

# L'architecture des arbres au service des forestiers

par Sylvie Sabatier<sup>1)</sup>, Yves Caraglio<sup>1)</sup> et Christophe Drénou<sup>2)</sup>

1) Unité Mixte de Recherche Cirad-Cnrs-Inra-Ird-Université Montpellier 2 «botAnique et bioinformaTique de l'Architecture des Plantes» (AMAP) TA A51/PS2, Boulevard de la Lironde - 34398 Montpellier cedex 5

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

1) Barthélémy et Caraglio, 2007

2) L'ontogenèse : développement de l'individu, depuis l'œuf fécondé jusqu'à l'état adulte.

*Face à un peuplement dépérissant, le professionnel a besoin d'un outil de diagnostic afin de répondre à plusieurs questions : quels sont les arbres à regarder en priorité et quels critères observer dans un arbre ? Mon arbre est-il sain, stressé, résilient ou en dépérissement irréversible ? A-t-il un avenir à court ou moyen terme ?*

L'organisme végétal est une structure qui se complique au cours du temps depuis la germination jusqu'à sa mort. **L'architecture végétale décrit la dynamique d'édification de la plante entière dans l'espace au cours du temps<sup>1)</sup>. Les forestiers se tournent aujourd'hui vers cette discipline botanique pour diminuer les incertitudes sur le comportement des arbres face au changement climatique.** Comment décrire précisément les arbres (diagnostic), traduire les observations en termes de fonctionnement (physiologie) et anticiper l'avenir (pronostic) ? Pour y parvenir, les auteurs proposent une série de marqueurs architecturaux, des plus simples, destinés aux propriétaires forestiers, aux plus complexes pour les chercheurs et experts.

## **Outil n° 1 : Fiches pédagogiques pour accompagner la réalisation d'un diagnostic ontogénique**

Le diagnostic ontogénique<sup>2)</sup> identifie le **stade de développement d'un arbre**. Le développement est caractérisé par un changement continu du fonctionnement des méristèmes édificateurs (zone apicale de division cellulaire dans le bourgeon) induisant une modification progressive de l'architecture. L'analyse architecturale découpe en étapes ce développement et établit une séquence précise et ordonnée d'événements morphologiques jalonnant la vie de l'arbre. **Chaque essence possède sa propre séquence considérée en architecture comme la référence d'un développement optimal.** Cette approche se distingue de la notion d'« arbre de référence », l'arbre que les forestiers définissent comme être un arbre normal dans les conditions stationnelles, climatiques et sylvicoles d'une localité donnée. **Le concept de « séquence de développement » au contraire, prend en compte la part endogène du développement, indépendante de l'environnement local.**

## **Comment identifier chaque stade de développement ? (figure 1)**

> **Le stade « jeune »**, conforme à l'unité architecturale constituée de branches, de rameaux et ramilles (sapin, douglas, chêne et châtaignier) ou de branches, rameaux, ramilles et rameaux courts (cèdre, pin et hêtre). Le contour du houppier est pyramidal.

> **Le stade « adulte »** exprime un enrichissement de la ramification par la répétition immédiate (fourches successives) des branches, la sexualité et la formation de la couronne. Le contour du houppier est régulier, compact et arrondi en cime.

> **Le stade « mature »** a atteint sa hauteur maximale et montre 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 réduction de la taille des pousses annuelles et de la ramification se traduit par une forme tabulaire au sommet du tronc des conifères et un contour du houppier avec une multitude de petites cimes pour les feuillus.

> **Le stade « sénéscent »** présente des unités de petite taille, une mortalité des axes progressant de la périphérie vers la base de l'arbre (lente dislocation du houppier), une diminution de la production de rameaux épécormiques (rameau issu d'un bourgeon latéral dormant) vigoureux. Chez les conifères, la sexualité mâle tend à devenir prépondérante.

Le diagnostic ontogénique d'un arbre donné est déduit d'une comparaison avec les étapes de la séquence de développement propre à l'espèce, décrites dans des fiches pédagogiques par essence (cèdre, châtaignier, chêne, hêtre, pin d'Alep, pin sylvestre, sapin pectiné).

**Outil n° 2:**  
**Check-lists de marqueurs architecturaux**

Cet outil liste les marqueurs architecturaux utilisables pour décrire un arbre en forêt pour le choix des arbres d'avenir, la sélection génétique, le suivi de peuplements dans le cadre d'observatoires du changement climatique.

Des critères architecturaux simples ont été retenus à chaque échelle d'observation (pousse annuelle, système ramifié, unité architecturale, arbre entier) et à chaque stade de développement. **Une combinaison de critères estime le degré de réactivité d'un arbre aux perturbations de l'environnement.** Cette combinaison varie en fonction des traits architecturaux des espèces :

- > le mode de développement : monopodial (le même méristème assure de manière indéfinie la croissance d'un axe; cèdre, douglas, pins, sapin) ou sympodial (une succession de méristèmes assure la croissance d'un axe; châtaignier, chênes),
- > la rythmicité de croissance annuelle (polycyclisme; pin d'Alep, chênes),
- > la métamorphose architecturale (pins d'Alep et sylvestre, hêtre, châtaignier, chênes),
- > la présence de rameaux épicorniques (chênes, douglas, hêtre, châtaignier) ou de rameaux courts (pins, cèdre),
- > la capacité à émettre des rameaux immédiats (cèdre) et la capacité à dupliquer le tronc (pin sylvestre), qui influent sur la réactivité de l'arbre à une contrainte exogène.

**L'intérêt de la méthode ARCHI selon**

**Yves Lacouture, animateur forestier du CETEF de Nord-Charente**

Sur les chênes, peut-on se servir de la clef ARCHI toute l'année ? Il est plus simple d'utiliser la clef ARCHI lorsque les arbres ne portent pas leurs feuilles. ARCHI s'appuyant sur l'analyse visuelle de la ramification fine et des gourmands situés dans la partie haute des houppiers, l'automne et l'hiver offrent les meilleures conditions d'observation. Dans un peuplement mélangé de chênes pédonculés et de chênes sessiles, ARCHI ne s'utilise pas de la même manière sur les 2 espèces. Il est donc nécessaire de les différencier sans feuillage, ce qui peut se révéler parfois délicat.

**Depuis quand utilisez-vous la méthode ARCHI et quelles ont été les évolutions ?**

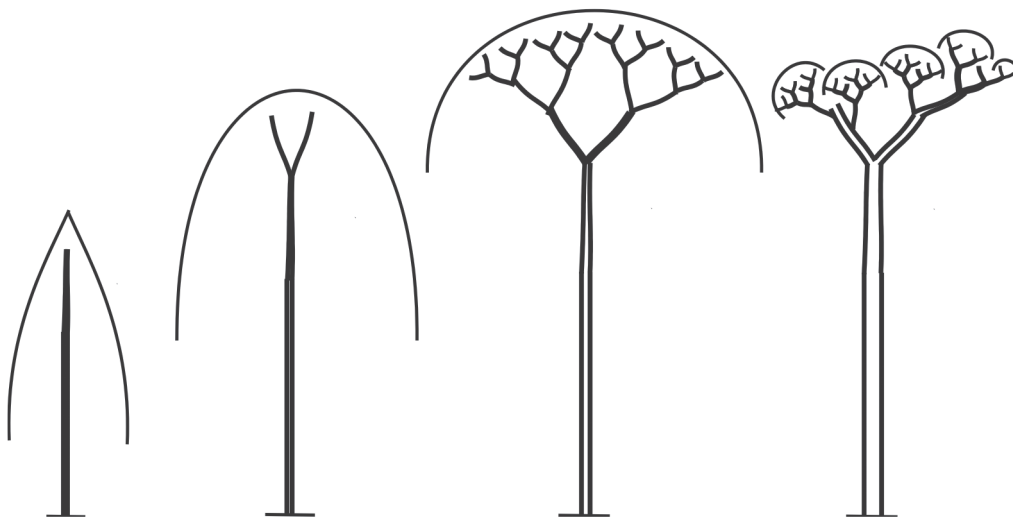
Dès 2010, j'ai pratiqué l'outil ARCHI. D'une clef comprenant au départ 15 types, elle n'en comporte aujourd'hui plus que 6 avec des termes simplifiés à chaque étape. L'objectif était d'aboutir à un outil de terrain utilisable et compréhensible par le plus grand nombre. De ce point de vue, ARCHI est à mon avis une réussite !

**La méthode ARCHI vous aide-t-elle à conseiller les propriétaires forestiers ? Avez-vous un exemple ?**

Elle apporte un élément supplémentaire de diagnostic des peuplements de chêne pédonculé, déterminant dans les conseils que je donne aux propriétaires. Dans la région où je travaille, le chêne pédonculé est très abondant dans les espaces boisés forestiers et bocagers. Les agriculteurs, les propriétaires forestiers et les élus locaux m'interrogent sur le devenir de ces arbres. Au-delà des problèmes sanitaires qui impactent régulièrement ces chênes, je n'avais jusqu'à présent que peu d'éléments pour qualifier leur capacité à réagir à un stress abiotique. J'ai désormais un outil qui me permet d'expliquer pourquoi un arbre « en descente de cime » n'est ni malade, ni mourant, et donc sans raison d'être coupé. Dans la mesure où l'importance paysagère et identitaire du chêne pédonculé dans cette région égale sa fonction productive, cela donne une perspective bien plus rassurante.



**Figure 1 - Les stades de développement pour des essences feuillues : arbre jeune, arbre adulte, arbre mature et arbre sénescant (de gauche à droite).**



Dessin : S. Sabatier

Figure 2 - Marqueurs architecturaux de la réactivité du châtaignier: la structure de la pousse annuelle.

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 l'année suivante.

L'ordre de ces zones est invariable mais le nombre de zones diminue avec la vitalité. À la cime de ce châtaignier mature, 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) sont visibles. Cette différence atteste que l'arbre possède une bonne capacité à réagir aux perturbations.

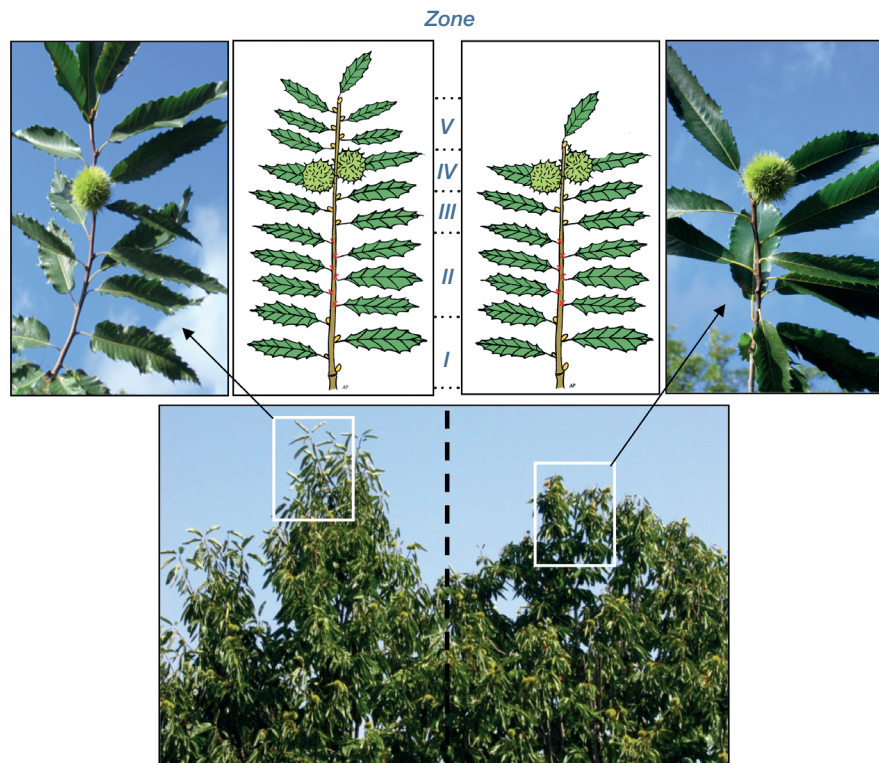


Schéma: A. Pavie. Photos: Ch. Drénou

3) Drénou et al., 2012.

#### Bibliographie

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

Pour chaque critère, des schémas simplifiés associés à des photographies présentent une gamme d'expressions à cocher en fonction de la structure observée (Figures 2 et 3).

#### Outil n° 3: clés de détermination ARCHI

Cet outil sert à pronostiquer l'avenir à court terme des arbres présentant des symptômes de dépérissement.

- Pour chaque essence, une clé de détermination guide l'observateur par un enchaînement de questions simples vers l'un des pronostics suivants:
- **arbre sain**: arbre conforme à son stade de développement,
  - **arbre stressé**: arbre dont l'architecture s'écarte de la norme avec un avenir incertain,
  - **arbre résilient**: arbre montrant un retour à la normale,
  - **arbre en descente de cime**: arbre reconstruisant un houppier sous la cime,
  - **arbre en dépérissement irréversible**: arbre dans une situation de non-retour à la normale.

Les clés intègrent trois séries d'observations: la structure séquentielle (le stade de développement), les symptômes de dégradation

et les processus de restauration. Deux feuillus ayant les mêmes taux de mortalité n'ont pas nécessairement le même devenir selon la nature des rameaux épïcormiques portés. Des rameaux peu vigoureux et sans direction de croissance précise (ou agéotropes), assurent leur propre pérennité, mais ne restaurent pas une architecture normale. Des rameaux épïcormiques verticaux (ou orthotropes), même en petite quantité, entraînent une dynamique

**Les clés ARCHI sont disponibles pour le chêne pédonculé, le chêne sessile, le chêne pubescent, le châtaignier, le douglas et le sapin pectiné.**

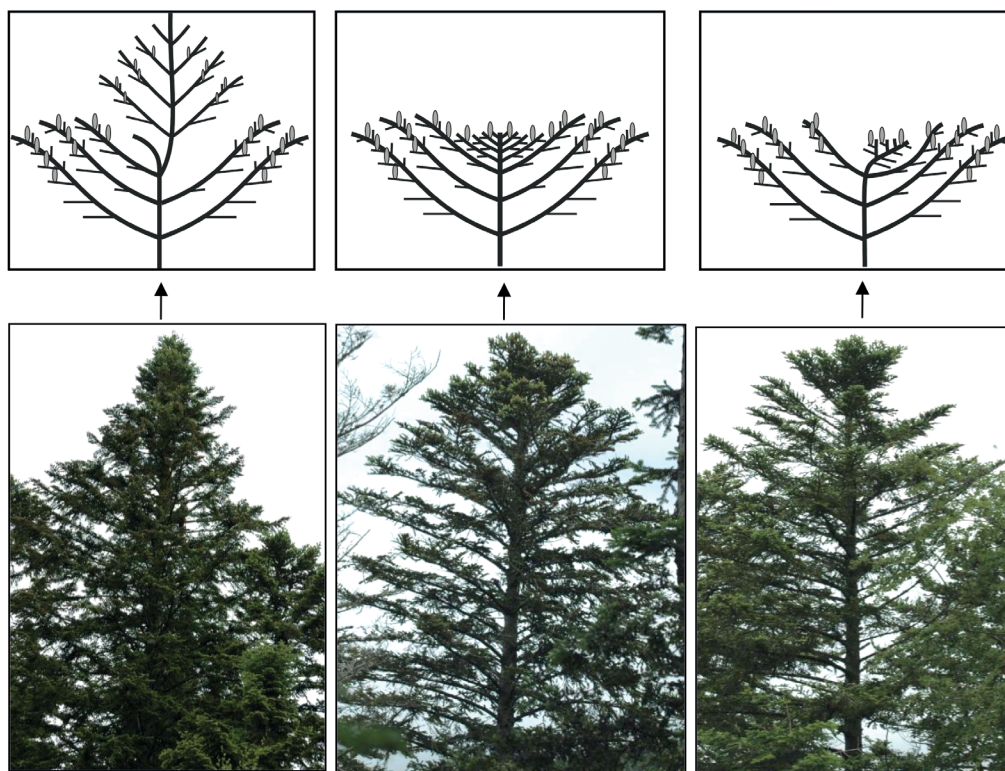
de résilience du houppier<sup>3)</sup>. Chez les résineux aussi, une cime sèche peut être remplacée par un ou plusieurs rameaux orthotropes, et les branches dégarnies sont capables de produire des rameaux épïcormiques horizontaux (ou agéotropes).

#### Outil n° 4: application DIAGARCHI (DIAGNOSTIC ARCHItectural sur support nomade)

L'outil DIAGARCHI, application en cours de conception pour des supports nomades répondra à moyen terme à deux objectifs:

- pédagogique afin de familiariser l'utilisateur aux connaissances morphologiques pré-requises,
- technologique afin d'obtenir automatiquement les résultats des diagnostics.

Figure 3 - Marqueurs architecturaux de la réactivité du sapin pectiné adulte: tassement des étages de branches.



Pour un même stade, la mise en place d'un relai par le redressement d'une branche (arbre de gauche), la persistance d'une croissance réduite (arbre du milieu) ou la transformation du tronc initial en branche (arbre de droite) suite à une réduction prématurée de la croissance annuelle sont observées. La capacité de réaction de l'arbre est décroissante de la gauche vers la droite.

Schémas et photos : S. Sabatier

L'outil fonctionnera sur la base d'une série de requêtes associées à des aides iconographiques en pointant les niveaux d'observation (arbre entier, houppier, tronc) et la nature des observations (mortalité, rameaux épïcormiques). Une mémorisation des questions/réponses pour chaque série de requêtes et l'obtention de scores à l'échelle d'un peuplement seront privilégiées. Le développement de cet outil se fait dans le cadre du projet PI@ntnet ([www.plantnet-project.org](http://www.plantnet-project.org)).

## Conclusion

L'architecture des arbres traduit l'aspect non linéaire des dynamiques de réaction des arbres face aux stress. Elle prend en compte les spécificités de chaque essence et l'observation des rameaux épïcormiques. Son observation donne un pronostic à court terme sur l'avenir des arbres et hiérarchise la série d'observations à réaliser sous forme de clés de détermination des types. Ce type d'analyse, privilégiant une estimation qualitative plutôt que quantitative des symptômes de dépérissement, peut contribuer à atténuer les différences d'appréciation entre notateurs.

La validation scientifique des outils présentés dans cet article s'appuie sur trois méthodes: (1) **synchronique**, consiste à étudier plusieurs dizaines d'individus de tous âges et dans différentes conditions d'environnement afin d'éta-

blir par comparaison les différentes réactions possibles après un stress;

(2) **rétrospective**, lit la croissance passée des arbres;

(3) **chronologique**, nécessite la mise en place d'un suivi individuel des arbres. Après des résultats concluants obtenus avec les deux premières approches<sup>4</sup>, nous souhaitons investir dans la troisième, plus difficile à mettre en œuvre. ■

## Remerciements

Cette étude a bénéficié des financements des projets OPCC (Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique), RMT Aforce – Adaptation des FORêts au Changement climatique) et REINFORCE (Réseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatique). Nous remercions pour leurs contributions: M. Guéroult, F. Pailler, M. Ramel (Inra-AMAP), N. Mariotte, H. Davi (Inra-URFM, Avignon), L.-M. Nageleisen (DSF, Nancy) et P. Girard (DSF, Sud-est). Des observations ont été faites dans les forêts du Mont-Ventoux (URFM), de l'Aigoual et du Vercors (RENECOFOR, ONF).

4) Caraglio *et al.*, 2005, Drénou *et al.*, 2012, Chaubert *et al.*, 2009.

## Bibliographie (suite)

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

■ Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., 2012. *Rôles des gourmands dans la résilience des chênes pédonculés dépérisants*. Forêt Wallonne n°116 – janvier/février 2012.

## Résumé

Quatre outils sont développés pour évaluer la réactivité des arbres face aux perturbations abiotiques: (1) le diagnostic ontogénique identifie le stade de développement de l'arbre; (2) les *check-lists* de marqueurs architecturaux décrivent l'état de l'arbre; (3) les clés de détermination ARCHI pronostiquent l'avenir à court terme des arbres dépérisants et (4) le projet d'application informatique DIAGARCHI facilitera la pratique du diagnostic architectural sur le terrain.

**Mots-clés:** architecture des arbres, analyse rétrospective, diagnostic de l'arbre, dépérissement.