En conséquence, les vieux et grands arbres de parcs, s'ils sont parfois exceptionnels au sens esthétique ou botanique du terme, sont souvent uniques, car la longue suite des modifications de leur environnement et des réactions qu'elles ont provoquées a modelé des individus physiologiquement et morphologiquement difficiles à comparer à leurs voisins du même âge.

Les conditions de traitement sont elles aussi particulières : les arbres étant généralement implantés dans des espaces publics très fréquentés, l'expérimentateur devra prendre en compte l'esthétique et la sécurité et ne pas compromettre le bon développement de l'arbre. On peut rarement altérer l'homogénéité d'un alignement par un traitement expérimental. **L'expérimentation sur les arbres d'ornement comporte donc la plupart du temps l'obligation de réussir.**

La généralisation des résultats expérimentaux pose en ornement plus de problèmes qu'ailleurs : on peut supposer que les solutions élaborées à partir d'une expérimentation concernant une espèce donnée dans des conditions déterminées seront difficilement extrapolables à des individus botaniquement ou morphologiquement très éloignés. Or, la diversité est une des bases de l'arboriculture d'ornement.

Enfin, les réactions de grands arbres aux traitements, à un élagage par exemple, sont lentes. Plus exactement, la réaction au traitement évolue sur de très nombreuses années.

La démarche analytique et expérimentale

Toutes ces raisons nous ont conduit à rechercher une démarche originale d'analyse et d'expérimentation. Cette méthode devait s'appliquer à la plus grande variété possible de cas, ne pas engendrer de dommages et porter sur des individus uniques. L'expérimentation devait permettre une lecture des réactions dans un bref délai mais elle devait aussi laisser présager des effets à long terme du traitement.

Lors de ce travail, nous nous sommes mis dans **une situation analogue à celle du médecin** qui ne peut, sous prétexte d'expérimentation, mettre en péril la vie ou la santé de son patient.

Le choix méthodologique

Le praticien qui taille un arbre fruitier ou élague un platane agit en fonction d'une réaction attendue. Cette réponse est « calculée » suivant l'idée qu'il se fait du fonctionnement d'un arbre. **Il amalgame donc la réaction probable de l'arbre et son propre diagnostic sur l'état du végétal ;** ce diagnostic est lui-même basé sur la conception que l'arboriculteur a d'un arbre, conception qu'il n'explicite jamais.

Cette approche du praticien nous a paru un point de départ intéressant pour établir une

(1) L'âge chronologique est compté en années depuis la naissance de l'arbre. L'âge physiologique est une évaluation de l'état physique de la plante. Chez l'homme, l'âge chronologique est celui de l'état civil (compté en années à partir de la date de naissance) ; l'âge physiologique tient compte de la pathologie non infectieuse (par exemple de l'état de l'appareil cardiovasculaire).

démarche cohérente, car elle s'applique à un individu et non à une population. Mais comparer l'individu expérimental, dans le cas d'un parc, à un individu sain ou de référence n'a évidemment pas de sens. Nous devons donc, à la différence du praticien armé de son expérience, décomposer ce raisonnement global en plusieurs étapes :

- situer l'individu expérimental dans une échelle de développement ;
- comprendre son fonctionnement en fonction de sa situation dans cette échelle et de sa propre histoire ;
- préconiser un traitement pour intervenir sur son évolution, en modifier le cours et en prévoir les effets ;
- enfin, vérifier *a posteriori* le bien-fondé des hypothèses énoncées.

Il nous fallait donc en particulier posséder un outil de lecture de ce fonctionnement préalablement à toute expérimentation.

● *L'analyse morphologique, une méthode pratique*

Les connaissances scientifiques sont actuellement insuffisantes pour permettre l'élaboration d'un système global qui expliquerait de façon satisfaisante le fonctionnement de l'arbre au cours de son développement. Mais l'étude de quelques particularités morphologiques de la plante est réalisable rapidement et sans dommage sur le terrain et elle peut contribuer à l'élaboration d'un diagnostic. Nous nous sommes fixé comme objectif de lire l'évolution du fonctionnement de l'arbre au cours de son développement à travers l'évolution de sa morphologie.

● *Relation entre morphologie et âge physiologique*

La méthode architecturale développée par l'Institut de Botanique de Montpellier d'une part, nos propres observations sur la morphologie des arbres d'autre part, nous ont permis de sélectionner des éléments morphologiques clés permettant de décrire un arbre en relation avec un type de fonctionnement, c'est-à-dire avec son âge physiologique probable.

Ces mêmes éléments nous permettent de proposer un schéma d'évolution de la physionomie de l'arbre, depuis la germination jusqu'à la mort, que nous mettons en relation avec le processus de développement et de vieillissement. Pour en faciliter la lecture, nous avons déterminé dix stades constituant ce que nous appellerons l'échelle de développement. Des études très détaillées ont déjà été réalisées dans cette optique sur plusieurs espèces telles que le Hêtre (Roloff, 1986 ; Thiébaut et Puech, 1983, 1984) et le Platane (Caraglio et Edelin, 1990).

● *L'analyse morphologique, une aide au diagnostic*

Selon notre démarche, l'analyse morphologique est une méthode de diagnostic permettant d'attribuer à l'arbre un stade de développement et donc de supposer qu'il a un mode de fonctionnement déterminé. Par le même mécanisme, elle doit permettre également de déceler un dysfonctionnement.

Le positionnement de l'individu sur cette échelle permet dans une certaine mesure de prévoir son développement.

● *Traitement et vérification du diagnostic*

En fonction des impératifs de gestion, des connaissances, des moyens disponibles et enfin de son expérience, le praticien appliquera un traitement (élagage, surfaçage, fertilisation, ...) en prévoyant des réactions de la part de l'arbre.

L'analyse des réactions de l'arbre et leur comparaison aux réactions prévues permettront de vérifier que le modèle de développement est juste, d'apporter des modifications ou de former de nouvelles hypothèses.

LES BASES DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE

Les éléments de morphologie permettant d'apprécier le stade de développement d'un arbre ont été empruntés à plusieurs domaines de recherches, principalement l'architecture, les corrélations de croissance et le vieillissement.

La méthode architecturale (figure 1, ci-contre)

« *L'architecture de l'arbre est le résultat du fonctionnement de ses méristèmes apicaux, aériens et souterrains* » (F. Hallé). Elle représente « *l'ensemble de formes structurales que l'on peut observer à un moment donné* » (Oldeman, 1972), donc « *l'expression d'un équilibre entre des processus endogènes de croissance et des contraintes extérieures exercées par le milieu* » (Édelin, 1984).

Dans une première phase du développement (figure 1 A), l'arbre non perturbé exprime l'architecture propre à l'espèce : chaque rameau est séquentiel, c'est-à-dire que son lieu d'apparition est prévisible et qu'il possède la morphologie et les fonctions caractéristiques de son numéro d'ordre de ramification. L'arbre est conforme au modèle architectural de l'espèce. Il constitue donc **une unité architecturale indivisible**.

Dans une seconde phase (figure 1 B), certaines ramifications d'ordre 2 ou 3 (des branches principales) se comportent comme des rameaux d'ordre 1 ou 2 et reproduisent chacune au moins partiellement le modèle de l'arbre jeune. Ce phénomène de réplication, appelé **réitération sylleptique**, transforme l'« arbre unitaire » en un « arbre collectif », ensemble de plusieurs individus physiologiquement plus ou moins indépendants.

Plus discrètement, sur les branches inférieures, apparaissent de façon plus ou moins aléatoire des rameaux surnuméraires reproduisant partiellement la branche porteuse : on les appelle **réitérations proleptiques partielles** ou plus communément « renouvellements ». Au cours des années, ces rameaux se propagent dans la partie haute de l'arbre et les branches qu'ils engendrent prennent de plus en plus d'importance.

Beaucoup plus tard, lorsque l'arbre sénescit perd une partie de son houppier, des rameaux très vigoureux apparaissent sur le tronc ou vers la base des charpentières⁽²⁾ et tendent à reproduire le développement du jeune arbre : ce sont les **réitérations proleptiques totales**⁽³⁾.

L'étude des corrélations

L'arbre est constitué, comme tout végétal, d'un très petit nombre de types d'organes (racines, tiges, feuilles, bourgeons, fleurs). Mais il s'établit entre feuilles, bourgeons et rameaux des relations qui stimulent, inhibent ou modifient leur croissance. Ces relations sont appelées corrélations de croissance et sont à l'origine de la hiérarchisation des axes qui permet à l'arbre d'atteindre de grandes dimensions.

● *Dominance apicale (figure 2, ci-contre)*

La dominance apicale est la préséance de croissance et le contrôle de développement dont bénéficie le rameau terminal (appelé flèche) du tronc par rapport aux branches. **Lorsque l'arbre est jeune, la dominance apicale est forte**. Elle disparaît en quelques années sur l'arbre adulte.

(2) Nous appelons charpentièr (terme emprunté à l'arboriculture fruitière) une branche principale directement insérée sur le tronc.

(3) Une réitération sylleptique est donc une branche initialement dominée mais déjà importante qui, en prenant son indépendance, se redresse et reproduit morphologiquement l'axe qui la dominait. Une réitération proleptique est une branche issue d'un bourgeon latent ou d'un rameau insignifiant ; elle peut reproduire l'axe qui la porte (réitération partielle) ou le tronc lui-même (réitération totale).

Figure 1
**MODÈLE ARCHITECTURAL
ET RÉITÉRATIONS.**

A - Jeune Érable au stade 3, obéissant au modèle architectural de Rauh.

Tous les axes sont monopodiaux (le bourgeon terminal reprend la croissance la saison suivante), la croissance (et donc la ramification) est rythmique. L'axe d'ordre 1, orthotrope (vertical), constitue le tronc. Les axes d'ordre 2, orthotropes (redressés), constituent les branches principales. Les axes d'ordre 3 longs extériorisent l'hypotonie tandis que les rameaux courts portent la floraison en position terminale puis meurent assez rapidement ; noter que les premières fleurs de l'arbre sont apparues sur des rameaux courts d'ordre 4, puis leur position se stabilise sur les rameaux courts d'ordre 3, les axes courts d'ordre 2 ne portant pas de fleurs.

B - Jeune Érable à la fin du stade 4 passant à la phase réitérative.

Comparer la branche (D) et la branche (E). La seconde année, elles se sont mises à fleurir sur rameau court d'ordre 3 et se sont ramifiées sous le régime de l'hypotonie et de l'acrotonie. La troisième année, la branche (D) a suivi le même processus de développement, tandis que la branche (E) ne se mettait pas à fleurir sur ses axes courts d'ordre 3 mais sur ceux d'ordre 4. La quatrième année, la branche (E) a suivi le même processus et de plus perdu son hypotonie : elle acquiert une structure identique à celle de l'axe principal (C). Elle constitue maintenant une réitération sylleptique.

La branche (F), apparue sur la coupe d'une branche basse, reproduit un arbre entier : c'est une réitération proleptique totale traumatique.

—○ : emplacement d'une fleur.

Figure 2
LA DOMINANCE APICALE.

A - La dominance apicale de la flèche induit une direction de croissance des branches proche de l'horizontale.

B - Lorsque la dominance apicale disparaît naturellement, les branches nées dominées (a) peuvent se redresser, au moins à leur extrémité en croissance. Lors de l'établissement du houppier définitif plusieurs dizaines d'années plus tard, ces branches s'élèvent naturellement et dégarnissent le tronc. Les branches nées après la disparition de la dominance apicale (b) ont en général un angle d'insertion plus faible. Ces branches sont destinées à constituer le houppier définitif et demeurent toute la vie de l'arbre.

C - Lorsqu'une flèche dominante est détruite, une ou plusieurs branches subterminales se redressent.

● *Acrotonie et vigueur (figure 3, ci-dessous)*

Les bourgeons axillaires d'un rameau d'un an se développent plus vigoureusement à son extrémité qu'à sa base, les axillaires de la partie inférieure du rameau restant même généralement latents. C'est le phénomène d'acrotonie. Plus l'acrotonie est forte, plus le nombre de bourgeons axillaires capables de se développer est faible. Le degré d'acrotonie est plus ou moins fort selon les espèces et les cultivars. Mais, pour un même individu, le degré d'acrotonie varie en fonction de la vigueur (mesurable par la longueur) du rameau : **plus un rameau est vigoureux, plus il se ramifie l'année suivante et plus l'acrotonie est faible.**

Lorsqu'un arbre est jeune et vigoureux, les rameaux en position favorable sont longs et leur acrotonie est faible ; le taux de ramification est élevé. Lorsque l'arbre vieillit et que le nombre de ramifications augmente, les rameaux, même les plus favorisés, sont de plus en plus courts, leur acrotonie augmente ; le taux de ramification dans l'arbre devient très faible. Ce mécanisme d'autorégulation permet ainsi de maintenir un rapport stable entre le nombre des ramifications dans l'arbre, la vigueur de celui-ci et la vigueur moyenne des rameaux.

● *Hypotonie et épitonie (figure 4, ci-contre)*

Sur les rameaux d'ordre 2 et plus d'un jeune arbre, les bourgeons de la face inférieure se développent en général plus vigoureusement, à niveau égal, que ceux de la face supérieure (figure 4 A) : c'est le phénomène d'hypotonie. Lorsque la branche s'allonge, l'hypotonie se maintient dans la partie terminale contrôlée par l'apex de cette branche. Mais dans la partie plus ancienne, non contrôlée par l'apex, l'hypotonie disparaît et des rameaux nouvellement formés (réitérations proleptiques partielles) se développent vigoureusement sur la face supérieure de la branche : c'est le phénomène d'épitonie (figure 4 C : « rp »). L'épitonie se manifesterait donc en l'absence d'hypotonie, hypothèse déjà émise par Champagnat (1983).

Figure 3 **ACROTONIE ET VIGUEUR.**

A - Schémas des 5 catégories de rameaux retenues. Plus une pousse est vigoureuse, plus elle développera de rameaux axillaires l'année suivante, donc moins l'acrotonie sera forte.

B - Longueurs moyennes des pousses de l'année les plus vigoureuses correspondantes (à titre indicatif).

C - Codification des catégories de vigueur et d'acrotonie.

1 - Scion greffé, gourmand après recépage ou taille sévère, développant des anticipés et exprimant éventuellement une rythmicité de croissance.

2 - Rameau vigoureux sur arbre jeune (stades 2, 3, 4) exprimant toutes les possibilités de développement de ses axillaires et éventuellement une rythmicité de croissance. Fort potentiel de ramification.

3 - Rameau peu vigoureux sur arbre adulte (stades 5, 6, 7) dont les axillaires expriment toutes les catégories de rameaux mais dans le tiers apical seulement. Faible potentiel de ramification.

4 - Rameau taible sur adulte mûr (stades 7, 8). Il ne produit qu'un ou deux rameaux longs. Ramification : au mieux, création de fourches faibles.

5 - Rameau court sur vieil adulte (stade 8) se prolongeant l'année suivante par son bourgeon apical ou subapical.

Figure 4 HYPOTONIE ET ÉPITONIE.

A - Pour que l'apex d'ordre 3 obéisse au régime hypotone, il faut une double condition : l'apex d'ordre 1 (flèche) doit dominer l'apex d'ordre 2 (branche) ; celui-ci doit dominer l'apex d'ordre 3.

B - Fonctionnement hypotone d'une branche jeune.

a : axe ; e : rameau épitone ; h : rameau hypotone.

C - Passage à l'épitonie :

hr : hypotonie résiduelle des extrémités ;

rs : épitonie liée au développement de réitérations sylleptiques. L'hypotone, après s'être développé pendant 3 ans à l'égal de l'axe, est finalement dominé ;

rp : épitonie sous forme de réitération proleptique à partir d'un bourgeon latent ou néoformé ;

rp' : épitonie sous forme de réitération proleptique à partir d'un rameau court inhibé pendant 4 ans.

La notion d'hypo- et d'épitonie peut être étendue au développement relatif des deux branches superposées d'une fourche (réitération sylleptique : figure 4 C : « rs »). Lorsque l'arbre est jeune, la branche inférieure domine par sa vigueur (figure 4 B) mais, dix ou vingt ans plus tard, la branche supérieure acquiert définitivement un taux de croissance plus fort tandis que sa concurrente végète.

En conséquence, sur un arbre jeune, l'hypotonie est généralisée. Puis elle laisse place à l'épitonie à la base des branches basses. Sur un arbre plus âgé, l'hypotonie a disparu des branches basses et l'épitonie gagne la base des branches hautes. Après la perte de dominance de la flèche, l'hypotonie disparaît progressivement de l'arbre et l'épitonie se généralise. Notons que chez certaines espèces, l'hypotonie disparaît rapidement (Érable du Canada : *Acer saccharinum*) alors qu'elle se maintient très longtemps chez d'autres (Marronnier : *Aesculus hippocastanum*).

Vieillesse et mortalité (figures 5, 6 et 7)

Le vieillissement d'un arbre ou d'une branche s'exprime principalement par la mort de ses ramifications. On peut distinguer deux types de mortalité.

Lorsque l'arbre est encore jeune, il subit un élagage naturel de son tronc dû à la mort des branches basses. Sur les branches elles-mêmes, la mortalité des ramifications part de la base et gagne les extrémités (figure 5, ci-dessous). Cette **mortalité dite basifuge et centrifuge** est rapide en peuplement dense mais elle est inéluctable quoique plus lente chez les arbres isolés.

Lorsque l'arbre est beaucoup plus âgé ou lorsque son système racinaire a été gravement endommagé, l'extrémité des branches se dessèche. Cette **mortalité dite centripète et basipète** gagne lentement la base des branches pour atteindre finalement le tronc.

La réalité est plus complexe (figure 6, ci-contre). En conséquence du passage de l'hypotonie à l'épitonie, très souvent l'axe meurt au profit de l'épitone le mieux placé. Celui-ci s'efface à son tour de nombreuses années plus tard devant un autre épitone plus central. La mortalité semble dans ce cas centripète puisqu'elle touche les extrémités et remonte vers la base de la branche. Mais, à la différence de la mortalité centripète définitive, une branche ne meurt qu'après que sa remplaçante ait atteint ou dépassé le volume de la branche mourante. C'est donc un renouvellement et non une réduction de couronne (figure 7, p. 106).

Figure 5 **VIEILLESSE, MORTALITÉ ET RÉITÉRATION. EXEMPLE D'UNE BRANCHE D'ÉPICÉA.**

A - Branche adulte (stades 5 à 7).

La ramification initiale disparaît au profit de vagues de réitérations proleptiques partielles successives de petites dimensions. Mais inéluctablement, le renouvellement finit par cesser sur les grosses branches. Ce dégarnissement (mortalité centrifuge) est beaucoup plus rapide sur le Hêtre que sur le Chêne par exemple.

B - Branche sénescence (stade 9).

Plus tard, l'arbre « se replie » progressivement sur des réitérations de plus en plus grandes et de plus en plus centrales. Cette mortalité définitive (centripète) touche d'abord les ramifications séquentielles puis les réitérations sylleptiques et proleptiques périphériques. Les dernières réitérations apparues ne reproduisent plus des fragments de branches, mais ont un fonctionnement identique à celui d'un tronc (réitération totale).

Figure 6
**PRINCIPES DE FORMATION
ET DE RENOUVELLEMENT DES AXES
DANS LE CADRE DE L'HYPOTONIE
ET DE L'ÉPITONIE.**

L'avenir d'un rameau dans la formation des axes est fortement conditionné par l'équilibre des corrélations qui a présidé à sa naissance. Cet équilibre est fonction de l'âge atteint par la branche à son extrémité, de la position de la branche dans l'arbre et de l'âge atteint par l'arbre.

a : rameau terminal (croissance monopodiale) ou subterminal (croissance sympodiale) ;
e : rameau épitone ;
h : rameau hypotone ;
① : fourche type ;
+ 1 : ordre de mortalité sur la branche.

A - Stades 2 à 4. Phase hypotone très forte.
Les rameaux terminal (a) et de la face supérieure (e) ont une forte chance de disparaître à moyen terme. Cette partie de la branche (fourches ①, ②, ③) sera constituée plus tard de la succession des hypotones subapicaux (h) des années successives.

B - Stade 5. L'hypotonie s'affaiblit d'année en année. Il y a de fortes chances pour que la concurrence entre le terminal (a) et l'hypotone (h) se prolonge de longues années. Cette phase de transition correspond à une zone de fourches durables (④, ⑤), qui se résoudront à long terme par la disparition de la branche hypotone au profit de l'axe.

C - Stade 6 avec perte rapide de l'hypotonie. Chez de nombreuses espèces (Tiliacées, Fagacées), l'hypotonie disparaît rapidement au profit de l'épitionie ; les fourches (⑥, ⑦) s'établissent donc entre le prolongement de l'axe (a) et le subterminal de la face supérieure (e). Elles se résoudront à long terme par la mort de l'axe au profit de l'épitionie qui constitue une réitération sylleptique. Notons que l'épitionie s'installe d'autant plus rapidement que la ramification concernée est en plus faible position (comparer par exemple les branches + 5 et + 7).

C' - Stade 6 avec hypotonie résiduelle persistante. La zone de fourches durables constituées entre l'axe (a) et l'hypotone (h) se prolonge. L'hypotone, après une longue résistance, est finalement dominé puis éliminé. Chez ces espèces (Noyer, Marronnier), la densité de ramification est donc plus faible.

D - Stade 7. L'épitionie est maintenant généralisée. Les fourches (⑥, ⑦) se résoudront à moyen terme par la mort de l'axe au profit de l'épitionie.

Nous constatons donc trois types fondamentaux de fourches :

h/a : l'hypotone domine (arbre très jeune, fourches ①, ②, ③) ;

a/h : l'axe finit par gagner (jeune adulte, fourches ④, ⑤) ;

e/a : l'épitionie finit par gagner (adulte, fourches ⑥, ⑦).

Nous constatons que les tronçons constituant l'axe d'une branche ne suivent pas la même séquence selon que l'on suit une partie anciennement créée et peu vigoureuse ou nouvellement créée et vigoureuse :

h h h h h a a e (branche + 5) ;

h h h h h a a e (branche + 6) ;

h h h h a a a e (branche + 7) ;

h h h h a a e a e (branche + 8).

Figure 7

MAINTIEN DU VOLUME ET RENOUVELLEMENT DE LA BRANCHE.

La figure 5 (p. 104) reproduit le renouvellement des axes par réitération sylleptique. Ce schéma montre comment les ramifications séquentielles, basculant dans le vieillissement, sont très lentement mais constamment remplacées par des réitérations sylleptiques (I, G) dont la dimension a considérablement augmenté, puis par des réitérations proleptiques (I', G', G'', G'''). L'ensemble des quatre figures balaye une période de 50 à 100 ans selon les espèces.

Le maintien du volume d'une branche au même endroit dans l'arbre est un équilibre entre la croissance des ramifications et le jeu des mortalités centrifuge et centripète. Dans ce processus, après la phase hypotone, se succèdent dans le cadre de l'épitonie des réitérations sylleptiques puis proleptiques.

A - Ce schéma correspond à la figure 6 B (stade 5). C'est la fin de la phase hypotone pendant laquelle se sont mises en place toutes ou presque toutes les ramifications principales (E, F, G, H, I, J, K) de la branche.

B - Début de la phase épitone et période de réitération sylleptique, correspondant à la figure 6 D (stade 7). Par concurrence, les branches F, J puis K vont disparaître progressivement, tandis que I, très bien située, se dédouble par réitération proleptique.

C - H va disparaître, I et I' basculent à leur tour, mourront et seront remplacées par G (stades 7 ou 8) qui prend de l'extension.

D - G réitère plusieurs fois (stades 7 ou 8). Le phénomène de réitération proleptique prend une grande importance. La différence de diamètre entre la branche mère et les réitérations proleptiques successives augmentera progressivement. Il est probable que lorsque les réitérations G disparaîtront, E ne les remplacera pas totalement. L'arbre amorcera alors sa réduction de couronne (stade 9).

LES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DE L'ARBRE

(figures 8 à 11)

Chacun des paramètres que nous venons de définir évolue en fonction du développement de l'arbre : chaque étape de ce développement est définie par la modification d'un ou de plusieurs paramètres. Nous avons ainsi déterminé dans la vie de l'arbre, depuis sa germination jusqu'à sa mort, dix stades de développement facilement discernables et suffisamment stables et universels pour qu'ils puissent être reconnus dans la majorité des essences arborescentes.

L'expression de l'architecture spécifique initiale (figure 8, ci-dessous)

Cette première phase correspond aux trois premiers stades. L'arbre élabore successivement tous les types d'axes que son programme morphogénétique lui permet d'élaborer (réalisation de l'unité architecturale).

En général, l'arbre construit **prioritairement son tronc** en gagnant très rapidement de la hauteur (stade 1, figure 8 A), puis il **se ramifie abondamment** et multiplie sa surface assimilatrice (stade 2, figure 8 B et C), il **élabore enfin ses axes reproducteurs** et la sympodisation⁽⁴⁾ se généralise alors chez les espèces à floraison terminale (stade 3, figure 8 D ; voir aussi figure 1 A, p. 101).

Pendant ces trois stades, la plante est strictement hiérarchisée : la dominance de la flèche sur les ramifications est totale et l'hypotonie est généralisée.

Le déclin de la dominance apicale (figure 9, p. 108)

La progression verticale et l'extension horizontale de l'arbre se poursuivent de façon accélérée corrélativement à un processus de sélection des apex en croissance.

Dans un premier temps (stade 4), les **branches inférieures échappent progressivement à la dominance apicale**, seul le haut de l'arbre est encore strictement hiérarchisé et développe l'architecture propre à l'espèce. Chacune des branches basses, devenue réitération sylleptique, maintient à son extrémité dominance apicale et hypotonie, tandis que celle-ci disparaît à la base de la branche pour laisser place à l'épitonie.

Figure 8 ROBINIER AUX STADES 1, 2 ET 3.

A - Stade 1. Dominance totale de l'apex.

B - Stade 2. Mort de l'apex (sympodisation), croissance égale et en concurrence des subterminaux. Acrotonie forte.

C - Stade 2. Le subterminal le plus élevé se redresse pour former le prolongement du tronc, les autres axillaires s'inclinent pour former les branches.

D - Stade 3. Les branches sont sous le régime de l'hypotonie : le prolongement (a) de la branche a un développement plus faible que celui de son concurrent hypotone (h).

(4) La croissance d'un rameau est dite monopodiale lorsqu'au printemps le bourgeon terminal du rameau reprend un développement végétatif. La croissance est dite sympodiale lorsque le bourgeon terminal meurt ou fleurit et que la croissance végétative est reprise par un ou plusieurs axillaires subterminaux.

Le stade 5 est marqué par la **disparition de la dominance apicale au niveau de la flèche**. Les nouvelles branches apparaissent alors sur le tronc avec un angle plus fermé et se développent indépendamment les unes des autres suivant le modèle architectural (réitérations sylleptiques). Leur ramification devient alors symétrique et l'hypotonie se reporte des axes d'ordre 3 sur les axes d'ordre 4. Dans les branches basses, l'hypotonie disparaît progressivement et de nombreuses réitérations épitones y compensent la mortalité centrifuge des axes d'ordre 3. Bien que l'arbre ait souvent encore sa flèche, celle-ci n'est plus physiologiquement dominante et lorsqu'un accident survient, elle ne peut plus être remplacée et plusieurs branches prennent le relais du tronc.

L'extension maximum (figure 10, p. 109)

La flèche n'est maintenant plus discernable. **L'arbre est divisé verticalement en deux parties** (stade 6).

Dans la moitié haute, le houppier définitif s'élabore à partir des branches apparues après la disparition de la dominance apicale de la flèche. Ces charpentières, d'insertion relativement fermée, sont indépendantes les unes des autres et se comportent chacune comme des arbres à part entière (réitérations sylleptiques) : leur base s'élague tandis que leur extrémité se développe selon l'architecture spécifique et sous le régime de l'hypotonie.

Dans la partie moyenne de l'arbre, l'hypotonie a disparu et le régime épitone est de rigueur.

Dans la partie basse, les branches apparues sous le régime de la dominance apicale, à angle d'insertion ouvert, fonctionnent un temps sous le régime de l'épitionie mais les réitérations proleptiques épitones compensent mal les pertes et ces branches meurent. Une mortalité basifuge élague ainsi progressivement le tronc jusqu'à la hauteur de la base du houppier définitif, qui était décelable dès le milieu du stade 4.

Figure 9
ROBINIER À LA FIN DU STADE 5.

La dominance apicale étant remise en cause chaque automne par la mort de l'apex, la flèche disparaît dès le début du stade 5 chez cette espèce.

La limite entre les deux moitiés du houppier se distingue en m.

Dans la moitié basse, l'élagage du tronc (c) et le dégarnissement (d) de la base des branches (au profit de l'hypotone h) est amorcé. Mais l'épitionie tend à se généraliser sous forme de réitérations sylleptiques (rs). Dans la moitié haute, l'hypotonie est maintenue.

Figure 10

ROBINIER À LA FIN DU STADE 6.

Le tronc est élagué (c) (caractéristique du stade 7). L'épitonie (rs : réitérations sylleptiques) est généralisée. Les réitérations proleptiques (rp) regarnissent la base des branches qui n'ont pas encore amorcé leur dégarnissement définitif également caractéristique du stade 7.

Au stade 7, les branches de la moitié basse ont disparu : **il ne reste que le houppier définitif**, dont les branches les plus basses sont elles-mêmes sous le régime de l'épitonie (réitérations proleptiques partielles). Les branches hautes continuent éventuellement à développer le modèle, sous une forme réduite, à leurs extrémités où l'hypotonie persiste chez certaines espèces sous une forme résiduelle. **La vigueur à ce stade est encore de 2 ou 3**, c'est-à-dire que, pour les espèces capables d'émettre plusieurs flux de croissance par an, les arbres peuvent encore présenter quelques pousses polycycliques développant chacune plus de deux ramifications l'année suivante.

La survie (figure 11 A, p. 110)

Au stade 8, **toutes les pousses sont monocycliques et constituent le plus souvent des rameaux courts** (brachyblastes, vigueur de 1), qui ne développent l'année suivante qu'un rameau à leur extrémité. Ces ramifications initiales (séquentielles) ne compensent plus la mortalité basifuge qui parcourt la branche ; seule, l'épitonie, en permettant l'émission de pousses longues de vigueur 3 voire 4 (réitérations proleptiques partielles) maintient la masse foliaire.

Figure 11

ROBINIER AUX STADES 9 ET 10.

A - Stade 9. Les ramifications initiales à l'extrémité des branches sont mortes, l'arbre se replie sur une multitude de réitérations partielles (rp) d'autant plus importantes qu'elles sont proches du tronc.

B - Stade 10. Le houppier s'est effondré. Des réitérations totales (rt) reconstituent des arbres indépendants attachés au tronc mais en voie d'acquies leur indépendance racinaire.

Le début du stade 9 est marqué par la mort des premières branches d'extrémité de houppier. Ce dépérissement semble dû à la concurrence de réitérations épitones mieux placées, à une déficience générale d'alimentation, à une mauvaise conduction de la sève ou, vraisemblablement aux trois facteurs à la fois. Il ne faut pas confondre cette mortalité définitive, centripète, avec le dégarnissement centrifuge des branches qui sévissait depuis le stade 4.

La sénescence progresse vers le centre tandis que l'arbre « se replie » sur des réitérations proleptiques de plus en plus importantes et plus proches de la base des charpentières ; mais l'importance de ces renouvellements ne compense pas la perte des branches mortes : l'arbre perd de sa masse foliaire et de son volume. Vers la fin de ce stade, des réitérations se forment sur tronc chez certaines espèces.

Une seconde vie (figure 11 B, ci-dessus)

Le stade 10 n'est atteint que par certains individus de quelques espèces capables de former, à partir de rameaux apparus sur leur tronc creux, un ou plusieurs arbres entiers **reproduisant tout le processus architectural de l'arbre jeune** (réitérations proleptiques totales). Un nouveau cycle de développement de l'individu s'amorce alors, dont la durée dépend essentiellement de l'aptitude de ces réitérations à reconstituer un système racinaire fonctionnel.

DISCUSSION

Nous proposons un schéma cohérent des symptômes morphologiques aboutissant à une approche globale du développement et du vieillissement de l'arbre, sans toutefois apporter d'explication physiologique. Ce modèle de développement a été longuement élaboré et vérifié par l'observation sur le terrain. Mais est-il réellement applicable à toutes les espèces ? Enfin, quelles applications de cette approche théorique peut-on envisager ?

L'observation de l'arbre dans le temps

Comment reconstituer l'évolution d'un arbre sur un siècle ? Nous avons utilisé, plus ou moins indépendamment, plusieurs méthodes.

La méthode absolue consistant à observer des individus pendant toute leur vie (méthode diachronique) est humainement peu envisageable ! Nos premières observations concernant plusieurs espèces, fortuites mais parfaitement mémorisées, remontent à 30 ans. Un travail plus systématique avec l'aide de photographies a été mené depuis 12 ans. Une recherche systématique d'archives photographiques pour certains individus est envisageable mais nous ne l'avons pas effectuée.

Nous avons principalement utilisé une méthode classique consistant à analyser des individus d'âges différents, si possible dans des conditions identiques, en supposant que tous les individus suivent le même processus de développement (analyse synchronique).

Certains accidents liés au climat ou à des travaux de terrassement nous ont été précieux, soit en simulant un processus de vieillissement accéléré, soit en montrant des différences avec le processus de développement normal (figure 14, p. 114).

Enfin, l'utilisation avec succès du modèle de développement dans l'analyse de centaines d'arbres de tous âges est une vérification *a posteriori* de la validité au moins partielle de ce modèle.

Généralisation du modèle à toutes les espèces (figure 12, p. 112)

La combinaison de paramètres choisie a été pertinente pour estimer l'état d'arbres d'âges très variés appartenant à une cinquantaine d'espèces indigènes et exotiques à axes mixtes (un axe pouvant former ou bien le tronc ou bien une branche) tels que le Févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos*) ou à branches différenciées du tronc tels que les Sapins (*Abies*). Certains arbres sont cependant plus difficiles à étudier. C'est le cas de la famille des Cupressacées puisque la croissance continue n'y marque pas de repères d'arrêt et de reprise de croissance permettant de mesurer la vigueur ; la faible dominance apicale relayée par une basitonie marquée rend également caduque la notion de degré d'acrotonie. Dans cette famille, les phénomènes de réitération sylleptique et de mortalité doivent être étudiés avec un soin particulier.

Notre méthode analytique met par contre en évidence la longueur relative des stades en fonction des espèces. Il suffit d'opposer les Sapins (*Abies*) dont la flèche est longtemps dominante (stade 4) au *Gleditsia* dont le tronc disparaît en fourches successives au bout de quelques années seulement. Mais au sein d'un même genre, chez les Pins (genre *Pinus*) par exemple, le Pin de l'Himalaya (*Pinus griffithii*) se maintient longtemps aux stades 4 et 5 alors que le Pin pignon (*Pinus pinea*) parvient très vite au stade 6 (la flèche ne se distingue plus des autres branches et la cime s'arrondit) mais il y reste très longtemps. Nos chênes indigènes peuvent se maintenir plus d'un siècle aux stades 9 et 10 alors que le Chêne rouge et le Chêne des marais (*Quercus rubra* et *Quercus palustris*) n'atteignent généralement pas le stade 10. Bien plus, certaines espèces monocarpiques tropicales ne dépassent vraisemblablement pas les stades 3 ou 4 (Barthélémy, 1988).

Figure 12

DÉVELOPPEMENT COMPARÉ DE QUATRE ESPÈCES DE CONIFÈRES.

A - Croissance rythmique des Pinacées (*Abies*, *Pinus*).

B - Croissance continue des Cupressacées (*Thuja*, *Cupressus*).

Ligne C - Phase de jeunesse (stade 3).

Ligne D - Jeune adulte : perte de la dominance apicale. La flèche indique la limite entre la partie basse temporaire du houppier et la partie haute constituant le houppier définitif chez *Abies* et *Pinus* ; la flèche indique la limite entre la zone de réitération sylleptique (basitonie tardive) et le reste du houppier chez *Thuja plicata*. Chez *Cupressus sempervirens*, une zonation est difficile à distinguer.

Ligne E - La mortalité basifuge (stade 7) : les courbes entourent les principales réitérations sylleptiques de l'arbre.

Colonne 1 - *Abies* : l'arbre maintient très longtemps sa dominance apicale.

Colonne 2 - *Pinus* : l'arbre perd plus tôt sa dominance apicale.

Colonne 3 - *Thuja* : l'enracinement (marcottage) des réitérations basales est fréquent.

Colonne 4 - *Cupressus* : selon le génotype, l'élagage du tronc sera rapide (angle d'insertion des branches ouvert) ou lent (port tástigé).

Une méthode analytique simplifiée (figure 13 et tableau I, p. 113)

La détermination de l'âge physiologique d'un arbre peut se faire de façon systématique et simplifiée en déterminant la présence, l'absence ou la valeur de critères morphologiques ayant trait à l'architecture, aux corrélations, à la vigueur et à la mortalité. **La superposition des valeurs de ces critères place l'individu observé dans l'échelle de développement** (tableau I). Pour un âge physiologique donné, nous distinguons des critères secondaires dont l'état peut varier d'une espèce à l'autre et de un à quatre critères obligatoires dont le basculement d'un état à un autre définit le passage d'un stade à un autre.

Tableau I

**La détermination des stades de développement
d'après un faisceau de 14 caractères morphologiques**

Stade de développement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flèche	+	+	+	+	+	5/6	—	—	—	—
Dominance apicale	+	+	+	+	4/5	—	—	—	—	—
Hypotonie des branches inférieures	—	+	+	+/-	+/-	—	—	—	—	—
Hypotonie de la partie supérieure ..	+	+	+	+	+/-	—	—	—	—	—
Modèle arbre entier	+	+	+ 3/4	—	—	—	—	—	—	—
Modèle partie haute	+	+	+	+ 4/5	—	—	—	—	—	—
Modèle branches hautes	+	+	+	+	+	5/6	—	—	—	—
Réitération sylleptique basse	—	—	—	+	+	—	+	—	—	—
Réitération sylleptique haute	—	—	—	—	4/5	+	+	—	—	—
Réitération proleptique basse	—	—	—	+/-	+	+	+	—	—	—
Réitération proleptique haute	—	—	—	—	+/-	+	+	+	+	—
Réitération proleptique totale	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9/10
Vigueur (rameaux les plus torts) ...	2 à 4	4	4	4	3 à 4	3 à 4	2 à 3	7/8	1	1 à 4
Acrotonie (idem)	2 à 4	4	4	4	3 à 4	3	2	1	1	1 à 4
Mort des branches basses	—	—	—	—	4/5	+	6/7	+	—	—
Mortalité à la base des branches ..	—	—	—	+/-	+/-	+/-	+	+	—	—
Mort des extrémités de branches ..	—	—	—	—	—	—	—	—	8/9	+
Descente de cime	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9/10

case vide : le phénomène ne peut apparaître car l'organe concerné est absent.

— : le phénomène est présent.

— : le phénomène n'existe pas encore ou n'existe plus.

4/5 : caractère discriminant pour le passage du stade 4 au stade 5.

Figure 13
ÉVOLUTION DE L'ARBRE DE LA
GERMINATION À LA MORT
SCHEMATISÉE ET DÉCOMPOSÉE
EN 10 STADES.

Partie supérieure : évolution théorique du nombre d'apex en croissance.

Partie inférieure : évolution schématique de la partie aérienne.

Pour analyser une population présentant l'éventail le plus large d'espèces et d'âges, celle d'un vieux parc par exemple, tous les paramètres sont utiles ; mais, dans l'étude d'une population plus ou moins équienne ou monospécifique, après une étude approfondie de quelques individus représentatifs, la réduction du nombre de paramètres s'impose. Pour les arbres jeunes par exemple, les paramètres « modèle architectural » et « corrélations » sont primordiaux ; pour les arbres âgés, les critères « vigueur » et « mortalité » sont essentiels. Ainsi, sur un parc de deux hectares constitué par une population de type forestier composée de deux espèces principales, l'analyse et le diagnostic ont été réalisés à raison d'une minute par arbre en moyenne.

Vieillesse et dépérissement (figure 14, ci-dessous)

Nous avons pensé réduire le nombre de paramètres étudiés, car il y a souvent redondance entre accomplissement du modèle architectural et fonctionnement hypotone ou entre acrotonie et vigueur par exemple. En fait, cette redondance est souvent souhaitable voire nécessaire pour étudier une espèce dont l'architecture type est inconnue, pour étudier des Cupressacées ou pour déceler des anomalies.

Figure 14

LA RAMIFICATION, TÉMOIN D'UN STRESS.

A - Branche d'un arbre témoin au stade 6 ou 7 (vigueur et acrotonie de 3). Le nombre de rameaux longs augmente fortement chaque année. La sélection d'axes n'est pas immédiate : l'ensemble E mourra dans quelques années. Remarquer la mort rapide, dès le bois de trois ans, des rameaux courts non concurrentiels par rapport aux rameaux longs.

B - Branche d'un arbre souffrant d'une atteinte sévère et brutale de son système racinaire : acrotonie et vigueur passent brutalement de 3 à 1. Il n'y a plus de rameaux longs et pas de sélection d'axes privilégiés. Les rameaux courts survivent plus longtemps. Si le système racinaire ne se rétablit pas rapidement, la branche mourra en bloc.

C - Branche d'un arbre dépérissant lentement : la vigueur est de 2, l'acrotonie de 3. Il n'y a qu'un rameau long terminal annuel, mais plusieurs axillaires se développent en rameaux courts dont la durée de vie dépasse 5 ans : des axes se dégagent au tur et à mesure des années (« fouets »).

D - Branche d'un arbre au stade 8.

1, 2 et 3 sont les années de forte croissance avant les signes de dépérissement.

Le « découplage » acrotonie/vigueur par exemple nous a été utile pour détecter les arbres souffrant de la sécheresse, d'une section importante des racines lors de travaux ou d'un dépérissement : si des années de croissance faible succèdent à des années de croissance forte, la vigueur diminue plus que l'acrotonie n'augmente et on obtient en quelques années la figure connue des « fouets » individualisés dans la couronne (Landmann, 1988 ; Roloff, 1986).

Plus généralement, le **vieillissement** d'un arbre se traduit par une concordance, pour tous les paramètres, entre les valeurs observées et celles prévues dans le tableau d'analyse pour un stade donné ; un **dépérissement** est décelé par une discordance entre la valeur observée d'un paramètre obligatoire et les valeurs des autres paramètres du stade de développement étudié.

CONCLUSIONS : UNE BASE DE RÉFLEXION

Cette approche raisonnée à l'échelle de l'arbre entier permet d'appréhender l'arbre à travers l'ensemble de sa structure et de le situer sur la totalité de son développement, de la germination jusqu'à la mort. Nous verrons ultérieurement comment cette méthode nous aide à raisonner la gestion des populations et celle des individus.

Sur un plan fondamental, cette méthode place, dans un contexte unique et plus large, des recherches ou des observations multiples et dispersées. Elle permet de les situer dans « le temps tel que l'arbre le conçoit ».

Elle propose ainsi un modèle que nous pouvons tester. L'âge physiologique d'un lot d'arbres étant déterminé, le diagnostic sur ses possibilités de développement établi, on peut comparer plusieurs traitements de la partie aérienne, éventuellement de la partie souterraine, en présupant des réactions des arbres.

Celles-ci, mesurées quelques années après, permettront de vérifier la réalité de l'âge physiologique atteint, la possibilité ou l'impossibilité de revenir réellement à un stade de développement antérieur, le rôle supposé du système racinaire dans le vieillissement ; les réactions inattendues permettront de modifier l'hypothèse que constitue le modèle de développement proposé.

P. RAIMBAULT M. TANGUY
ÉCOLE NATIONALE DES INGÉNIEURS DES TRAVAUX
DE L'HORTICULTURE ET DU PAYSAGE
2, rue Le Nôtre
49045 ANGERS CEDEX

BIBLIOGRAPHIE

- BARTHÉLÉMY (D.). — Architecture et sexualité chez quelques plantes tropicales : le concept de floraison automatique. — Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Institut de Botanique, 1988. — 285 p. (Thèse de Doctorat).
- BARTHÉLÉMY (D.), CARAGLIO (Y.), DRENOU (C.), FIGUREAU (C.). — Architecture et sénescence des arbres. — *Forêt Entreprise*, n° 83, 1992, pp. 15-35.
- CARAGLIO (Y.), ÉDELIN (C.). — Architecture et dynamique de croissance du Platane *Platanus hybrida* Brot. (*Platanaceae*) syn. *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd. — *Bulletin de la Société botanique de France, Lettres botaniques*, vol. 137, n° 4/5, 1990, pp. 279-291.
- CHAMPAGNAT (P.). — L'Architecture des végétaux ligneux : principes, problèmes. — Université de Clermont-Ferrand, 1983 (Cours DEA, manuscrit).
- CHAMPAGNAT (P.). — Quelques caractères de la ramification du rameau d'un an des végétaux ligneux. — 96^e Congrès pomologique, 14-17 octobre 1965, 1965, pp. 9-35.
- ÉDELIN (C.). — L'Architecture monopodiale : l'exemple de quelques arbres d'Asie tropicale. — Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Institut de Botanique, 1984. — 258 p. (Thèse de Doctorat).
- ÉDELIN (C.). — Images de l'architecture des conifères. — Montpellier : Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Institut de Botanique, 1977. — 255 p. (Thèse de 3^e cycle).
- HALLÉ (F.), OLDEMAN (R.A.A.). — Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. — Paris : Masson, 1970. — 192 p.
- LANDMANN (G.). — Comment apprécier la vitalité d'un arbre ou d'un peuplement forestier ? — *Revue forestière française*, vol. XL, n° 4, 1988, pp. 265-283.
- OLDEMAN (R.A.A.). — L'Architecture de la forêt guyanaise. — Montpellier : CNRS 7787, 1972 (Thèse de Doctorat) (Mémoire ORSTOM, n° 73, 1974, 204 p.).
- RAIMBAULT (P.). — Développement des systèmes aérien et souterrain des arbres d'ornement. Éléments d'analyse et de diagnostic. — Angers : ENITHP, 1991. — 61 p. (document polycopié).
- ROLOFF (A.). — Morphologie der Kronenentwicklung von *Fagus sylvatica* L. (Rotbuche), unter besonderer Berücksichtigung möglicherweise neuartiger Veränderungen. — *Bericht Forschungszentr. Waldökosysteme*, n° 18, 1986, pp. 1-177.
- THIÉBAUT (B.), PUECH (S.). — Développement du Hêtre commun : morphologie et architecture de l'arbre. 1^{re} partie : le développement des plants. — *Revue forestière française*, vol. XXXV, n° 6, 1983, pp. 443-451.
- THIÉBAUT (B.), PUECH (S.). — Développement du Hêtre commun : morphologie et architecture de l'arbre. 2^e partie : le développement des arbres. — *Revue forestière française*, vol. XXXVI, n° 1, 1984, pp. 45-58.

LA GESTION DES ARBRES D'ORNEMENT. 1^{re} PARTIE : UNE MÉTHODE D'ANALYSE ET DE DIAGNOSTIC DE LA PARTIE AÉRIENNE (Résumé)

L'étude est fondée sur les relations pouvant exister entre la morphologie de la plante et son fonctionnement. Le développement de l'arbre est étudié selon un faisceau de critères morphologiques prenant en compte les corrélations de croissance, l'architecture et la mortalité des branches. Dix stades de développement, depuis la germination jusqu'à la mort, ont été définis selon ces critères morphologiques. Chaque stade correspond à un fonctionnement bien déterminé de l'arbre, quelle que soit l'espèce, gymnosperme ou angiosperme. Il est ainsi proposé une méthode d'analyse morphologique rapide comme base du diagnostic de l'état physiologique d'un arbre.

ON MANAGING ORNAMENTAL TREES. PART ONE: METHODS FOR THE ANALYSIS AND DIAGNOSIS OF THE ABOVEGROUND PART (Abstract)

The study is based on possible relations between the plant's morphology and method of functioning. Tree development is considered using a wide range of morphological criteria that include correlations between branch growth, architecture, and mortality. Morphological criteria have been used to work out ten stages of development, from germination to death. Each stage corresponds to a well-defined function pattern in the tree, regardless of species, gymnosperm and angiosperm. A quick morphological analysis method is proposed as the basis for making a diagnosis of the tree's physiological condition.

DIE VERWALTUNG DER ORNAMENTALE BÄUME. ERSTER TEIL: EINE METHODE ZUR ANALYSE UND DIAGNOSE DER BAUMKRONE (Zusammenfassung)

Die Untersuchung stützt sich auf die möglichen Beziehungen zwischen der Pflanzengestalt und ihrem Funktionieren. Die Entwicklung des Baumes wird an Hand einer Reihe von morphologischen Kriterien, welche die Korrelationen von Wachstum, Architektur und Absterben der Äste in Betracht ziehen, untersucht. Zehn Entwicklungsstadien, von der Keimung bis zum Tod, wurden nach morphologischen Kriterien definiert. Jede Phase entspricht einem genau bestimmten Funktionieren des Baumes, egal ob nachtsamige oder bedecktsamige Arten. Es wird hier eine Methode für eine rasche morphologische Analyse vorgeschlagen als Ausgangsbasis einer Diagnose des physiologischen Zustands eines Baumes.

LA GESTIÓN DE LOS ÁRBOLES DE ORNAMENTO. PRIMERA PARTE: UN MÉTODO DE ANÁLISIS Y DE DIAGNÓSTICO DE LA PARTE AÉREA (Resumen)

El estudio está fundado en las relaciones que pueden existir entre la morfología de la planta y su funcionamiento. El desarrollo del árbol es estudiado según un conjunto de criterios morfológicos que toman en cuenta las correlaciones de crecimiento, la arquitectura y la mortalidad de las ramas. Diez etapas de desarrollo, desde la germinación hasta la muerte, han sido definidas según esos criterios morfológicos. Cada etapa corresponde a un funcionamiento bien determinado del árbol, sea cual sea la especie, gimnosperma o angiosperma. Se propone así un método de análisis morfológico rápido como base del diagnóstico del estado fisiológico de un árbol.

POUR GARDER EN BON ÉTAT LA COLLECTION DE LA
revue forestière française

UTILISEZ LA

Reliure instantanée

QUI CONSERVE INTACTS TOUS LES NUMÉROS D'UNE ANNÉE

Très belle présentation, couleur verte, impression or sur le dos

sans millésime

prix : 65 f

(PORT ET EMBALLAGE COMPRIS)

60 F à partir de 3 unités

Les commandes, accompagnées du paiement au nom du Régisseur de l'ENGREF (C.C.P. Nancy 5400.64 D), sont à adresser à :

Revue forestière française

14, rue Girardet - 54042 NANCY CEDEX