



HAL
open science

L'architecture des arbres au service des forestiers

Sylvie-Annabel Sabatier, Yves Caraglio, Christophe Drénou

► **To cite this version:**

Sylvie-Annabel Sabatier, Yves Caraglio, Christophe Drénou. L'architecture des arbres au service des forestiers. Innovations Agronomiques, 2014, 41, pp.119-128. 10.17180/z4mz-r659 . hal-04663182

HAL Id: hal-04663182

<https://hal.inrae.fr/hal-04663182>

Submitted on 26 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

L'architecture des arbres au service des forestiers

Sabatier S.¹, Caraglio Y.¹, Drénou C.²

¹ UMR Cirad-Cnrs-Inra-Ird-Université Montpellier 2 "botanique et bioinformatique de l'Architecture des Plantes" (AMAP) TA A51/PS2, Boulevard de la Lironde, F-34398 Montpellier cedex 5

² Centre National de la Propriété Forestière, Institut pour le Développement Forestier (IDF) - Antenne de Toulouse - Maison de la Forêt - 7, chemin de la Lacade, F-31320 Auzeville Tolosane

Correspondance : sylvie-annabel.sabatier@cirad.fr

Résumé

Basés sur le diagnostic architectural, quatre outils sont proposés pour diagnostiquer les arbres et évaluer leur réactivité face aux perturbations environnementales. Le diagnostic ontogénique, outil déjà utilisé, permet d'identifier le stade de développement de l'arbre. Des checklists de marqueurs architecturaux listent les critères pour décrire un arbre. Les clés de détermination ARCHI, outils aboutis, sont utilisées pour pronostiquer l'avenir à court terme des arbres présentant des symptômes de dépérissement. L'application DiagArchi, en cours de réalisation, sera un support pédagogique, afin de familiariser l'utilisateur aux connaissances morphologiques pré-requises, et technologique afin d'obtenir automatiquement les résultats aux diagnostics. Ces outils pourraient contribuer à la gestion forestière et aux prises de décision d'intervention lors de dépérissement des arbres.

Mots-clés: architecture des arbres, analyse rétrospective, diagnostic de l'arbre, dépérissement, cèdre, châtaignier, chênes, douglas, hêtre, pins, sapin pectiné.

Abstract: Tree architecture and diagnose tree reactivity

Based upon architectural diagnosis, four tools are available to diagnose the trees and assess their reactivity to environmental disturbances. The ontogenetic diagnosis tool, already implemented, makes it possible to identify the stage of development of the tree. Architectural markers list the criteria to describe a tree and its vitality. Identification keys ARCHI are used to predict the short term future of trees showing symptoms of dieback. The DiagArchi application, under development, will be a teaching tool to familiarize the user with the required pre-morphological knowledge, and technology to automatically get the results to diagnosis. These tools could help in forest management and in decision-making intervention at periods of tree decline.

Keywords: Plant architecture, tree diagnosis, tree decline, beech, cedar, chestnut tree, oak, pine, silver fir.

Introduction

Née dans les années 1970 pour caractériser la forêt tropicale humide, l'architecture végétale a rapidement été transférée aux problématiques des régions tempérées, en particulier celles de la production fruitière ainsi que celles des soins à apporter aux arbres d'ornement. Les forestiers se tournent eux aussi vers cette discipline botanique car les incertitudes sur le comportement des arbres face au changement climatique sont nombreuses. Comment décrire précisément les arbres (diagnostic), traduire les informations visuelles en termes de fonctionnement (physiologie) et anticiper l'avenir (pronostic) ? Pour y parvenir, les auteurs de cet article proposent une série de marqueurs

architecturaux, des plus simples destinés aux propriétaires forestiers aux plus complexes pour les chercheurs et experts.

L'intérêt pour la compréhension de la croissance des arbres est apparu très tôt et a commencé par l'identification et la caractérisation des parties constitutives du végétal. Cet aspect descriptif est basé sur la morphologie qui découpe très classiquement l'organisme en feuille, tige et racine. La démarche permet de caractériser localement les parties de la plante mais ne renseigne en rien sur les modalités de construction de la structure végétale. L'organisme végétal est avant tout une structure qui se complique au cours du temps depuis la germination jusqu'à sa mort en occupant l'espace à partir de son point d'ancrage au niveau du sol. De fait, l'*architecture végétale* (les termes en italiques sont définis dans le lexique) vise à comprendre la dynamique d'édification de la structure végétale dans l'espace et au cours du temps. Ainsi, bien que reposant sur la morphologie, l'architecture végétale s'en distingue fondamentalement par une prise en compte de la globalité de la plante et par une vision dynamique de son édification (Barthélémy et Caraglio, 2007).

Cette discipline botanique est née sous les tropiques dans le but de caractériser la forêt tropicale humide au travers de l'état de structuration des arbres. C'est Francis Hallé qui a mis en place la méthode et les premiers concepts (modèle architectural, Hallé et Oldeman, 1970). Oldeman a développé à cette époque (1974) la notion de *réitération* ou duplication d'une architecture. L'introduction de concepts plus proches de l'espèce comme l'*unité architecturale* (Edelin, 1977, Barthélémy et al, 1989) a permis d'aborder par la suite la modélisation de l'architecture (de Reffye et al., 1991 ; de Reffye et Blaise, 1993) pour aborder des questions de production en arboriculture fruitière puis de production forestière qui ont donné un grand nombre de résultats dans le cadre d'un rapprochement avec l'INRA et d'une forte collaboration avec l'IDF dans les années 90-97. La question de construction et de vieillissement des grands arbres tropicaux et tempérés s'est traduite par un certain nombre de concepts utilisables pour effectuer des diagnostics de l'état de développement des arbres ou diagnostic architectural et à donner lieu à un certain nombre de transferts de connaissances depuis les années 2000 (formations, littérature de vulgarisation). Actuellement, la demande des gestionnaires et des professionnels de l'arbre se traduit par la mise en place de divers programmes de recherche locaux, nationaux et européens.

Nous proposons quatre outils pour diagnostiquer les arbres et évaluer leur réactivité face aux perturbations environnementales.

Outil n°1 : le diagnostic ontogénique

Le diagnostic ontogénétique sert à identifier le stade de développement d'un arbre. C'est un préalable indispensable à tout autre diagnostic. Cet outil est utilisé depuis longtemps par les gestionnaires des arbres d'ornement en France comme à l'étranger (Canada, Espagne, Belgique, Allemagne...).

Le développement d'un végétal est caractérisé par un changement continu du fonctionnement des *méristèmes* induisant une modification progressive de l'architecture. L'analyse architecturale permet de découper en étapes ce développement et d'établir ainsi une séquence précise et ordonnée d'événements morphologiques jalonnant la vie de l'arbre. A ce sujet, il ne faut pas confondre la croissance très connue des forestiers, laquelle traduit l'augmentation d'un caractère (hauteur, circonférence...), et le développement qui correspond à l'apparition ou la disparition de caractères (réitération, floraison...). Le développement prend donc en compte les changements morphologiques endogènes au cours du temps. Chaque essence possède sa propre séquence ontogénétique et cette dernière est considérée en architecture comme la référence d'un développement optimal. Une telle approche se distingue de la notion « d'arbre de référence » que les forestiers définissent comme « arbre normal » pour les conditions pédologiques, climatiques et sylvicoles d'une localité donnée. Avec une telle définition, le risque est d'avoir autant d'arbres de références que de peuplements, de stations

et de stades de développement, ce qui peut considérablement biaiser les diagnostics de l'état des forêts. Avec le concept de « séquence de développement » au contraire, il y a une prise en compte de la part endogène du développement indépendante de l'environnement local.

Comment identifier chaque stade de développement ?

- Le stade « jeune » est conforme à l'*unité architecturale*. Les branches portent des rameaux et ramilles (sapin, douglas, chêne et châtaignier) ou des rameaux, ramilles et rameaux courts (cèdre, pin et hêtre). L'arbre présente une structure fortement hiérarchisée autour du tronc unique. Le contour du houppier est pyramidal (Figure 1.1). La pousse annuelle du tronc est longue. Elle est composée de 3 à 4 unités de croissance chez le Chêne.
- Le stade « adulte » correspond à un enrichissement de la ramification par la *réitération immédiate* des branches, à l'expression de la sexualité et au début de formation de la couronne. Ce stade est identifiable par la structure des branches montrant des réitérations immédiates (fourches) successives latérales. Chez les feuillus, ce stade est identifiable par la présence d'une fourche à l'extrémité du tronc. Le contour du houppier est régulier et compact. Il s'arrondit en *cime* (Figure 1.2). La pousse annuelle est longue.
- Le stade « mature » correspond à une diminution des capacités de ramification et une forte expression de la sexualité. La cime est constituée d'une succession de fourches de plus en plus rapprochées les unes des autres au cours du temps. La périphérie du houppier est constituée de pousses très courtes et peu ramifiées. La réduction de la taille des pousses annuelles et de la ramification entraîne une homogénéisation des structures mises en place. Les conifères montrent une forme tabulaire au sommet du tronc. Les axes tendent vers une direction de croissance horizontale. Les feuillus ont un contour du houppier irrégulier et éclaté en une multitude de petites cimes (Figure 1.3). L'arbre a atteint sa hauteur maximale.
- Le stade « sénescant » est caractérisé par la mise en place d'*unités minimales*, par une mortalité des axes qui progresse de la périphérie vers la base de l'arbre, par une diminution de la capacité à produire des *rameaux épicorniques* vigoureux et par une lente dislocation du houppier (Figure 1.4). Chez les conifères et espèces monoïques, la sexualité mâle tend à devenir prépondérante.

L'outil se présente sous forme de fiches pédagogiques, une par essence, avec des schémas légendés des quatre stades décrits précédemment. Le diagnostic ontogénique d'un arbre donné se fait par comparaison avec les étapes de la séquence de développement de l'espèce.

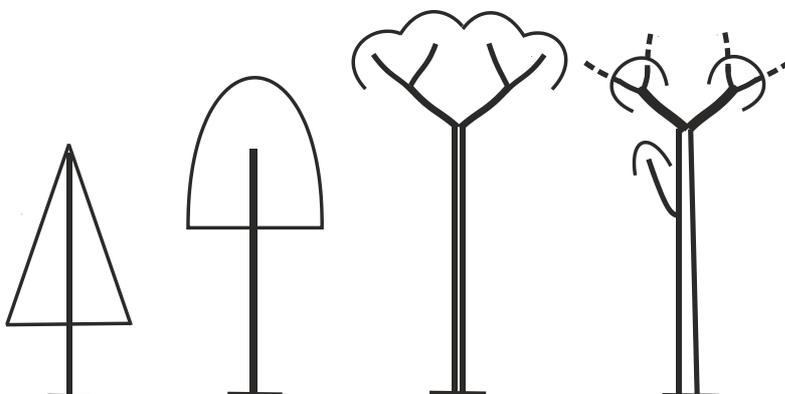


Figure 1 : Les stades de développement pour des essences feuillues : 1. Jeune arbre conforme à son unité architecturale. Le contour du houppier est pyramidal; 2. Arbre adulte et construction de sa cime. La cime s'arrondit. 3. Arbre mature et la périphérie du houppier est constitué de cimettes toutes semblables entre elles. 4. Arbre sénescant et invasion progressive par la mortalité. Le contour du houppier est disloqué.

Outil n°2 : les checklists de marqueurs architecturaux

Cet outil a pour but de lister l'ensemble des marqueurs architecturaux utilisables pour diagnostic l'état d'un arbre (Tableau 1, pour *Abies alba*). Il est utilisable dans de nombreuses situations forestières : notation d'arbres jeunes dans des essais expérimentaux, comparaison de provenances géographiques, choix des arbres d'avenir, sélection génétique, suivi de peuplements dans le cadre d'observatoires du changement climatique...

Tableau 1 : Checklist des marqueurs architecturaux pour *Abies alba* adulte, au niveau du houppier hors concurrence

Contour de la cime : pyramidal, arrondi ou tabulaire
Rameaux inter-verticillaires sur le tronc : oui/non
Tassement brutal des branches le long du tronc : oui/non
Fourches réitératives sur les branches : oui/non
Zone végétative entre la cime portant les cônes femelles et la zone mâle : oui/non
Rameaux épicorniques sur les branches : oui/non
Rameaux épicorniques sur le tronc : oui/non
Redressement de branches : oui/non
Arrêt temporaire du fonctionnement du bourgeon apical édificateur : oui/non
Durée de vie des feuilles sur le tronc, les branches et les rameaux
Mortalité sur le tronc, les branches et/ou les rameaux : oui/non
Direction de croissance de la pousse annuelle au sommet de la cime : verticale/horizontale

Un arbre est composé de plusieurs niveaux d'organisation : *unité de croissance*, axe ramifié, *unité architecturale* et arbre entier. Plus l'échelle est petite et meilleure est la précision des observations, mais plus ces dernières deviennent difficiles au fur et à mesure que l'arbre grandit. La visibilité de l'architecture devient d'ailleurs vite problématique quand les arbres dépassent 25 mètres de hauteur et lorsqu'ils sont situés en forêts denses, surtout s'ils portent un feuillage persistant comme les résineux. Des critères architecturaux simples adaptés à chaque échelle d'observation (arbre entier, système ramifié et pousse annuelle) et à chaque stade de développement ont été retenus. Une combinaison de critères permet d'estimer le degré de réactivité d'un arbre aux perturbations de l'environnement. Ces checklists prennent en compte la diversité architecturale des espèces forestières. Ainsi, le développement des cèdres, du douglas, des pins et des sapins est *monopodial* alors que celui du châtaignier et des chênes est *sympodial*. La croissance annuelle du pin d'Alep et celle des chênes montrent systématiquement du *polycyclisme*. Les pins d'Alep et sylvestre, le hêtre, le châtaignier et les chênes subissent une *métamorphose architecturale*. Le cèdre et les pins ne produisent pas de *rameaux épicorniques*, mais ils possèdent des rameaux courts capables de devenir longs en cas de stress et de jouer ainsi un rôle dans la restauration des axes dépérissants. Le cèdre possède une forte capacité à mettre en place des *rameaux à développement immédiat* tandis que chez beaucoup d'autres espèces, cette capacité est faible ou inexistante. Le pin sylvestre présente une grande variabilité de formes s'expliquant par une forte capacité à dupliquer le tronc à partir d'une branche et à remplacer ainsi le tronc initial.

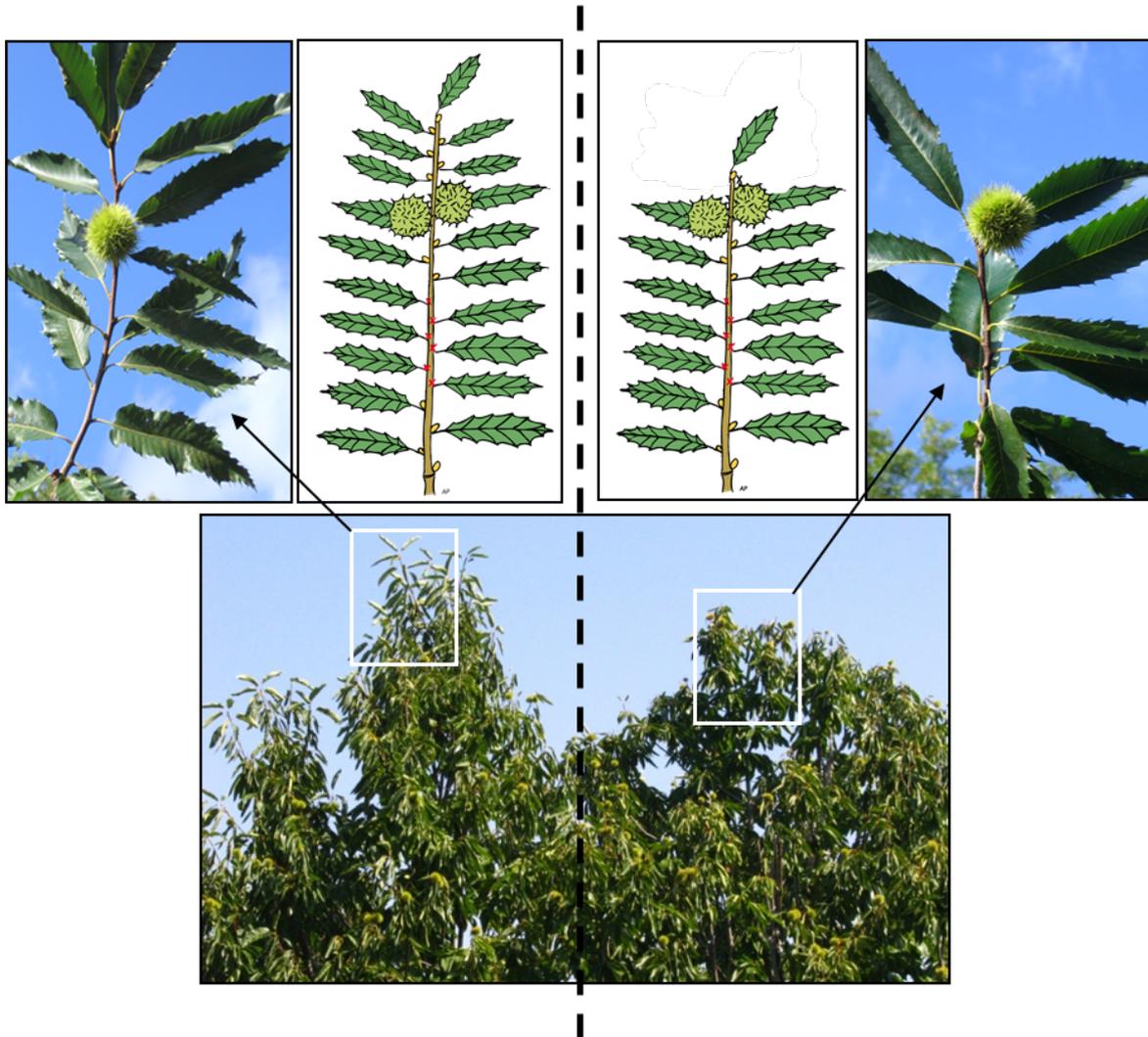


Figure 2 : Exemple de marqueurs architecturaux de la réactivité d'un arbre : la structure des pousses annuelles chez le Châtaigner. Chez cette essence, une pousse annuelle est constituée de cinq zones morphologiques. Zone I : zone basale stérile portant des bourgeons latents ; Zone II : zone portant des chatons mâles ; Zone III : zone médiane stérile portant des bourgeons latents ; Zone IV : zone produisant les châtaignes ; Zone V : zone apicale portant des bourgeons qui se développeront en axes l'année suivante. L'ordre de ces zones est invariable. Mais, le nombre de zone diminue avec la vitalité. Ainsi, à la cime de ce châtaignier mature, deux types de pousses sont visibles : des pousses annuelles à 4 zones issues des axes séquentiels (à droite) et des pousses annuelles à 5 zones issues de rameaux épïcormiques (à gauche). Cette différence atteste que l'arbre possède encore une bonne capacité à réagir aux perturbations de l'environnement. Schéma : A. Pavie. Photos : Ch. Drénou.

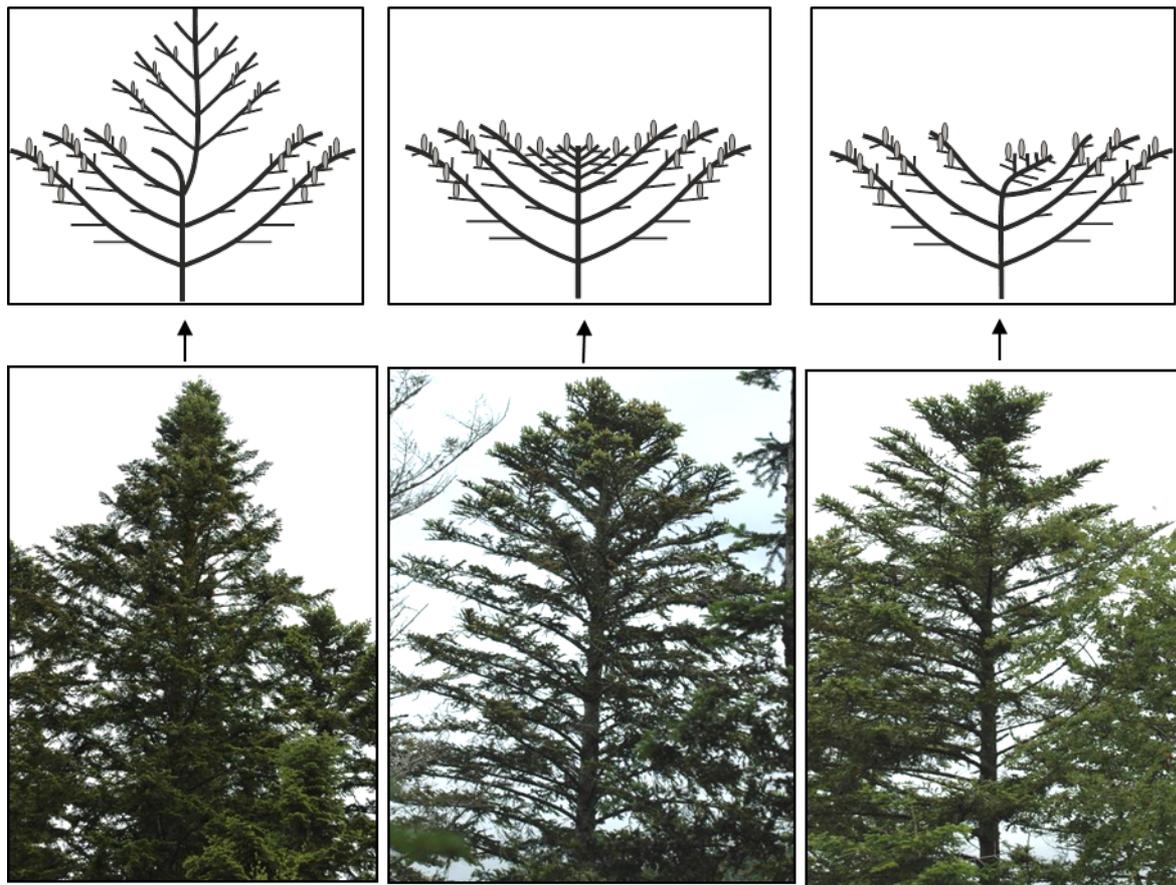


Figure 3 : Exemples de marqueurs architecturaux de la réactivité du sapin pectiné adulte: la réduction prématurée de la taille des pousses annuelles et le tassement des étages de branches le long du tronc. Pour un même stade de développement, on observe soit la mise en place d'un relai par le redressement d'une branche (arbre de gauche), soit la persistance d'une croissance réduite (arbre du milieu) ou soit la transformation du tronc initial en branche (arbre de droite) suite à une réduction prématurée de la croissance annuelle. Cela traduit une capacité de réaction de l'arbre décroissante de la gauche vers la droite.

Outil n°3 : les clés de détermination ARCHI

Cet outil sert à pronostiquer l'avenir à court terme des arbres présentant des symptômes de dépérissement. S'appuyant sur une simplification des critères décrits dans le chapitre précédent, il propose des clés de détermination architecturale spécifiques à chaque essence ou groupe d'essences (une seule clé pour les chênes sessile, pédonculé et pubescent). Chacune guide l'observateur en lui posant des questions à réponse binaire oui/non et en le conduisant vers six sorties possibles :

- Arbre sain : arbre dont l'architecture est conforme à son stade de développement,
- Arbre stressé : arbre dont l'architecture s'écarte de la norme et dont l'avenir est incertain,
- Arbre résilient : arbre présentant une dynamique de retour à la normale,
- Arbre en descente de cime : arbre présentant une dynamique de construction d'un nouvel houppier sous la cime,
- Arbre en situation de dépérissement irréversible : arbre bloqué dans une situation de non-retour à la normale,
- Arbre mort.

Les clés intègrent trois séries d'observation : la structure séquentielle mise en place au cours du développement qui renseigne sur le stade de développement de l'arbre, les symptômes de dégradation

du houppier (mortalité, appauvrissement de la ramification) et enfin les processus de restauration du houppier résultant essentiellement du développement de rameaux épicorniques. L'étude du rapport de force entre ces processus antagonistes –dégradation et restauration- permet de porter un diagnostic sur l'arbre. Ainsi, deux chênes ayant le même taux de mortalité, ou présentant un déficit foliaire identique, n'auront pas du tout le même devenir selon la nature des rameaux épicorniques qu'ils portent. Si ceux-ci, même nombreux, sont très peu vigoureux, ils parviendront à synthétiser la quantité de sucres nécessaire à leur pérennité, à la formation éventuelle de nouveaux petits rameaux épicorniques et au renouvellement des racines fines, mais seront dans l'incapacité de restaurer une architecture normale. Si au contraire des rameaux épicorniques vigoureux sont présents, même en petite quantité, une dynamique de résilience du houppier est possible. Les analyses de la largeur des cernes ont clairement montré ces différences de comportement chez le chêne pédonculé (Drénou et al., 2012). Quelques années après la canicule de 2003, des forestiers ont été étonnés de constater le reverdissement de certains douglas jugés dépérissants en 2004. Là aussi, l'explication se trouve dans les rameaux épicorniques : une cime sèche peut être remplacée par un ou plusieurs rameaux épicorniques identiques à la flèche initiale, et les branches dégarnies ont la possibilité de produire des rameaux épicorniques similaires aux rameaux sacrifiés.

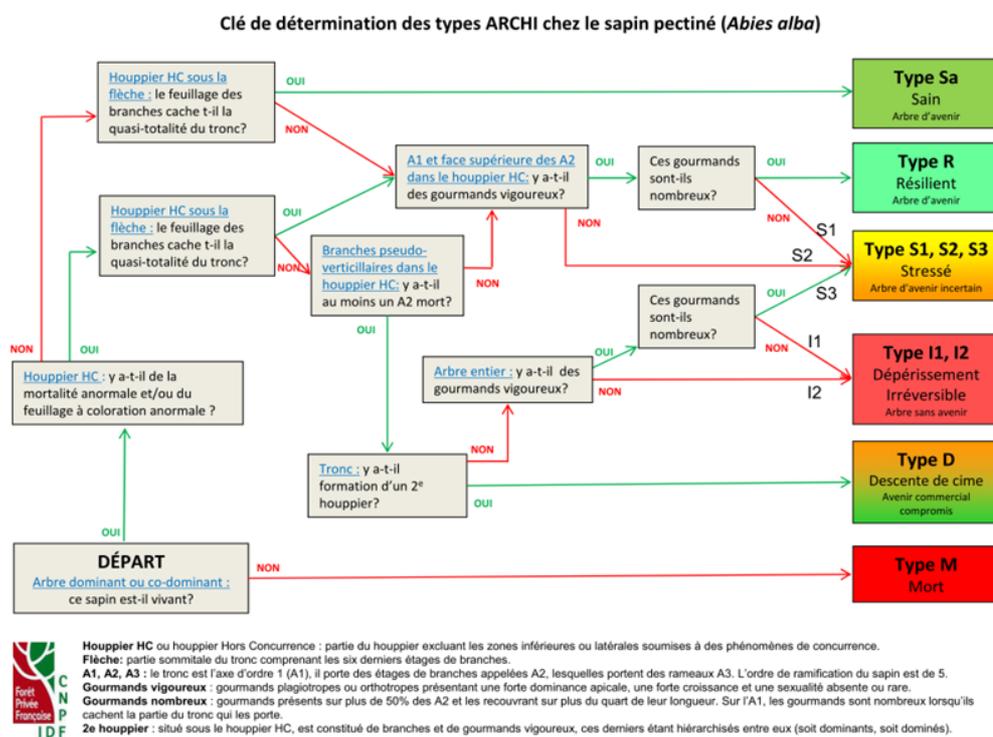


Figure 4 : Clé de détermination ARCHI pour le sapin pectiné.

Le Département Santé des Forêts (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt) utilise des méthodes de diagnostic visuel de l'état des cimes (par exemple DEPEFEU, Dépérissement Feuillus, Nageleisen, 2012) utilisées pour suivre l'évolution sur plusieurs années de l'état des forêts aux échelles nationale et régionale. Un outil complémentaire, conçu pour conseiller les propriétaires sur la gestion immédiate et individuelle des arbres dépérissant, la clé ARCHI du CNPF est aujourd'hui disponible pour six espèces: le chêne pédonculé, le chêne sessile, le chêne pubescent, le châtaignier, le Douglas et le sapin pectiné (Drénou et al., 2011, 2012, 2013). D'autres espèces viendront progressivement s'ajouter au fur et à mesure de l'avancée des connaissances. L'appropriation et l'utilisation de la méthode nécessitent deux conditions préalables : utiliser une bonne paire de jumelles (grossissement de 10) et suivre une formation sur le terrain.

Outil n°4 : l'application DIAGARCHI (DIAGnostic ARCHItectural sur support nomade)

Les forestiers, et plus généralement tous les gestionnaires d'arbres et d'espaces naturels, ont besoin d'être conseillés avant de prendre des décisions. Ils le sont déjà grâce aux actions d'information et de formation proposées par divers organismes (IDF, CRPF, CETEF, DSF...). Cependant, en dehors du cadre de ces actions, face à des situations souvent singulières, le professionnel se retrouve seul. Il lui manque un outil de diagnostic de l'état et du devenir de ses arbres afin de répondre à plusieurs questions concrètes.

Quels arbres dois-je regarder en priorité dans un peuplement présentant des signes apparents de dépérissement ? Que dois-je regarder dans un arbre ? Quel est l'état sanitaire actuel de mon arbre : sain, stressé, résilient ou en dépérissement irréversible ? Quel est son avenir à court terme : arbre d'avenir, sans avenir ou à avenir incertain ?

L'outil DIAGARCHI est une application informatique sur support nomade (de type Smartphone) pouvant fonctionner sans connexion internet, le logiciel étant diffusé par le Web. L'outil fonctionnera sur la base d'une série de requêtes associées à des images et photographies.

Les intérêts sont multiples :

- Niveaux d'observations (arbre entier, houppier, tronc...) et nature des observations (mortalité, déficit foliaire, gourmands...) précisés à chaque requête,
- Liens automatiques entre les requêtes et les aides iconographiques,
- Mémorisation de l'historique des questions/réponses pour chaque série de requêtes,
- Obtention de scores à l'échelle d'un peuplement.

Simple, rapide, autonome, transportable et disponible à tout moment, l'outil DIAGARCHI répondra à deux objectifs : pédagogique afin de familiariser l'utilisateur aux connaissances morphologiques pré-requises, et technologiques afin d'obtenir automatiquement les résultats aux diagnostics. Les utilisateurs potentiels de l'outil sont nombreux : propriétaires forestiers, techniciens forestiers (CRPF, ONF, DSF...), gestionnaires d'espaces naturels, associations de planteurs de haies, paysagistes, services techniques des collectivités territoriales, experts, étudiants, chercheurs, particuliers... Un prototype d'application sur Smartphone a été réalisé dans le cadre du projet PI@ntnet dont l'objectif est l'identification interactive des plantes et le développement de système d'information collaboratif (www.plantnet-project.org).

Conclusion

L'architecture des arbres est une discipline scientifique présentant plusieurs atouts. Elle traduit l'aspect non linéaire des dynamiques de réaction des arbres face aux stress, prend en compte les spécificités botaniques de chaque essence, intègre l'observation des rameaux éplicormiques, permet de porter un pronostic à court terme sur l'avenir des arbres, hiérarchise la série d'observations à réaliser sous forme de clés de détermination des types et enfin, privilégie l'analyse qualitative sur l'estimation quantitative des symptômes de dépérissement, ce qui lui permet de fortement atténuer les différences d'appréciation entre notateurs.

La validation méthodologique des outils présentés dans cet article s'appuie sur trois approches. La première, synchronique, consiste à étudier plusieurs dizaines d'individus de tous âges et dans différentes conditions d'environnement afin de pouvoir par comparaison établir les différentes dynamiques de réactions possibles après un stress. La deuxième, rétrospective, s'appuie sur la croissance passée des arbres (étude des cernes par dendrochronologie). La troisième enfin, chronologique, nécessite la mise en place d'un suivi individuel des arbres année après année. Après de

nombreux résultats concluants obtenus avec les deux premières approches (Caraglio et al., 2005 ; Drénou et al., 2011 ; Chaubert et al., 2009), c'est vers la troisième, bien que plus difficile à mettre en œuvre, que nous souhaitons à présent nous investir.

Les forestiers commencent à utiliser les concepts issus de l'architecture végétale. Certes, l'évolution des connaissances n'est jamais rapide et les habitudes évoluent tout aussi lentement. Gageons cependant que les outils présentés ici contribuent à rendre plus objectives les décisions à prendre lorsqu'il s'agit d'intervenir sur les arbres.

Remerciements

Cette étude a bénéficié des financements des projets OPCC (Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique), RMT Aforce (Réseau Mixte Technologique – Adaptation des forêts au changement climatique) et REINFFORCE (RÉseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatiqUE). Nous remercions M. Guérault (INRA-AMAP), F. Pailler (INRA-AMAP) et M. Ramel (INRA-AMAP) pour leur précieuse contribution technique, N. Mariotte (INRA-URFM, Avignon) et H Davi (INRA-URFM, Avignon) pour leur contribution en écologie forestière ainsi que L.M. Nageleisen (DSF, Nancy) et P. Girard (DSF, Inter-région Sud-Est) pour leur contribution sur la santé des forêts. Des observations ont été réalisées dans les forêts du Mont-Ventoux (placettes DRYADE, URFM), de l'Aigoual et du Vercors (placettes du réseau RENECOFOR, ONF).

Références bibliographiques

Barthélémy D., Caraglio Y., 2007. Plant Architecture: A Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny. *Annals of Botany* 99, 375-407.

Barthélémy D., Edelin C., Hallé F., 1989. Architectural concepts for tropical trees. In: L.B. Holm-Nielsen and H. Balslev (Eds.). *Tropical forests: Botanical dynamics, speciation and diversity*, Academic Press, London, pp. 89-100.

Caraglio Y., Drénou C., Nicolini E., 2005. Comment apprécier l'impact d'accidents climatiques sur la croissance des chênes pédonculés ? *Dossier Environnement, GIP-ECOFOR*, 8 p.

Chaubert-Pereira F., Caraglio Y., Lavergne C., Guédon Y., 2009. Identifying ontogenetic, environmental and individual components of forest tree growth. *Annals of Botany* 104, 883-896.

de Reffye P., Dinouard P., Barthélémy D., 1991. Modélisation et simulation de l'architecture de l'Orme du Japon *Zelkova serrata* (Thunb.) Makino (Ulmaceae) : la notion d'axe de référence. In : Edelin, C. (Ed). *Proceedings of L'Arbre. Biologie et Développement*, 2ème Colloque International sur l'Arbre. Montpellier, France, pp. 251-266.

de Reffye P., Blaise F., 1993. Modélisation de l'architecture des arbres : applications forestières et paysagères. *Revue Forestière Française* 45, 128-136.

Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., 2011. Méthode de diagnostic ARCHI : application aux chênes pédonculés dépérissants. *Forêt Entreprise* 200, 4-15.

Drénou C., Giraud F., Gravier H., Sabatier S., Caraglio Y., 2013. Le diagnostic architectural : un outil d'évaluation des sapinières dépérissantes. *Forêt Méditerranéenne* tome XXXIV, 2, 87-98.

Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., 2012. Rôles des gourmands dans la résilience des chênes pédonculés dépérissants. *Forêt Wallonne* 116.

Edelin C., 1977. Images de l'architecture des conifères. Doctorat, UM2, Montpellier, 278 p.

Hallé F., Oldeman R.A.A., 1970. Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Masson et Cie, Paris, 178 p.

Nageleisen L.M., 2012. Guide de notation de l'aspect du houppier des arbres feuillus dans un contexte de dépérissement. Protocole DEPEFEU. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt, DGAL –DSF, 17 p.

Oldeman R.A.A., 1974. L'architecture de la forêt guyanaise, Mémoire ORSTOM n° 73, 204 p.

Pavie A., Bruno E., Dumé G., Drénou C., Lemaire J., Torre F., 2008. Guide des sylvicultures du châtaignier en Castagniccia. CETEF-CRPF de Corse, 130 p.

Annexe 1 : Lexique des termes utilisés

Age d'un méristème : 3 sortes d'âge : âge chronologique d'un méristème se réfère à la période pendant laquelle se met en place une entité botanique ; âge ontogénique est le temps écoulé depuis la germination; âge physiologique se réfère au degré de différenciation des structures qu'il a produit.

Architecture végétale : cette expression désigne la série des caractères structuraux exprimée par une plante au cours de son développement (ontogénie) mais aussi la méthode d'étude de l'organisation spatio-temporelle de la structure végétale.

Cime d'un arbre : sommet du houppier.

Développement monopodial : la croissance d'un axe est assurée de façon indéfinie par le même méristème ou bourgeon apical.

Développement sympodial : la construction d'un axe est assurée par une succession de segments superposés provenant de bourgeons latéraux différents.

Hypotonie : les rameaux avec un grand diamètre sont répartis sur la partie inférieure des branches.

Houppier hors concurrence : Partie supérieure du houppier, « à la lumière », excluant les zones inférieures ou latérales soumises à des phénomènes de concurrence. Situé au-dessus de la ligne joignant les contacts latéraux avec les voisins.

Méristème : zone apicale dans le bourgeon où s'effectue la division cellulaire.

Métarmorphose architecturale : transformation progressive de la structure de l'arbre au cours de sa vie.

Polycyclisme : la pousse annuelle est composée de 2 ou plusieurs unités de croissance.

Pousse annuelle : portion de tige mise en place au cours d'une saison de végétation.

Rameau épïcormique (gourmand, rejet ou suppléant) : rameau se développant à partir d'un bourgeon latéral dormant sur le tronc ou sur des branches maîtresses.

Rameaux immédiats ou à développement immédiat : les rameaux se développent sur la pousse qui est en train de s'allonger et sont généralement localisés au milieu de cette pousse porteuse.

Rameaux différés d'un an ou à développement différé d'un an : les rameaux se développent l'année suivant l'allongement de la pousse porteuse.

Réitération : processus de duplication d'une structure existante qui concerne une partie de l'UA, par exemple les branches (*Réitération partielle*) ou l'ensemble de l'UA (*Réitération totale*) Le complexe réitéré s'établit en même temps que la structure porteuse, (*Réitération immédiate*) » ou avec un délai de plus de 2 ans par rapport à la structure porteuse (*Réitération retardée*).

Unité architecturale (UA) : Chaque espèce végétale possède un nombre fini de catégories d'axes. L'ensemble de ces catégories aux fonctions précises, constituent l'Unité Architecturale de l'espèce.

Unité de croissance : portion de tige mise en place au cours d'une période d'allongement ininterrompue.

Unité minimale : système ramifié réduit ultime.