

La méthode Archi appliquée au chêne-liège

par Christophe DRÉNOU, Renaud PIAZZETTA,
Benoît LECOMTE et Bruno MARITON

***La méthode Archi est un outil
de diagnostic visuel
du dépérissement et des capacités
de résilience des arbres basée
sur une lecture de l'architecture
des houppiers. Appliquée
au chêne-liège, elle permet
à la fois de reconnaître le stade
de développement d'un arbre
et d'identifier son état
physiologique global.***

Introduction

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) est une essence forestière naturellement présente dans les pays du pourtour du Bassin méditerranéen occidental et de son prolongement sur la façade atlantique, à savoir l'Algérie, l'Espagne, la France, l'Italie, le Maroc, le Portugal et la Tunisie. En France, selon les données de l'Institut national de l'information géographique et forestière¹, il occupe une superficie de 89 000 (± 20 000) ha. De par ses exigences écologiques — et notamment son caractère calcifuge — il ne constitue des peuplements d'importance significative qu'en Corse, en Provence cristalline (massifs des Maures et de l'Esterel), dans les Pyrénées-Orientales (massifs des Albères, des Aspres et du Vallespir) ainsi que dans quelques stations favorables du massif des Landes de Gascogne, qui constituent la limite nord de son aire de répartition (Marensin dans les Landes, Néracais dans le Lot-et-Garonne).

L'exploitation du liège revêt une importance économique de premier ordre dans le sud-ouest de la péninsule Ibérique, où le chêne-liège y est généralement cultivé selon le système agro-sylvo-pastoral du montado (Portugal) et de la dehesa (Espagne). En France, où l'industrie du liège et la subériculture qui lui était associée ont connu un déclin à partir des années 1950, la filière connaît un renouveau qui se traduit par la remise en production des suberaies (forêts de chênes-lièges), fréquemment associée aux politiques de défense des forêts contre l'incendie, s'appuyant sur des structures de regroupement de propriétaires de type ASLGF² (dans les Pyrénées-Orientales et dans le Var) ou coopérative (en Corse).

1 - Source : site internet de l'inventaire forestier
<https://inventaire-forestier.ign.fr/>

2 - ASLGF : Association syndicale libre
de gestion forestière.

3 - Programme Interreg V-A Espagne-France-Andorre.

4 - Adaptation de l'espace catalan transfrontalier aux effets attendus du changement climatique ; projet cofinancé par le Fonds européen de développement régional (FEDER).

5 - *Consell d'iniciatives locals per al medi ambient de les comarques de Girona.*

6 - La clé de détermination et le guide d'utilisation de la méthode Archi appliquée au chêne-liège sont disponibles dans les deux langues : Français et Catalan.

Photos 1 et 2 :

Après une matinée en salle de présentation des concepts (ci-contre), la formation à la méthode Archi se déroule sur le terrain (1,5 jour) et consiste à analyser l'architecture des houppiers aux jumelles, à schématiser les arbres et à utiliser les clés de détermination des différents types Archi (ci-dessous).

Photos S. Peyre (CD 66)

Occupant les stations chaudes et sèches du sud de la France, le chêne-liège est exposé aux effets du changement climatique. Depuis 2013, cette essence bénéficie d'un réseau de suivi phytosanitaire piloté par le Département de la santé des forêts (DSF). A ce titre, 40 placettes de 20 arbres, réparties dans les principaux massifs de production, sont notées tous les ans à la même période selon le protocole d'observation du DSF (estimation du déficit foliaire de chaque arbre).

Pour compléter ces observations, dans le cadre d'un projet de coopération européen transfrontalier Interreg POCTEFA³ intitulé ECTAdapt⁴ (conduit par le département des Pyrénées-Orientales, la Diputació de Girona et le CILMA⁵), l'Institut pour le développement forestier, le Centre national de la propriété forestière et l'Institut méditerranéen du liège ont été mandatés par le département des Pyrénées-Orientales pour construire et élaborer un outil de diagnostic de l'état physiologique du chêne-liège. En effet, l'exploitation cyclique de l'écorce du chêne-liège — tous les 10 à 15 ans selon les

régions — requiert d'une part des arbres en bon état phytosanitaire, et constitue d'autre part une source potentielle de stress, surtout si l'écorçage est mal effectué (blessures, attaques de pathogènes...). D'où l'intérêt de disposer d'un outil permettant d'évaluer l'état phytosanitaire des arbres, pouvant servir d'aide à la décision au moment d'effectuer des opérations sylvicoles visant à conserver ou non un individu présentant des signes extérieurs de dépérissement.

Cet outil s'appuie sur une méthode de diagnostic visuel intitulée Archi, développée par le CNPF depuis 2010 sur différentes essences forestières, qui se base sur la lecture de l'architecture des houppiers grâce à l'utilisation d'une clé de détermination spécifique renvoyant à différents types Archi, chaque type étant associé à des capacités de résilience qui lui sont propres.

L'utilisation correcte de la clé de détermination des types Archi pour le chêne-liège requiert la participation à une formation, mêlant aspects théoriques et exercices pratiques, dont deux sessions ont été organisées par l'Institut pour le développement forestier, le Centre national de la propriété forestière et l'Institut méditerranéen du liège dans le cadre du projet ECTAdapt, en février 2019 à Vivès en France pour le public francophone, et en mars 2019 à Agullana en Espagne à destination des partenaires catalans⁶.

La méthode d'analyse architecturale

L'étude de l'architecture des plantes a commencé dans les années 1970 (HALLÉ et OLDEMAN, 1970) et a récemment fait l'objet d'une synthèse (DE REFFYE *et al.*, 2018). L'architecture d'une plante repose sur la nature et l'agencement relatif de chacune de ses parties. Elle est l'expression d'un équilibre entre les processus endogènes de croissance et les contraintes exogènes exercées par l'environnement (BARTHÉLÉMY et CARAGLIO 2007). L'objectif principal d'une analyse architecturale est de reconstituer la dynamique de développement d'une plante depuis la germination jusqu'à la sénescence (ontogénèse). Après une description de l'ensemble des formes que l'on peut observer à un moment donné chez une espèce, la reconstitution dynamique du développement se fait généralement par comparaison d'indi-



vidus à des stades de développement différents (méthode synchronique). Pour complément et validation, chaque individu peut faire l'objet d'une analyse rétrospective sur la base de différents marqueurs de croissance (largeur des cernes, longueurs des pousses annuelles, apparition de gourmands...) (méthode diachronique historique).

L'architecture, en nous renseignant sur les séquences de développement propres à chaque espèce ainsi que sur les écarts à la normale provoqués par des stress, revêt une valeur diagnostique (NICOLINI *et al.*, 2003). En 2010, un outil simplifié s'appuyant sur des clés de détermination voit le jour. Chaque clé reprend l'ensemble des observations nécessaires sous forme de questions à réponse binaire oui/non, et conduit l'utilisateur vers différents états de vitalité des arbres. C'est la méthode Archi (DRÉNOU *et al.*, 2011 ; DRÉNOU et CARAGLIO, 2019). Cette méthode se décline essence par essence et est aujourd'hui disponible pour 10 espèces : le chêne pédonculé, le chêne sessile, le chêne pubescent, le châtaignier, le hêtre, le Douglas, le sapin pectiné, le pin à crochets, le pin sylvestre et le pin noir de Salzmann. La méthode a scientifiquement été validée par dendrochronologie pour le chêne pédonculé (LEBOURGEOIS *et al.*, 2015).

Le développement de la méthode Archi pour le chêne-liège s'est fait en plusieurs étapes. Pour commencer, une étude de l'ontogénèse de *Quercus suber*, c'est-à-dire des différents stades du développement depuis la germination jusqu'à la sénescence, a été initiée. Puis nous nous sommes intéressés aux variations quantitatives des morphotypes selon les milieux (forêt, hors forêt, altitude, etc.). Nous avons ainsi pu dégager la séquence de développement de référence pour le chêne-liège. Celle-ci nous a permis par la suite de décrire les écarts à la normale (nature, amplitude, caractère compartimenté ou diffus, etc.) et les mécanismes de retour à la normale. Une typologie des types Archi en fonction de l'équilibre dégradation/restauration a été proposée, puis une clé de détermination. Cette dernière enfin a fait l'objet de tests et d'ajustements. La quatrième version a été validée par un comité de pilotage composé des différents partenaires du projet Ectadapt. L'ensemble de l'étude s'est déroulée en 2018 dans les Pyrénées-Orientales, sur 15 sites de part et d'autre de la frontière espagnole. Plus d'une centaine d'arbres ont été analysés et photographiés.

Organisation architecturale du chêne-liège

L'unité de croissance, premier niveau d'organisation

La croissance du chêne-liège est rythmique tant au niveau de l'allongement des axes qu'au niveau de leur grossissement. Cela se traduit par la production d'unités de croissance (aussi appelées « pousses »), portions d'axes mises en place au cours de chaque période d'élongation, et de cernes, couches de bois enveloppant les cernes des années précédentes. Les unités de croissance sont séparées par des entre-nœuds (portions d'axe comprises entre deux bourgeons consécutifs) courts situés de part et d'autre d'un anneau de fines rides serrées. Chaque anneau marque la position des bourgeons terminaux formés au cours des hivers successifs, les rides étant les cicatrices des écailles tombées. Les unités de croissance portent des feuilles alternes à l'aisselle desquelles se trouve un bourgeon unique. Le chêne-liège est monoïque, fleurs mâles et fleurs femelles sont en effet séparées, mais un même sujet porte les deux. Les mâles se présentent sous forme de chatons jaunes visibles au débourrement des bourgeons au printemps. Elles proviennent de l'aisselle des feuilles réduites situées à la base des jeunes unités de croissance. Les femelles, destinées à devenir des glands, apparaissent en position subterminale (en-dessous des cinq ou six bourgeons terminaux) sur les unités de croissance du printemps. Les axes les plus vigoureux ont la capacité de produire plusieurs unités de croissance, rarement plus de deux, au cours d'une même saison de végétation. La première apparaît au printemps, la suivante en automne (voire en cours d'été à la faveur d'épisodes pluvieux). Ce polycyclisme est peu persistant chez le chêne-liège. Il ne concerne que les arbres jeunes et les rejets de souches de sujets adultes.

Le module, deuxième niveau d'organisation

Pour la majorité des essences de climat tempéré, la ramification est différée dans le sens où une unité de croissance ne se ramifie qu'au moment de la mise en place de l'unité de croissance suivante. Quand la ramification a lieu aussitôt, c'est-à-dire sur une jeune unité de croissance en cours d'élongation,

elle est qualifiée de ramification immédiate. Les rameaux produits sont alors nommés des anticipés. La ramification immédiate du chêne-liège se manifeste sur une longue période de la vie des arbres, depuis les phases de jeunesse jusqu'aux stades avancés de l'âge adulte. Elle concerne les unités de croissance mises en place au printemps. Alors que la ramification différée est acrotonne, c'est-à-dire localisée au sommet des unités de croissance, la ramification immédiate s'exprime au niveau de la partie médiane des unités de croissance. On dit qu'elle est mésotone. Elle produit des rameaux anticipés reconnaissables à leur première unité de croissance particulièrement longue comprenant un premier entre-nœud lui-même très allongé. Enfin, elle s'exprime sans mobiliser les bourgeons axillaires car c'est par dédifférenciation de cellules situées au-dessus des bourgeons que les anticipés se forment. Cette dernière caractéristique, tout à fait remarquable, peut ainsi conduire à la formation de deux rameaux à l'aisselle d'une même feuille (insertion d'un rameau anticipé au-dessus d'un rameau différé). Du fait de leur apparition précoce, les rameaux anticipés ont un temps d'avance sur les rameaux différés. Ainsi, quand ces derniers mettent en place leur première unité de croissance, les anticipés sous-jacents s'allongent pour la deuxième fois. Sur les arbres jeunes, ce décalage est tellement marqué que la croissance des rameaux anticipés, non seulement dépasse celle des rameaux différés, mais concurrence le tronc lui-même. Régulièrement, à un rythme annuel sur le tronc des jeunes chênes-lièges, les rameaux anticipés prennent la dominance sur la partie de tiges située au-dessus de leur insertion et forment une fourche. Celle-ci se résorbe les deux ou trois années suivantes, temps nécessaire pour qu'un rameau anticipé prenne le dessus sur les autres et remplace l'extrémité dominée de la tige principale. Le tronc d'un jeune chêne-liège est donc constitué de modules. Chaque module se compose, à sa base, d'un rameau anticipé issu du module précédent, et se prolonge par l'unité de croissance (ou les unités de croissance en cas de polycyclisme) mise en place l'année suivante. Ce type de développement est qualifié de sympodial. Il s'oppose au développement monopodial au cours duquel le tronc est édifié par un bourgeon terminal unique (cas des peupliers, frênes et merisiers). Les conséquences pour le chêne-liège sont doubles. Le développement sympodial lui procure une meilleure plasticité

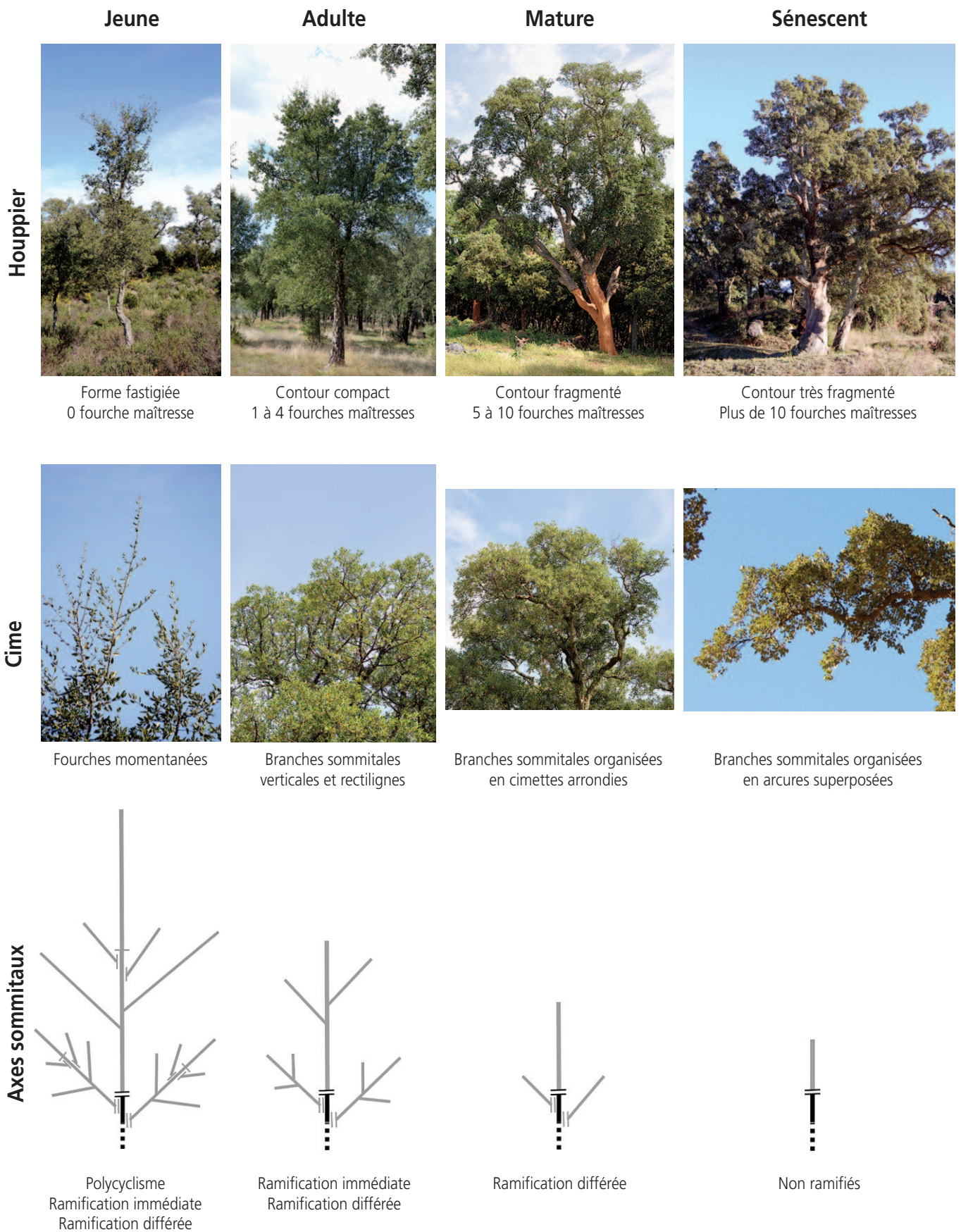
architecturale et donc une plus grande adaptabilité face aux aléas extérieurs (dégâts par le gibier, bris causés par la neige, manque de lumière). En revanche, il est illusoire d'espérer une parfaite rectitude chez les jeunes sujets. La récurrence annuelle des fourches est la règle et il ne faut donc pas se précipiter pour intervenir en taille de formation.

L'unité architecturale, troisième niveau d'organisation

Les unités de croissance s'organisent en modules, les modules en axes, les axes en unité architecturale. L'unité architecturale est l'architecture élémentaire caractérisant la phase de jeunesse d'un arbre (EDELIN, 1977). Chez le chêne-liège, elle est constituée de quatre catégories d'axe. L'A1 est le tronc, il porte des étages d'A2 qui se ramifient en A3, et ainsi de suite. Outre leur position spatiale, ils se distinguent par leur mode de croissance et de ramification. Polycyclisme, ramification immédiate, ramification différée et développement sympodial s'observent sur l'A1. A partir des A2, le polycyclisme disparaît et le développement devient monopodial. Les A3 ne font pas de ramification immédiate. Les A4 enfin, ne se ramifient pas. La hauteur d'une unité architecturale dépend de l'environnement lumineux. En milieu ouvert, l'axe A1 grandit peu mais en contexte forestier, la concurrence pour la lumière oblige les jeunes arbres à accroître leur unité architecturale pour atteindre la canopée. A l'ombre, un axe A2 grossit peu, à une durée de vie limitée et s'élague naturellement. En revanche, à la lumière, certains A2 peuvent accroître leur espérance de vie en réitérant leur propre architecture. Ce phénomène de réitération partielle conduit à la formation de fourches aux extrémités des branches de l'unité architecturale. On passe alors progressivement au niveau d'organisation ultime.

L'arbre, quatrième niveau d'organisation

C'est par duplication de l'unité architecturale dans sa totalité, processus nommé réitération totale (OLDEMAN, 1974), que la partie aérienne d'un chêne-liège poursuit son développement (Cf. Fig. 1). Le tronc correspond à l'axe A1 de l'unité architecturale initiale. Ses axes A2 se sont élagués naturellement (en

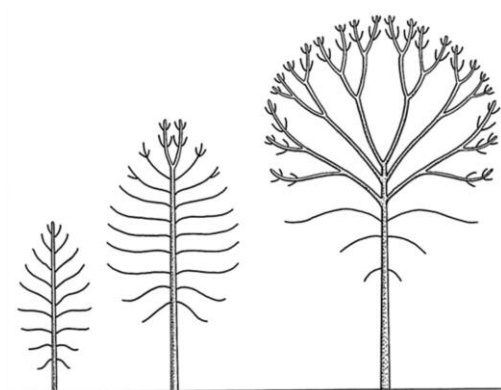


Les quatre stades du développement du chêne-liège.

Conventions de schématisation pour les axes sommitaux : noir = année (n-1) ; gris = année (n) ; rameau inséré sur un double tiret = apparition différée d'1 an ; rameau inséré sur un simple tiret = apparition différée de quelques mois ; rameau sans tiret à la base = apparition immédiate.

Auteurs des photos : S. Peyre (CD 66) et C. Drénou (IDF). Auteur des schémas : C. Drénou (IDF)

Fig. 1 :
Développement d'un arbre par réitération totale. À gauche, l'unité architecturale ; à droite, un arbre adulte dont le houppier, en cours d'édification, présente trois fois le phénomène de réitération totale, ce qui se traduit par trois niveaux de fourches maîtresses.
Auteur des dessins :
C. Drénou (IDF).



milieu forestier), ont été coupés (milieu ouvert) ou se sont redressés à la lumière en acquérant progressivement l'architecture de l'A1 porteur, c'est-à-dire en devenant des branches maîtresses par réitération totale. Ces branches maîtresses, aussi nommées « charpentières » ou « réitérations », sont disposées latéralement le long du tronc et/ou à son extrémité. Dans ce dernier cas, elles forment une fourche dite « fourche maîtresse ». L'ensemble des branches maîtresses forme le houppier de l'arbre. La cime sert à désigner la partie supérieure du houppier. Quand elle morcelée en entités distinctes, chacune est une cimette. Les branches maîtresses suivent la même évolution que celle du tronc et réitèrent à leur tour plusieurs fois de suite. Elles forment des fourches maîtresses, chacune correspondant au passage d'une réitération à la suivante. Le nombre de fourches maîtresses est un bon marqueur du développement. Pas de réitération, le houppier n'est pas encore constitué, l'arbre est jeune. De 1 à 4 séries de réitérations, les branches maîtresses explorent l'espace, l'arbre est adulte. De 5 à 10 réitérations successives, le houppier a atteint son volume maximal, l'arbre est mature. Au-delà de 10, l'arbre entre en phase de sénescence. Le contour du houppier aide aussi à la reconnaissance des stades de développement. Il est régulier et compact avec des branches sommitales verticales et rectilignes quand l'arbre est adulte, morcelé en cimettes arrondies à l'image d'une vaste inflorescence de chou-fleur chez les chênes-lièges matures, disloqué enfin et composé d'axes affaiblis en structures arquées en phase de sénescence. Une analyse plus fine montre que les caractères morphologiques différenciant les quatre catégories d'axes de l'unité architecturale, servent aussi à suivre le vieillissement de l'axe A1 au cours du développement. Sur le jeune chêne-liège, l'A1 est polycyclique, sympodial et possède une

double ramification (immédiate et différée). Sur l'adulte il est monopodial, sans polycyclisme et conserve une double ramification. Sur l'arbre mature, la ramification immédiate disparaît. Enfin, sur le sujet sénescant, les A1, monocycliques, monopodiaux et non ramifiés, ne font que réitérer leur propre structure.

Ecarts et retours à la normale chez le chêne-liège

Les symptômes de dégradation

La mortalité d'un axe est avérée lorsque le feuillage est absent et les bourgeons manquent, l'écorce étant plus ou moins nécrosée. Cependant, cette mortalité n'est anormale que lorsque sa cause n'est ni la concurrence pour la lumière, ni le vieillissement naturel. La mortalité ne devient donc un symptôme de dégradation qu'à partir du moment où elle observée dans le houppier hors concurrence, c'est-à-dire en dehors des zones inférieures ou latérales soumises à la compétition des arbres voisins, et sur des sujets n'ayant pas atteint la sénescence. Une mortalité anormale est très souvent précédée d'un appauvrissement de la ramification dû, non pas à une chute ponctuelle et passagère de rameaux, mais à une modification physiologique profonde touchant le fonctionnement des bourgeons. Comment identifier une ramification appauvrie ? La zone ramifiée d'un chêne-liège, c'est-à-dire celle où peuvent s'observer toutes les catégories d'axes depuis l'A1 jusqu'aux A4, se situe à la périphérie du houppier et en pleine lumière, l'optimum étant la cime. En-dessous en effet, les A2 s'élaguent naturellement et il ne reste que les réitérations du tronc A1. Apprécier la ramification des branches sommitales, même avec des jumelles, n'est pas aisé, surtout avec la persistance du feuillage, d'autant plus que les risques de confusion entre des axes ramifiés et des axes réitérés est grand. Le moyen le plus pratique est de s'intéresser au contour des dernières unités architecturales formées. Quand il est quasi-pyramidal, on peut considérer que le gradient de ramification entre les A1 et les rameaux courts ultimes est respecté, la ramification est normale. La ramification est en revanche appauvrie quand les axes principaux (A1) portent directement des rameaux courts

sans produire de rameaux intermédiaires, les unités sommitales ayant alors une forme colonnaire. Soulignons que la ramification appauvrie est un symptôme de dégradation chez les sujets adultes et matures, mais est normale pour les chênes-lièges sénescents.

Les processus de restauration

Le développement normal du chêne-liège fait intervenir deux principaux processus : la ramification et la réitération. Un troisième entre en jeu à chaque fois que l'arbre, après un écart à la normale d'origine variée (changement d'environnement lumineux, courbure du tronc, casse ou taille de branches, dépérissement), tente de rétablir son architecture. Sur des parties déjà anciennes, branches maîtresses et tronc, à partir de nouveaux méristèmes et/ou de bourgeons non mobilisés antérieurement, de nouvelles structures apparaissent. Celles-ci réitèrent partiellement ou totalement l'unité architecturale afin de remplacer, modifier ou renforcer les parties dégradées. Dénommées « réitérations retardées » ou « rameaux épïcormiques » par les scientifiques, « gourmands » ou « rejets » par les professionnels, elles ont récemment été rebaptisées « suppléants » afin de mettre en exergue leur rôle dans la résilience architecturale (DRÉNOU, 2014 ; DRÉNOU et CARAGLIO, 2019). Attention cependant, les suppléants ne sont pas tous identiques. Les suppléants orthotropes (du grec « orthos » : droit et de « tropos » : direction) ont une direction de croissance verticale, une symétrie radiale et reproduisent l'architecture de jeunes arbres par réitération totale. Les suppléants plagiotropes (du grec « plagios » : oblique) ont une direction de croissance horizontale à oblique, une symétrie plane et reproduisent l'architecture de jeunes branches par réitération partielle. Les suppléants agéotropes enfin (du grec « a » : sans, « géo » : terre et « tropos » : direction) n'ont pas de direction de croissance privilégiée et peuvent même pousser « la tête en bas ». Ils présentent des caractères morphologiques de vieillesse (axes grêles, faible croissance en longueur, floraison précoce, ramification appauvrie et durée de vie limitée). Leur fonction est de faire survivre la branche qui les porte. Cette terminologie apporte les outils nécessaires à l'analyse visuelle demandée par la méthode Archi et conduit à se prononcer sur l'avenir des arbres, en particulier sur le caractère réversible ou irréversible d'un dépérissement.

La méthode Archi appliquée au chêne-liège

Les conditions d'observation

La notation architecturale du chêne-liège peut se faire en toute saison, sauf au printemps, période au cours de laquelle le chêne-liège renouvelle partiellement son feuillage, ce qui donne au houppier des teintes cuivrées inhabituelles. Dans le cas d'une répétition de la notation sur des arbres définis, il est important de réaliser les observations sur des périodes identiques en prévoyant un rythme du suivi de 3 à 5 ans. Après une éclaircie, il est conseillé d'attendre 2 à 3 ans avant les premières notations Archi afin de laisser les arbres s'adapter à leur nouvel environnement. Avant chaque notation Archi, il est indispensable de tourner autour de l'arbre afin de choisir le meilleur angle de vue et la meilleure distance d'observation (trop près : vision « pessimiste » ; trop loin : vision « optimiste » ; idéalement : Distance = Hauteur de l'arbre). En peuplement dense et haut, il est parfois nécessaire de cumuler les observations partielles réalisées depuis des emplacements différents. En montagne, il est préférable de choisir la position amont. Les jumelles sont obligatoires (12 x 50). L'utilisation d'un appareil photographique pour prendre en photos certains sujets est utile. Si possible, il est conseillé de travailler en binôme. La méthode Archi requiert d'analyser les arbres dans leur totalité : cime et cimettes, unités architecturales sommitales, houppier hors concurrence, houppier entier, branches basses, tronc. L'observateur doit porter son attention sur la mortalité anormale, les chicots (branches cassées de diamètre supérieur à 3 cm), le contour du houppier, les fourches maîtresses, la ramification (normale ou appauvrie) et les suppléants (orthotropes, plagiotropes ou/et agéotropes).

Les types Archi

La méthode Archi appliquée au chêne-liège propose de réaliser un double diagnostic comprenant la reconnaissance du stade de développement (possible quand la cime d'origine n'est pas trop dégradée) et l'identification de l'état physiologique. Le type Archi MS, par exemple, correspond aux sujets matures et stressés, les types AR1 et AR2 désignent les deux formes de résilience chez les adultes, etc. Six états physiologiques sont définis.

L'arbre sain : arbre ne présentant aucun symptôme significatif de dégradation du houppier et dont l'architecture est conforme à son stade de développement. L'arbre sain peut ne pas être « parfait ». Il présente parfois un contour du houppier irrégulier (surtout si le sujet est mature), voire 1 à 2 branches isolées mortes ou cassées.



Sain



Stressé



Résilient



Descente de cime



Repli



Dépérissement irréversible

Les six états physiologiques selon la méthode Archi

Les suppléants sont représentés en rouge : ils sont absents sur l'arbre sain, diffus sur le sujet stressé, orthotropes et positionnés en cime sur le résilient, insérés sous le houppier d'origine quand il y a descente de cime, absents sur le type Repli et très réduits (ou agéotropes) en situation de dépérissement irréversible.

Auteur des dessins : C. Drénou (IDF).

L'arbre stressé : arbre contraint de modifier son architecture (appauvrissement de la ramification, mortalité, éventuellement apparition de suppléants vigoureux) à la suite d'un stress intense, d'un stress durable ou d'un stress répété. L'arbre stressé est dans une phase de réaction. Son avenir (restauration ou dégradation) est inconnu. Il convient donc d'attendre quelques années afin de laisser le temps à l'arbre de s'exprimer.

L'arbre résilient : arbre dont le développement du houppier, après un écart à la normale, retrouve une dynamique architecturale normale (grâce notamment aux suppléants orthotropes). Un arbre résilient peut encore présenter des mortalités notables. À ne pas confondre avec résistance (capacité d'un organisme à se maintenir en état). Ainsi, le chêne-liège supporte bien les sécheresses, mais sa capacité à produire des suppléants orthotropes après une désorganisation architecturale est limitée, surtout pour les sujets matures. Sa résistance est donc forte, mais sa résilience est faible. Attention, la production de suppléants orthotropes aériens par un chêne-liège incendié peut donner une fausse impression de résilience. En effet, quand la couche de liège au niveau du tronc exploité est trop mince pour protéger efficacement le phloème, la circulation descendante de la sève élaborée est interrompue. Dans ces conditions, les suppléants, ayant bénéficié de la sève brute circulant dans le xylème situé plus à l'intérieur de l'arbre, et donc davantage protégé, ne peuvent restituer leurs sucres aux racines, l'arbre épuise ses réserves et finit par mourir. Ce phénomène de mortalité différée survient souvent 2 ans après le passage du feu, mais parfois jusqu'à 5 ans après (PIAZZETTA, 2016).

L'arbre en descente de cime : dynamique de construction d'un nouveau houppier sous la cime d'origine, laquelle finit par mourir. Le terme de « descente de cime » est préférable à celui de « descente de houppier », car quand les branches sommitales constituant la cime dépérissent ou meurent et que l'arbre réagit en dessous en formant un nouveau houppier, celui-ci n'est pas nécessairement inséré sous le houppier d'origine. En revanche, la nouvelle cime, toujours plus basse que la cime initiale, donne l'impression de « descendre ».

L'arbre en repli : un arbre en repli n'a plus de cime vivante, mais continue à fonctionner avec les branches non altérées de son

architecture initiale. Il ne met pas en place un deuxième houppier et n'exprime donc pas de descente de cime.

Arbre en situation de dépérissement irréversible : arbre au houppier dégradé (ramification appauvrie, mortalité anormale) sans aucun processus de restauration viable (suppléants soit quasi absents, soit nombreux, mais tous, ou presque tous, du type agéotrope). La mortalité de l'arbre n'est pas forcément immédiate, selon l'évolution des conditions environnementales (biotiques et abiotiques).

Intérêt de la méthode Archi

Intérêts pour l'étude de la vulnérabilité des suberaies au changement climatique

La méthode Archi donne les moyens de ne pas confondre vieillissement et dépérissement. Le premier, inéluctable et naturel, conduit les arbres vers la sénescence et une mort endogène. Le deuxième, provoqué par des facteurs externes, biotiques ou/et abiotiques, reflète une détérioration anormale de la santé du végétal.

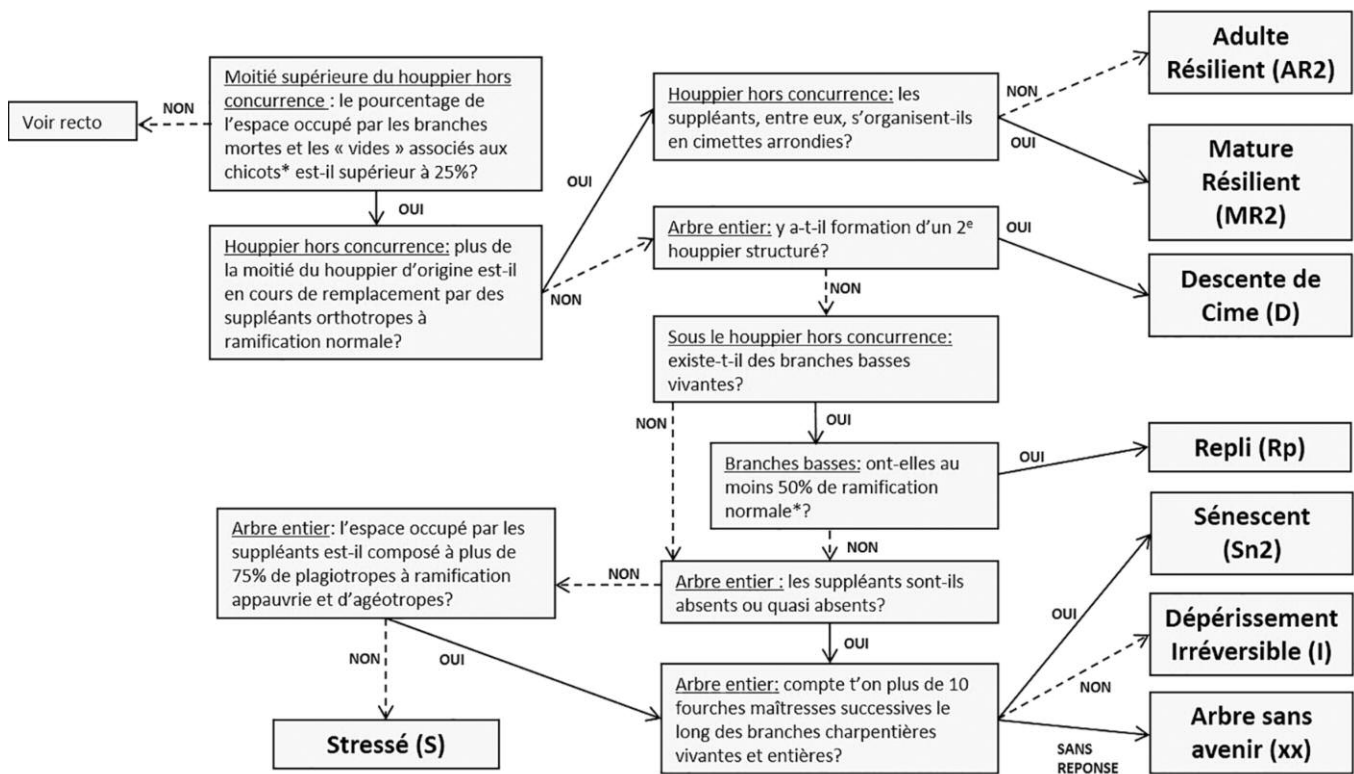
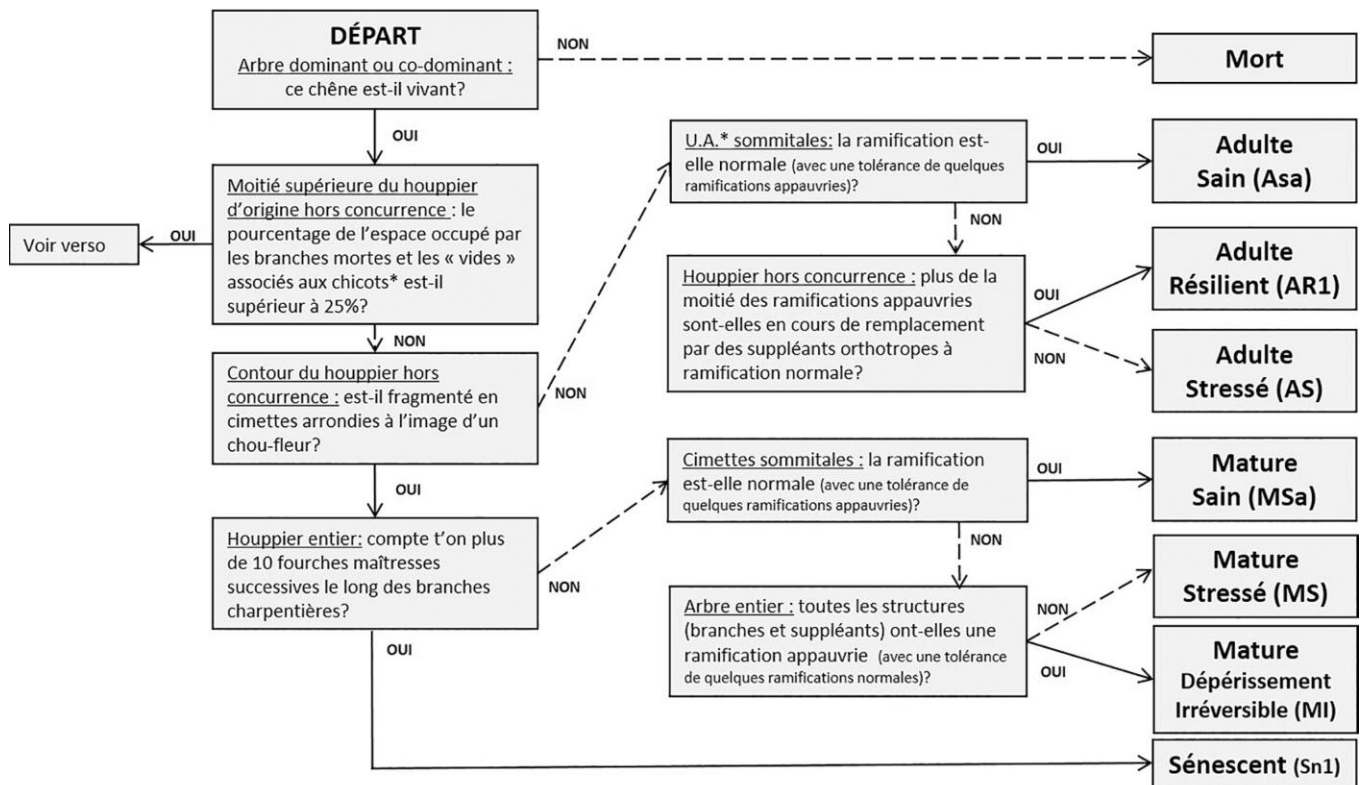
En forêt gérée classiquement pour le bois, la sénescence est rare car les individus sont exploités bien avant d'atteindre cet ultime stade du développement. Hors forêt également, les diverses agressions (élagage sévère, tassement des sols, maladies, etc.) empêchent les végétaux ligneux de vieillir. Les arbres d'ornement de nos villes par exemple, ont en moyenne une espérance de vie qui ne dépasse pas 60 ans ! Le contexte des suberaies est différent. L'objectif n'est pas d'exploiter les arbres mais de récolter le liège, c'est-à-dire de les conserver en bonne santé le plus longtemps possible. Un gestionnaire de chênes-lièges est par conséquent inévitablement confronté à leur vieillissement. Il est donc important de savoir le reconnaître et de ne pas l'attribuer aux conséquences du changement climatique. Avec la méthode Archi, les caractères de sénescence retenus pour le chêne-liège sont le nombre de fourches maîtresses (supérieur à 10), le contour du houppier fragmenté en cimettes et la présence d'axes organisés en arcures affaissées en cime. Il peut paraître étonnant que la mortalité ne soit pas le critère n°1. En réalité, la mortalité, prise isolément, n'est pas fiable. Un sujet présentant

une dynamique de descente de cime par exemple n'est pas sénéscent ! Son houppier d'origine, même entièrement mort, est en cours de relai par un deuxième houppier inséré plus bas, mécanisme de survie qu'un arbre sénéscent n'est plus capable d'exprimer. Cela ne veut pas dire que le type archi « Descente de cime » ne sera pas un jour sénéscent, mais il devra d'abord passer par les stades de développement antérieurs (adulte, mature). Le principe est identique pour le type Archi « Résilient », d'autant plus que les écarts suivis de retours à la normale ne sont pas rares au cours de la vie des arbres. C'est une des raisons pour laquelle ils vivent si longtemps. En termes de sénescence, le diamètre du tronc et la hauteur totale sont également des critères trompeurs. Un chêne-liège en bonne station peut mesurer 20 mètres de hauteur et n'être qu'au stade adulte, tandis qu'un autre poussant sur des coteaux arides sera sénéscent à 10 mètres !

Les considérations précédentes sont à prendre en compte dans le suivi de l'impact du changement climatique sur les suberaies. Les sujets sains, les situations de sénescence, ainsi que les types Archi « Descente de cime » et « Résilient » qui sont des cas de dépérissements surmontés, ne doivent pas être comptabilisés. Les types « Stressé », en phase de réaction, sont à suivre pour connaître leur évolution, amélioration ou dégradation. Les types « Repli », continuant leur développement amputé de la cime mais sans produire de suppléant, nécessitent une surveillance. En définitive, c'est l'augmentation généralisée de la proportion du type « Dépérissement irréversible », en dehors de toute maladie épidémique, qui révélera les effets négatifs du changement climatique.

Intérêts pour la sylviculture des suberaies

L'obtention d'un tronc, grand et droit de préférence, est un objectif partagé par les subériculteurs et les gestionnaires d'espaces verts. Il justifie l'exécution de tailles de formation, en particulier la suppression des fourches (PIAZZETTA, 2016). Jeune, le tronc, en raison de sa croissance sympodiale, se termine chaque année par un bouquet d'axes en concurrence. Ces fourches récurrentes sont normales et momentanées. Inutile de se précipiter pour intervenir, une dominance apicale s'installe généralement au bout de 2 à 3 années. C'est seulement passé ce délai qu'il



La clé Archi pour le chêne-liège.

La clé se présente en deux parties (recto en haut, verso en bas).

U.A. = Unité Architecturale ; « chicot » = branche cassée de diamètre supérieur à 3 cm.

faut éventuellement tailler. La persistance d'une fourche peut avoir deux origines : accidentelle quand la fourche résulte d'un traumatisme survenu à l'extrémité du tronc (neige, vent, oiseaux, etc.) ou ontogénique quand elle correspond à une répétition totale de l'unité architecturale, on parle alors de fourche maîtresse. Dans les deux cas, quand une fourche persiste en dessous de la hauteur de tronc souhaitée, il convient de tailler afin de prolonger artificiellement l'édification du tronc.

L'observation des arbres est un acte de gestion en soi. Le principal intérêt de la méthode Archi est d'intégrer en une seule analyse visuelle de nombreux aspects du fonctionnement de l'arbre et de permettre de prévoir le caractère réversible ou irréversible d'un dépérissement. On passe ainsi du diagnostic classique statique au pronostic dynamique. La désignation des arbres d'avenir lors des éclaircies peut très avantageusement s'appuyer sur cette méthode. Dans des conditions pédoclimatiques identiques coexistent bien souvent des individus au comportement radicalement différent. Un chêne-liège bloqué en situation de dépérissement irréversible peut côtoyer un chêne-liège identique par sa hauteur, son diamètre et son âge, mais exprimant un processus de résilience ! Utiliser la méthode Archi, c'est juger moins sévèrement la symptomatologie des dépérissements. Les arbres du type Archi « Stressé », par exemple, ne sont pas tous condamnés à un dépérissement irréversible. L'évolution d'un état de stress dépend de facteurs aggravants ou au contraire favorables tel que le climat, la concurrence, les attaques biotiques, le tassement du sol, les blessures lors des exploitations, etc. Abattre des arbres stressés c'est diminuer le nombre d'arbres potentiellement résilients. Nous savons aujourd'hui que les arbres ont des capacités de résilience que le forestier a longtemps sous-estimées. Le risque de condamner un arbre en associant la présence d'une mortalité anormale, symptôme facilement visible, à une mort prochaine est grand, et conduit à des erreurs irréversibles (SAJDAK, 2019).

La récolte du liège, lorsqu'elle n'est pas réalisée dans les règles de l'art, peut affaiblir les arbres. C'est la raison pour laquelle les sujets ayant été victimes d'attaques parasitaires importantes (défoliateurs, champignons, etc.) ou présentant une faible vitalité ne doivent pas être écorcés (PIAZZETTA, 2016). Ce dernier point revêt une certaine subjecti-

tivité que la méthode Archi dissipe utilement. Ainsi, au regard des objectifs du propriétaire ou du gestionnaire, et du fait de leur fragilité, il pourra être conseillé d'éviter de lever le liège sur les sujets des types Archi "Dépérissement irréversible", "Stressé" ou "Repli" que l'on souhaite conserver pour des raisons ornementales (arbre remarquable) ou de biodiversité (arbre à cavités). En revanche, si les sujets se trouvent dans une parcelle forestière gérée où la production de liège est prioritaire, la décision peut être de les exploiter et de tirer parti du liège - voire du bois (biomasse) - en ciblant prioritairement ces types Archi dans les futures opérations d'éclaircie et d'amélioration sylvicoles.

C.D., R.P., B.L., N.M.

Remerciements

M. José Verdaguer, propriétaire du mas des Carboneres à Maureillas-las-Illas (66), dont les suberaies ont servi de support à l'élaboration de la méthode et aux exercices pratiques de formation.

Le domaine des Fontanilles à Maureillas-las-Illas, qui a accueilli les participants à la journée de présentation de l'outil le 18 octobre 2018.

M. Josep Maria Tusell i Armengol, ingénieur forestier au Consorci forestal de catalunya, pour la recherche des sites forestiers en Catalogne, la traduction de l'outil et l'appui à l'organisation de la formation.

M. Serge Peyre, chargé de mission Forêt-DFCI au département des Pyrénées-Orientales, pour l'accompagnement sur le terrain et la prise de photographies.

Charlotte Drénou pour la traduction du résumé en anglais et en espagnol.

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.
- De Reffye P., Jaeger M., Barthélémy D., Houllier F., coord. (2018) *Architecture des plantes et production végétale. Les apports de la modélisation mathématique*. Editions Quae. Versailles, 358 p.
- Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., (2011) La méthode de diagnostic ARCHI. Application aux chênes pédonculés dépérissants. *Forêt entreprise*, 200, 4-15.
- Drénou C., (2014) Du gourmand au suppléant... Vocabulaire botanique, technique, anthropocentrique ? *La Garance Voyageuse*, 105, 6-11.
- Drénou C., Caraglio Y., (2019) Parlez-vous Archi ? Les principales définitions de la méthode Archi. *Forêt Entreprise*, 246, 28-35.

Christophe DRÉNOU
Centre National de la
Propriété Forestière
(CNPF)
Institut pour le développement forestier
(IDF)
Maison de la Forêt
7 chemin de la Lacade
31320 Auzeville
Tolosane
Mél : christophe.drenou@cnpf.fr

Renaud PIAZZETTA
Institut Méditerranéen
du Liège (IML)
23 route du liège
66490 Vivès

Benoît LECOMTE
Bruno MARITON
Centre régional de la
propriété forestière
Occitanie (CRPF)
Délégation régionale
du Centre national de
la propriété forestière
(CNPF)
Antenne Pyrénées-
Orientales
Maison des Vins et
des Vignerons
19, avenue Grande
Bretagne
66006 Perpignan

- Edelin C. (1977). Images de l'architecture des Conifères. Thèse de Doctorat de 3^e Cycle, Université de Montpellier II, 255 p.
- Hallé F., Oldeman R.A.A., (1970) *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*. Editions Masson et Cie. Paris, 178 p.
- Lebourgeois F., Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., (2015) Caractérisation de la croissance des chênaies pédonculées atlantiques dépérissantes : effets des sécheresses et relation avec l'architecture des houppiers. *Revue Forestière Française*, vol. LXVII, n°4, 333-351.
- Nicolini E., Caraglio Y., Pelissier R., Leroy C., Roggy J.C., (2003) Epicormic branches, a growth indicator for a tropical forest tree, *Dicorynia guianensis* Amshoff (Caesalpiniciaceae). *Annals of Botany*, 92(1), 97-105.
- Oldeman R.A.A., (1974) *L'architecture de la forêt guyanaise*. Mem. ORSTOM, n°73, Paris, 204 p.
- Piazetta R., (2016) *Guide de sylviculture du chêne-liège dans les Pyrénées-Orientales*. Institut Méditerranéen du Liège. Vivès, 66 p.
- Sajdak G. (2019). La méthode ARCHI, un diagnostic architectural des houppiers pour apprécier l'état physiologique des arbres. *Forêt Entreprise*, 246, 25-27.

Résumé

La méthode Archi est un outil de diagnostic visuel du dépérissement et des capacités de résilience des arbres basée sur une lecture de l'architecture des houppiers. Appliquée au chêne-liège, elle permet à la fois de reconnaître le stade de développement d'un arbre et d'identifier son état physiologique global. Les quatre niveaux d'organisation architecturale du chêne-liège (unité de croissance, module, unité architecturale, arbre) ainsi que les différents types Archi sont passés en revue, ces derniers faisant l'objet d'une clé de détermination.

L'utilisation de la méthode Archi donne la possibilité au subéiculteur de différencier le vieillissement du dépérissement, de ne pas attribuer la sénescence aux conséquences du changement climatique, d'anticiper le caractère réversible ou irréversible d'un dépérissement, de savoir reconnaître les sujets trop affaiblis pour pouvoir être écorcés, ou encore de mieux désigner les arbres d'avenir lors des éclaircies.

Summary

The Archi method applied to the cork oak (*Quercus suber* L.)

The Archi method is a tool for the visual diagnosis of forest decline and of the trees' possible resilience, based on an architectural assessment of the crowns. Applied to cork oaks, it permits the recognition of a tree's development phase and the identification of its physiological condition. The four levels of architectural organisation of the cork oak (unity of growth, module, architectural unity, tree) are reviewed, as well as the different Archi types; these last have been organised to form an identification key.

The use of the Archi method enables the cork oak manager to differentiate between ageing and wilting, to avoid attributing ageing to global warming, to anticipate the reversible or irreversible nature of a decline, to know how to recognise those trees which are too weakened to be debarked, and also to be able to identify during thinning those trees with a future.

Resumen

El método Archi aplicado al alcornoque (*Quercus suber* L.)

El método Archi es una herramienta de diagnosis visual del declive forestal y de las capacidades de resiliencia de los árboles basada en una lectura de la arquitectura de las copas. Aplicada al alcornoque, no solo permite reconocer la fase de desarrollo de un árbol, pero también de identificar su estado fisiológico global. Los 4 niveles de organización arquitecturales del alcornoque (unidad de crecimiento, módulo, unidad arquitectural, árbol), así como los diferentes tipos Archi están examinados, así convirtiéndose en una clave de determinación.

La utilización del método Archi da la posibilidad al administrador de los alcornoques de diferenciar el envejecimiento del declive, de no atribuir la senescencia a las consecuencias del cambio climático, de anticipar el carácter reversible o irreversible de un declive, de saber reconocer los sujetos demasiado debilitados para poder ser descortezados, o también de poder nombrar los árboles de porvenir durante los aclareos.