

Sylviculture et bois d'œuvre de pin d'Alep : des clefs pour passer de l'envie à la réalité

par Marion SIMEONI

Cet article est issu du rapport de stage de fin d'études de l'auteur, alors élève-ingénieur à AgroParisTech. Il est la dernière étape du programme DOPALEP : développement d'outils partagés pour la sylviculture de pin d'Alep de qualité, mené par AgroParisTech associé à Alcina et à l'Office national des forêts. L'objectif était de faciliter les mutations sylvicoles favorisant l'émergence d'un marché de bois d'œuvre de pin d'Alep. Pour passer du projet au concret, ce stage de fin d'études a permis de développer trois outils pour les propriétaires et gestionnaires de peuplements de pin d'Alep ; ils sont présentés dans cet article.

Rendre possible la valorisation du pin d'Alep à sa juste qualité, c'est-à-dire, pour une certaine part de la ressource, en bois d'œuvre, fait intervenir une chaîne d'acteurs et de choix techniques qui doivent être coordonnés et converger vers un but commun. Du semis à l'arbre mature, comme de la forêt au banc de sciage, le pin d'Alep est façonné par les décisions sylvicoles et les actions des transformateurs du bois.

Si les choix de sylviculture s'orientent vers une amélioration de la qualité et que celle-ci est reconnue par les professionnels de l'aval de la filière qui s'engagent alors à la valoriser, l'utilisation du pin d'Alep en bois d'œuvre devient possible. Car tous les ingrédients sont là : les qualités intrinsèques du bois sont certifiées pour un usage en structure (norme NF B52-001-1, avril 2018) et une grande variété de techniques sont au point pour une valorisation optimale de la diversité des produits bois issus des forêts de pin d'Alep. Citons par exemple, le bois lamellé-collé (BLC), le bois massif abouté (BMA) ou reconstitué (BMR) qui permettent la fabrication d'éléments de structure à partir de pièces de bois de petites longueurs et de sections variables. Toutes ces techniques sont adaptées au bois de pin d'Alep dont l'expérience semble montrer qu'il réagit bien au collage (VIDAL, 1992)¹.

Toutefois, une analyse de l'état actuel de la filière pin d'Alep à la lumière d'entretiens et d'une étude bibliographique approfondie réalisés dans le cadre d'un projet étudiant (AgroParisTech, 2018), a fait état de certains points de fragilité dans cette potentielle chaîne de valorisation du pin d'Alep. Fragilités qui expliquent en grande partie la quasi-absence d'un marché de bois d'œuvre de cette essence aujourd'hui en France. Face à cela, des avancées techniques et technologiques ont été identifiées pour leurs capacités à lever ces points de blocage. Celles-ci

1 - Des études pour le vérifier sont en projet en 2020.

ont été exploitées au cours d'un stage de fin d'études AgroParisTech-ENSTIB (SIMEONI, 2019) mené entre mars et août 2019, encadré conjointement par Laurence Le Legard-Moreau (ONF 13-84) et Olivier Chandioux (Alcina Forêts), qui a vu naître trois outils destinés à faciliter les étapes charnières où des blocages avaient été mis en évidence.

Ce projet et ce stage, dont les résultats sont l'objet de cet article, s'inscrivent tous deux dans un programme plus global initié en 2016 et achevé fin 2019, intitulé DOPALEP (Développement d'outils partagés pour la sylviculture du pin d'Alep de qualité). Il a été financé par le LabEx Arbre émanant de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), et piloté par Eric Lacombe (UMR SILVA).

Le champ d'action de ce travail débute tout à fait à l'amont de la filière, à savoir à la caractérisation de la ressource de pin d'Alep sur pied et s'arrête aux portes de la transformation du bois, c'est-à-dire à l'entrée de la scierie. Ainsi, les usagers potentiels des outils développés sont les gestionnaires et les exploitants forestiers. Mais l'impact de leur mise en œuvre a vocation à se propager au-delà de l'étape du sciage avec la garantie d'apporter aux professionnels de la deuxième transformation et aux prescripteurs de construction bois une matière première correspondant aux standards de qualités exigés pour un usage du pin d'Alep en bois d'œuvre. La condition évidente pour cela, et non maîtrisable par les forestiers, est le carnet de commandes rempli. L'activité des scieurs du sud-est de la France et les choix constructifs dans le bâti régional pourraient se tourner vers les rares essences locales aptes à être mises en œuvre en structure. Parmi elles, le pin d'Alep représente le gisement le plus important en termes de volume dans les Bouches-du-Rhône et le Var et le deuxième plus important derrière le pin sylvestre sur l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (IFN, 2017). Si rien ne garantit aujourd'hui de telles mutations dans la filière bois locale, la constitution d'un stock de bois d'œuvre sur pied, facilitée par les outils récemment développés, ne peut qu'y contribuer en sécurisant l'approvisionnement.

Ces outils se présentent donc comme des paramètres non suffisants mais utiles, pour résoudre l'équation complexe de la filière bois d'œuvre de pin d'Alep qui fait souvent dire aux transformateurs du bois : « *Nous n'utilisons pas cette essence car nous n'avons*

pas l'approvisionnement », et aux forestiers : « *Nous ne fournissons pas de bois d'œuvre de pin d'Alep car il n'y a pas d'acheteurs* ».

Cibler les besoins

L'analyse préalable de la filière pin d'Alep, réalisée en décembre 2018 (AgroParisTech, 2018), a révélé trois étapes critiques.

Tout à fait en amont, la connaissance de la ressource en pin d'Alep dans son ensemble, en termes de volume total par région, est relativement précise, mais elle est lacunaire à l'échelle des massifs. Les forêts privées notamment, ne sont pas décrites de manière à quantifier leur capital sur pied. Un tel niveau d'information permettrait de cibler les secteurs prioritaires pour l'animation sylvicole.

À l'étape des choix de gestion, le manque de recul sur la sylviculture du pin d'Alep se fait sentir : la relative jeunesse des peuplements de pin d'Alep et la prééminence de la gestion du risque incendie dans la région ont laissé peu de chances aux itinéraires sylvicoles d'être testés dans leur intégralité. Ainsi, les sylviculteurs ne bénéficient pas des retours d'expérience qui permettraient d'orienter leurs choix de gestion.

À l'interface entre la forêt et l'industrie du bois, l'étape cruciale du tri est compliquée par l'absence d'un document de classification de référence qui garantirait un approvisionnement standardisé et adapté aux attentes des scieurs de bois d'œuvre.

De ce constat découlent les enjeux forts du projet DOPALEP, qui intervient dans un contexte rendu favorable par l'émergence de nouveaux moyens technologiques et techniques susceptibles d'apporter des solutions concrètes sur ces points noirs.

Exploiter les moyens

Les progrès technologiques mettent à disposition des outils de plus en plus précis et fiables pour affiner la connaissance du territoire, dans son intégralité, en dépassant les contraintes physiques et financières qui entravaient autrefois la collecte de données, dans des zones difficiles d'accès, et en grande quantité. Ces limites sont repoussées par la télédétection². Ainsi, les images acquises par les satellites du programme Sentinel-2,

2 - C'est-à-dire l'ensemble des techniques d'acquisition d'informations à distance par l'intermédiaire d'instruments de mesure aéroportés ou satellitaires (PILLET, 2019).

déployés par l'Agence spatiale européenne, offrent l'occasion de répondre au besoin de caractérisation plus fine de la ressource de pin d'Alep.

Par ailleurs, des années de recherche et de développement au sujet de cette essence ont été prolifiques en connaissances pour les forestiers : un modèle de croissance (DREYFUS, 2001) fiabilisé par des phases d'amélioration successives (DREYFUS, FORTIN, 2017) est disponible, l'autoécologie et le comportement au feu sont bien documentés et de nombreux itinéraires sylvicoles ont été proposés (PREVOSTO *et al.* 2013 ; TRESMONTANT & QUESNEY, 2014 ; CHOMEL, 2015) Ces connaissances sont rassemblées dans un guide pratique de la gestion des pineraies à pin d'Alep, fruit d'une collaboration régionale d'une vingtaine de forestiers et écologues, qui apporte des clés de décision essentielles pour les sylviculteurs (PREVOSTO *et al.* 2013).

Enfin, la récente normalisation en bois structure du pin d'Alep, survenue en 2018, établit avec précision les critères et les bornes de ce que signifie la « qualité bois d'œuvre » pour cette essence. Il devient alors envisageable de qualifier les arbres et grumes de pin d'Alep avec fiabilité.

Pour valoriser ces ressources au mieux, elles ont été exploitées avec, comme maître mot, l'opérationnalité, de façon à livrer aux utilisateurs potentiels, des outils faciles d'utilisation et pourvoyeurs d'informations utiles et concrètes (Cf. Fig. 1).

Un modèle numérique de prédiction des surfaces terrières des forêts de pin d'Alep à partir d'images satellitaires

Les grandes étapes de l'élaboration du modèle

La stratégie globale a consisté à mettre en lien des informations mesurées sur des pla-

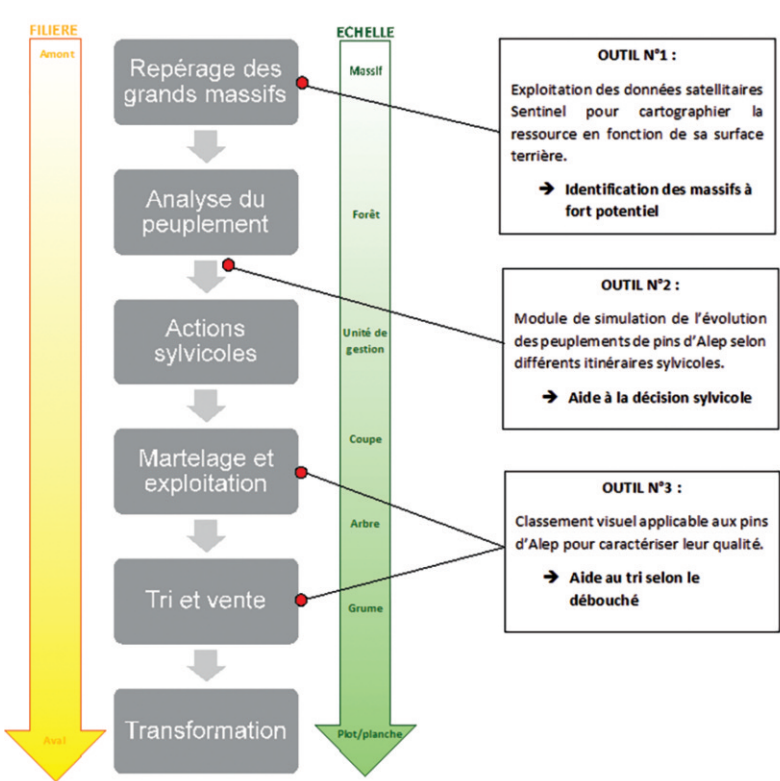


Fig. 1 : Positionnement des outils dans la chaîne de valorisation du pin d'Alep.

cettes de calibration de terrain avec des grandeurs acquises sur les images satellitaires Sentinel-2. L'analyse quantitative de ce lien a permis d'obtenir des estimations de données dendrométriques réelles, par seule combinaison d'informations satellitaires. Pour parvenir à ce résultat, les grandes étapes de la construction de l'outil sont présentées sur la figure 2.

Les variables du modèle

La surface terrière³ est une information clé pour le forestier qui souhaite caractériser un peuplement et orienter ses choix de gestion. De plus, elle est assez directement corrélée à un niveau de couvert des houppiers. Or, ce dernier peut être estimé grâce à la technique de télédétection embarquée sur les

3 - La surface terrière d'un arbre correspond à la surface de la section transversale de cet arbre à hauteur d'homme.



Fig. 2 : Les étapes de la construction de l'outil Sentinel.

satellites Sentinel-2. Ainsi, l'utilité de la surface terrière pour le sylviculteur et le lien qui semble pouvoir être établi entre cette donnée et les images satellitaires ont conduit à choisir ce paramètre comme variable à expliquer.

Pour y parvenir, les variables explicatives du modèle ont été obtenues par traitement

des images satellitaires multispectrales Sentinel-2. Les différentes couches qui les constituent se combinent entre elles pour former des « indices de végétation » (ABDOU & HUETE, 1995). Leurs valeurs dépendent de l'activité photosynthétique de la zone observée par les satellites, ce qui en font des variables idéales pour caractériser des objets terrestres de nature végétale, tels que les houppiers de pin d'Alep (Cf. Encadré 1).

1 - Pourquoi les images satellites Sentinel-2, le couvert forestier et la surface terrière sont-ils corrélés ?

Le feuillage des arbres est l'indicateur visible du ciel de l'activité photosynthétique de la végétation ligneuse. Le bois est le vecteur des nutriments minéraux qui permettent cette activité et le distributeur de sa production de matière organique dans tout le végétal. La quantité de bois est donc directement liée au couvert des houppiers où a lieu la photosynthèse. Or, en foresterie, le capital de bois sur pied est caractérisé par la surface terrière (superficie totale des troncs) à l'hectare. C'est pourquoi, couvert forestier et surface terrière peuvent être associés.

Ces paramètres sont liés indépendamment de la densité : à surfaces terrières égales, un peuplement dense en petites tiges et un peuplement clair composé de gros bois présentent des niveaux de couverts des houppiers similaires.

On ne peut pas en dire autant pour la relation entre le couvert forestier et la densité (l'autre variable envisagée car très utile dans les choix de gestion). Elle a été écartée du modèle car il apparaissait plus complexe de lier cette information aux houppiers caractérisables par les satellites Sentinel-2. En effet, à densité égale, le couvert est très différent d'un peuplement à gros bois à un peuplement à petit bois.

La capacité des satellites à caractériser ce couvert forestier, et plus largement l'occupation des sols, tient dans la nature de l'information qu'ils détectent par l'interaction entre l'énergie électromagnétique émise par le soleil et les éléments présents à la surface de la Terre. Cela prend la forme d'une image multispectrale constituée de treize bandes, correspondant à treize niveaux de longueurs d'ondes du visible et de l'infrarouge. À partir de ces données, qui définissent globalement la couleur de la portion de territoire observée par le satellite à chaque point de mesure (100 à 360 mètres carré, selon les bandes), c'est la nature et la structure des objets terrestres qui peuvent être déterminés.

Dans une zone forestière, ce sont bien les houppiers qui donnent à l'image satellitaire sa couleur, de par :

- leur nature : le vert jaunâtre caractéristique des aiguilles de pin d'Alep permet de le distinguer nettement des autres essences qui évoluent en contexte méditerranéen (en grande majorité : chênes vert et pubescent, pins maritime et sylvestre, cèdre de l'Atlas) ;

- leur étendue : plus le taux de couvert est élevé, moins les couleurs du sol seront détectées sur l'emprise d'un point de mesure du satellite (un carré de dix mètres de côté).

Connaissant les mécanismes de l'activité photosynthétique des végétaux et la palette de couleurs que cela fait intervenir, des combinaisons des valeurs brutes des treize bandes spectrales ont été spécialement établies pour mieux caractériser les objets terrestres de nature végétale (ABDOU & HUETE, 1995). Ces valeurs élaborées forment les trente-sept indices de végétation qui sont les variables explicatives candidates pour le modèle.

Par exemple :

Indice de végétation

Normalized Difference Vegetation Index =

$NDVI = (Bande\ 8 - Bande\ 4) / (Bande\ 8 + Bande\ 4)$

Résultats

Le lien identifié entre les images satellites et les relevés de surface terrière (Gha) s'exprime par une régression linéaire multiple faisant intervenir les douze variables explicatives les plus significatives parmi les trente-sept indices de végétation disponibles.

L'analyse statistique des résultats démontre une corrélation forte et indique une marge d'erreur satisfaisante mais qui pourrait être réduite (Cf. Encadré 2).

Le bilan prometteur de cette version du modèle conduit alors à s'interroger sur les pistes d'amélioration. L'examen détaillé des estimations qu'il produit révèle de plus grandes incertitudes pour caractériser les peuplements très clairs (< 10 m²/ha) et très denses (> 25 m²/ha). Dans le premier cas, le faible couvert rend le sol visible. Or, il peut être de différentes natures d'une forêt à l'autre, ce qui se traduit par des valeurs détectées par les satellites tout aussi variables. Dans le cas des peuplements très denses, l'explication semble statistique. Ils sont globalement peu représentés : moins de 10 % de la superficie totale des forêts de pin d'Alep atteint une surface terrière supérieure à 25 m²/ha (données IFN 2017). Les relevés d'un tel niveau pour la calibration ont donc été trop peu nombreux pour aboutir à un bon ajustement.

Ainsi, si des travaux devaient être menés pour affiner le modèle, il serait nécessaire de prendre les dispositions suivantes :

- en priorité, chercher une solution pour les peuplements très clairs car l'enjeu y est fort par le fait que près de la moitié de la surface totale des forêts de pin d'Alep est concernée (données IFN 2017). Une idée serait d'introduire une nouvelle variable caractérisant la nature du sol de chaque placette de calibration ;

- pour les forêts très denses, augmenter le nombre de relevés pour la calibration suffi-

rait à améliorer l'ajustement du modèle pour ce type de peuplement.

Toutefois, au regard des applications envisagées de ce modèle, à savoir l'identification de forêts de pin d'Alep à potentiel, l'enjeu principal est de détecter finement les peuplements assez denses et courants, soit ceux présentant des surfaces terrières comprises entre 10 et 25 m²/ha. Or, c'est dans cette fourchette que le modèle s'avère le plus performant. C'est pourquoi, le manque de finesse dans la caractérisation des forêts de part et d'autres de cet intervalle n'est pas un frein rédhibitoire à son utilisation dans sa version actuelle.

Il est de plus possible d'en augmenter les performances dans son application pratique, moyennant les méthodes d'exploitation suivantes :

- lisser les données à une résolution plus grossière : en sélectionnant la valeur arrondie de Gha la plus fréquente sur un quart d'hectare par exemple ;

- analyser les données en relatif : si des précautions sur la valeur absolue de chaque point sont requises, les variations d'une zone à l'autre s'avèrent quant à elles toujours pertinentes.

L'outil Sentinel en pratique

Il est fourni à l'utilisateur une courte chaîne de traitement écrite en langage R. Son exécution automatise l'application du modèle numérique de calcul des surfaces terrières à partir d'un dossier contenant les données Sentinel téléchargeables sur des plateformes web en libre accès (treize fichiers correspondant aux treize bandes spectrales qui composent une image satellite). Le résultat de ce traitement est une couche géographique raster contenant les informations de surface terrière à une résolution de dix mètres. Ce format de fichier permet la représentation cartographique de cette donnée dans n'importe quel système d'information géographique (Cf. Fig. 3).

Il est également possible de procéder à une agrégation des données, pour passer à une résolution plus grossière, afin d'obtenir un lissage à plus grande échelle : on obtient un fichier plus léger, moins fin mais qui peut s'avérer plus fiable localement. En effet, ce traitement propose de sélectionner la valeur arrondie la plus fréquente sur un carré plus vaste. A condition que la résolution choisie

2 - Détails de l'élaboration et de l'analyse statistique du modèle

Les valeurs des indices obtenues via les images Sentinel-2 ont été confrontées à 353 relevés de surface terrière précisément géolocalisés sur des placettes de calibration réparties dans une variété de peuplements de pin d'Alep plus ou moins clairs sur une vaste zone d'étude : de Saint-Rémy-de-Provence (13) à Seillans (83) d'ouest en est, et de Manosque (04) à Cuers (83) du nord au sud.

La mise en relation des données de terrain et des données satellites a fait ressortir un modèle linéaire multiple. Sa calibration est le fruit d'un processus d'évaluation d'un grand nombre de combinaisons de variables grâce au critère d'information d'Akaike (LANCLOT & LESNOFF, 2005 ; CIAMPI, THIFFAULT & SAGMAN, 1988). Cet indicateur évalue la qualité d'un modèle en fonction de sa précision mais aussi de sa complexité en analysant les paramètres suivants : la somme des carrés des résidus (SCR) et le nombre de variables explicatives. Il permet ainsi d'optimiser le rapport entre un bon ajustement du modèle et le nombre de variables explicatives qui le composent. En l'occurrence, douze variables ont été retenues sur les trente-sept indices de végétation candidats, pour un niveau de performance satisfaisant :

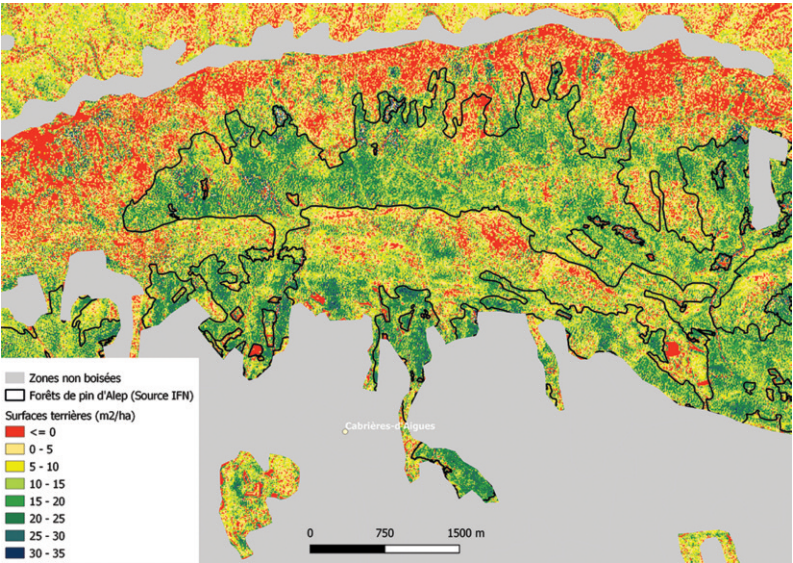
Indicateurs de performance du modèle

RMSE	R2	Valeur-p
5,986	48,2 %	<2,2e-16

La valeur-p extrêmement faible indique que les variables retenues sont statistiquement très significatives. Le coefficient de détermination (R2) de près de 50 % témoigne d'un lien fort entre les indices de végétation et la surface terrière. En revanche, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) proche de 6 m²/ha reste assez élevée.

soit d'une taille cohérente avec la variabilité spatiale des peuplements forestiers (un quart d'hectare semble adéquat), la probabilité d'obtenir une estimation juste est augmentée car elle est sélectionnée parmi plusieurs résultats calculés sur une zone homogène.

Fig. 3 (ci-dessous) : Extrait de la couche géographique des prédictions des surfaces terrières par l'outil Sentinel à la résolution de 10 mètres. Zoom sur la forêt de Cabrières-d'Aigues (84).



Forces et faiblesses

Une information de surface terrière très régulièrement mise à jour et disponible gratuitement sur l'ensemble du territoire, c'est ce que permet le traitement des données Sentinel-2 par ce modèle numérique. En effet, les images satellites sont acquises tous les cinq jours et téléchargeables sur des plates-formes web en libre accès.

Dans sa phase opérationnelle, l'utilisateur peut donc disposer de données de surfaces terrières tout à fait actualisées. Ainsi, les effets attendus d'actions sylvicoles (éclaircies, coupes) ou ceux inattendus de catastrophes naturelles (incendies, tempêtes, problèmes sanitaires) peuvent immédiatement être évalués.

La disponibilité et l'abondance des données Sentinel-2 sont les avantages majeurs exploités pour le développement de l'outil. Mais les images satellitaires ne sont pas dépourvues d'inconvénients qu'il a fallu minimiser : les couleurs perçues par les satellites peuvent être altérées par la couverture nuageuse, et le rayonnement solaire peut varier d'une date d'acquisition à une autre. Pour limiter ces interférences, le jeu de données de calibration a subi les traitements suivants :

- restriction à des images acquises des jours de grand beau temps (couverture nuageuse inférieure à 5 %) et exclusivement en hiver (pour maximiser la distinction entre le pin d'Alep et les feuillus à feuilles caduques ou marcescentes) ;
- correction de l'effet du rayonnement par régression linéaire simple : la corrélation entre la valeur des bandes spectrales et le taux d'insolation calculé sur toute la zone d'étude a été estimée pour permettre cet ajustement.

Perspectives d'utilisations

Une carte de la répartition en surface terrière des pins d'Alep est une première approche vers l'identification de secteurs à potentiel pour approvisionner une filière bois d'œuvre de cette essence. Pour autant, afin de cibler les zones d'intérêt, il est essentiel d'estimer la capacité de ces peuplements à développer du bois de qualité grâce à des indicateurs de fertilité stationnelle. C'est pourquoi, les cartes Sentinel ont vocation à être croisées avec des données géographiques telles que : les étages bioclimatiques, les bilans hydriques, les hauteurs des arbres (MNS-MNT⁴), la géologie...

Dans une vision plus opérationnelle, l'accessibilité des peuplements identifiés comme riches en pin d'Alep peut être évaluée en croisant les données Sentinel avec celle des dessertes existantes (Cf. Fig. 4, 5 et 6).

Ces différents niveaux d'analyse permettent de localiser les forêts à enjeu qui cumulent plusieurs indicateurs positifs : un capital de bois sur pied élevé, sur une station propice, dans un secteur bien desservi. Ces forêts identifiées sont alors prioritaires pour réaliser une animation sylvicole soutenue et expérimenter des investissements ambitieux.

Cet outil peut être également un complément utile d'analyse des peuplements forestiers dans la sylviculture courante : à l'élaboration du document de gestion, par exemple. Sans se substituer aux descriptions et inventaires de terrain, il peut permettre de caractériser en amont la variabilité de la forêt et de repérer les zones à enjeux plus forts pour le pin d'Alep. Cette analyse préalable au terrain permet de mieux délimiter les blocs d'inventaires ou les unités de descriptions et d'y définir l'effort d'échantillonnage le plus adéquat.

Un simulateur de scénarios sylvicoles applicables à des peuplements de pin d'Alep spécifiques

La valeur qualitative d'un peuplement de pin d'Alep se joue en grande partie dans sa gestion sylvicole. La notion de qualité relève ici de trois éléments majeurs : la conformation des tiges déterminant la part des arbres aptes à être valorisés en bois d'œuvre, la capacité du peuplement à optimiser la séquestration de carbone et sa persistance en termes de « texture » forestière et donc de continuité paysagère.

La sylviculture du pin d'Alep s'est longtemps cantonnée à des pratiques limitant le nombre d'interventions, en maximisant leur intensité, eu égard aux difficultés de valorisation financière de ces opérations. Ces interventions brutales entraînent des dépréciations importantes de la qualité des bois (en particulier quand elles sont précoces dans la vie du peuplement) : sécrétion excessive de résine, développement de branches basses, inclinaison et courbure des tiges,

4 - Différence entre le Modèle Numérique de Surface et le Modèle Numérique de Terrain.

sans compter le risque accru de chablis dans un peuplement subitement ouvert.

À plus grande échelle et dans une vision plus large que celle du producteur de bois de qualité, c'est l'impact paysager qui est également fort, et par là, l'image de l'exploitation forestière qui est écornée.

A ces pratiques historiques « par défaut », s'ouvrent aujourd'hui des modes de gestion interventionnistes plus étalés dans la vie du peuplement. La réflexion technique se porte sur la conciliation de l'enjeu sylvicole (interventions nécessaires au façonnage des tiges de qualité), l'enjeu de séquestration du carbone et l'enjeu paysager. Une étude récente présente des exemples d'itinéraires sylvicoles en ce sens (CHOMEL, CHANDIOUX & LE COURBE, 2016) (Cf. encadré 3).

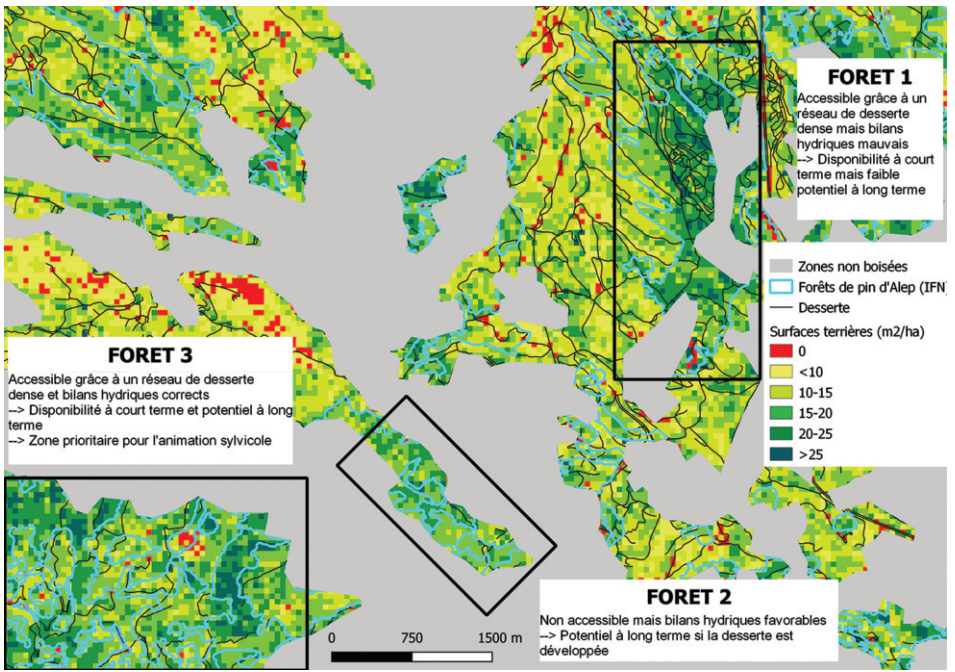
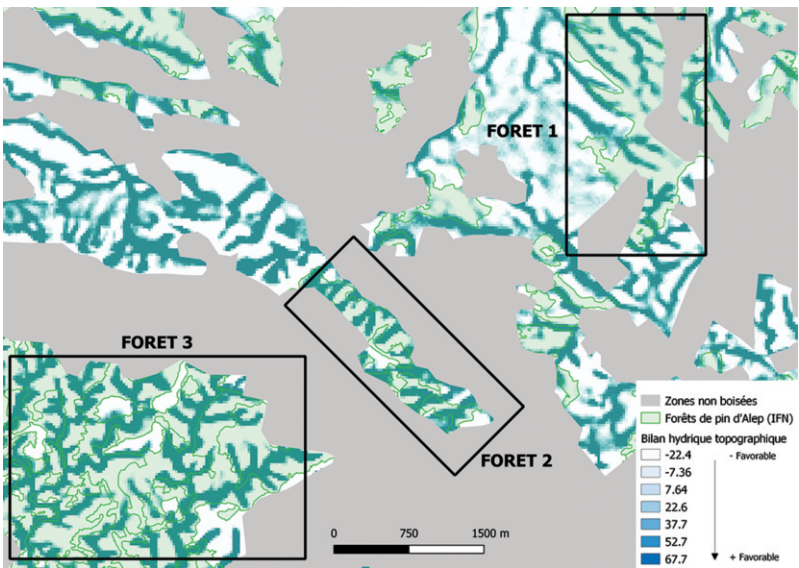
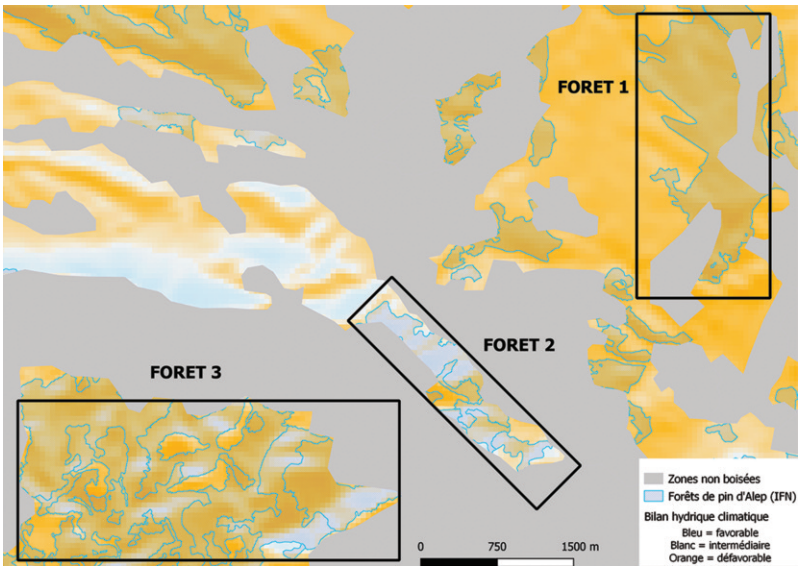
Part de bois de qualité bois d'œuvre, acceptation sociale des coupes, bilan carbone : les itinéraires dynamiques gagnent sur tous les tableaux. Pourtant, leur mise en place reste rare. La raison majeure à cela est l'impossibilité de garantir la rentabilité économique de cette sylviculture car trop d'inconnues demeurent dans l'équation : le prix de vente du bois d'œuvre de pin d'Alep (marché inexistant à l'heure actuelle), les volumes prévisibles par qualité, l'éventualité d'une rémunération du carbone séquestré...

Cette difficulté est renforcée par le fait qu'en région méditerranéenne, l'application d'une gestion continue sur plusieurs décennies et la réalisation d'investissement de long terme s'avèrent rares. Le « prix de la tranquillité » (Poss, 2007) est particulièrement élevé dans cette région et pas encore compensé par celui de la vente des bois, qui reste bas.

De haut en bas :
Fig. 4 :
Bilans hydriques
climatiques
(favorables en bleu,
défavorables en orange)

Fig. 5 :
Bilans hydriques
topographiques.
Source RDI ONF, P. Dreyfus.

Fig. 6 (ci-contre) :
Exemple d'analyse
de la potentialité par
croisement de données :
bilans hydriques,
dessertes,
surfaces terres.



3 - Un itinéraire de gestion plus dynamique pour des bois de meilleure qualité

Parmi les modalités de gestion à objectif d'amélioration de la qualité issues des travaux de Fanny Chomel (stage de fin d'études AgroParisTech, 2015), un itinéraire dynamique a été retenu pour participer aux tests du simulateur :

Objectif	Maximiser la part de bois d'œuvre
Diamètre d'exploitabilité	85 ans ; 40 cm
Travaux	Détourage sélectif : maintien de 1800 t/ha Déclenchement : Hdom = 3 m (15 ans) Assistance à la régénération juste après la coupe d'ensemencement
Eclaircie 1	Intensité : 50 % Déclenchement : Ddom = 15 cm (30 ans)
Eclaircie 2	Intensité : 40 % Déclenchement : G = 25 m ² /ha (50 ans)
Eclaircie 3	Intensité : 40 % Déclenchement : G = 25 m ² /ha (65-70 ans)
Coupe d'ensemencement	Densité objectif : 150 t/ha Déclenchement : Ddom = 35 cm (85-90 ans)
Coupe définitive	15 ans après la coupe d'ensemencement (100-105 ans)

Le dépressage dans le jeune âge et la succession d'éclaircies sélectives de faible intensité assurent un développement régulier et vigoureux des plus belles tiges, en réitérant les bénéfices de « l'effet éclaircie » plusieurs fois dans la vie du peuplement.

L'absence d'ouverture brutale permet aux arbres dominés d'exercer leur rôle d'« éducateurs » en favorisant la croissance en hauteur et en limitant le développement de branches basses à l'origine des nœuds qui se retrouvent dans les billons devenus de ce fait invendables en bois de structure.

De plus, c'est lors de ces phases de croissance soutenue que l'activité de transformation du carbone de l'atmosphère en matière organique est la plus intense. À cela s'ajoute un effet induit par cette sylviculture : en permettant la valorisation en bois d'œuvre, on augmente la séquestration de carbone et l'emploi de pin d'Alep dans la construction, en substitution à d'autres matériaux moins vertueux.

4 - Les formules du calcul économique

Bénéfice de l'année i : $B_i = R_i - D_i$

Bénéfice actualisé simple : $BAS = \sum_{j=0}^h \frac{B_j}{(1+r)^j}$

Avec :

B_i = bénéfices de l'année i (€)

R_i = recettes de l'année i (€)

D_i = dépenses de l'année i (€)

h = durée du projet (années)

j = nombre d'années écoulées depuis la décision

r = taux d'actualisation

Aujourd'hui, des solutions techniques existent pour lever en partie les inconnues et mieux communiquer avec les propriétaires forestiers afin de les rendre plus enclins à de nouvelles pratiques sylvicoles. Il s'agit en particulier des simulations de croissance du pin d'Alep qui permettent une projection réaliste des volumes produits par peuplement et des moyens informatiques capables de calculer une multitude de scénarios et d'en proposer des visualisations efficaces.

Ces éléments ont été exploités et combinés pour l'élaboration d'un outil d'aide à la décision sylvicole qui fait le lien entre les guides de sylviculture opérationnels et les modèles de croissance scientifiques. Il se veut précis, ergonomique, visuellement efficace et surtout, souple dans les choix possibles. Les valeurs de prix incluses dans l'outil sont modifiables par l'utilisateur, qui peut alors s'essayer à des scénarios plus ou moins optimistes quant à l'évolution du marché du bois de pin d'Alep. Cette caractéristique est importante dans un contexte de filière bois d'œuvre en émergence ne permettant pas de fixer les paramètres économiques.

Concrètement, cet outil met à disposition de l'utilisateur une interface informatique sur laquelle doivent être saisies les caractéristiques du peuplement dont il souhaite simuler l'évolution : à minima, la surface, la composition, le capital sur pied, le stade de développement et la fertilité. Les valeurs des variables économiques peuvent également être choisies à la place de celles incluses par défaut dans l'outil. À la suite de cette étape de saisie, l'utilisateur sélectionne un itinéraire sylvicole à tester parmi trois propositions, sur un horizon de temps choisi (entre dix et cent cinquante ans). L'outil génère alors un tableau du programme des coupes et des travaux, et une série de graphiques projetant l'évolution prévisible des principales données dendrométriques du peuplement : volume, densité, surface terrière, diamètres et hauteur.

Afin de donner un critère de décision, chaque simulation affiche un bilan économique du scénario testé. Par comparaison des rentabilités, l'outil propose ainsi au gestionnaire un élément de plus pour faire les choix sylvicoles les plus adéquats.

(Cf. encadré 4, Fig. 7 et 8).

Cette application relativement simple et ces représentations claires des résultats, reposent sur un modèle de croissance du pin d'Alep, prenant en compte chaque niveau de

FORET COMMUNALE de Lamanon			Date : 19 septembre 2019	
Type de forêt :	COMMUNALE	Responsable :		
Commune :	Lamanon	Unité territoriale :		
Surface (ha) :	4.3			
Parcelle :	7			

Peuplement					
Structure	Composition	Calibre	Capital	Age	Hauteur dominante
Futaie régulière	Pin d'Alep pur	bois moyens prépondérants	très claire (< 10m ² /ha)	70 ans	19
			--> Fertilité 1		

Informations complémentaires*			*Facultatives <i>Niveau de précision très bon</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Tenir compte des trouées Taux : 10%	<input type="checkbox"/> Perturbation forte Niveau de dégâts : 50%
Densité	Diamètre dominant	Surface terrière			
< 200 t/ha	30	< 10 m ² /ha			

Conditions d'exploitation	
Exploitation et débordage D1 : Exploitation et débordage faciles	Aménagements à réaliser : <input type="checkbox"/> Aménager une place de dépôt <input type="checkbox"/> Créer une piste de vidange <input type="checkbox"/> Améliorer la desserte <input type="checkbox"/> Autre aménagement

Choisir l'itinéraire à tester :

COURANT Pas d'objectif de production de bois d'œuvre, très peu d'investissement. Correspond aux pratiques courantes. <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">COURANT Fertilité 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">COURANT Fertilité 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">COURANT Fertilité 3</div>	STANDARD Objectif d'amélioration de la qualité pour produire une petite proportion de bois d'œuvre avec un investissement limité. <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">STANDARD Fertilité 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">STANDARD Fertilité 2</div>	DYNAMIQUE Objectif d'amélioration forte de la qualité pour valoriser une grande proportion en bois d'œuvre. Cet itinéraire nécessite des investissements. <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">DYNAMIQUE Fertilité 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">DYNAMIQUE Fertilité 2</div>	Travaux optionnels : Investissements supplémentaires qui permettent une augmentation significative de la part de bois d'œuvre <input type="checkbox"/> Marquage des tiges d'avenir <input checked="" type="checkbox"/> Elagage (environ 200 tiges/ha) <input type="checkbox"/> Préparation à la régénération
--	--	--	---

[Renseigner les prix](#)
[Visualiser les résultats](#)
[Comparer les résultats](#)

Fig. 7 (ci-dessus) : Aperçu de l'interface de saisie.

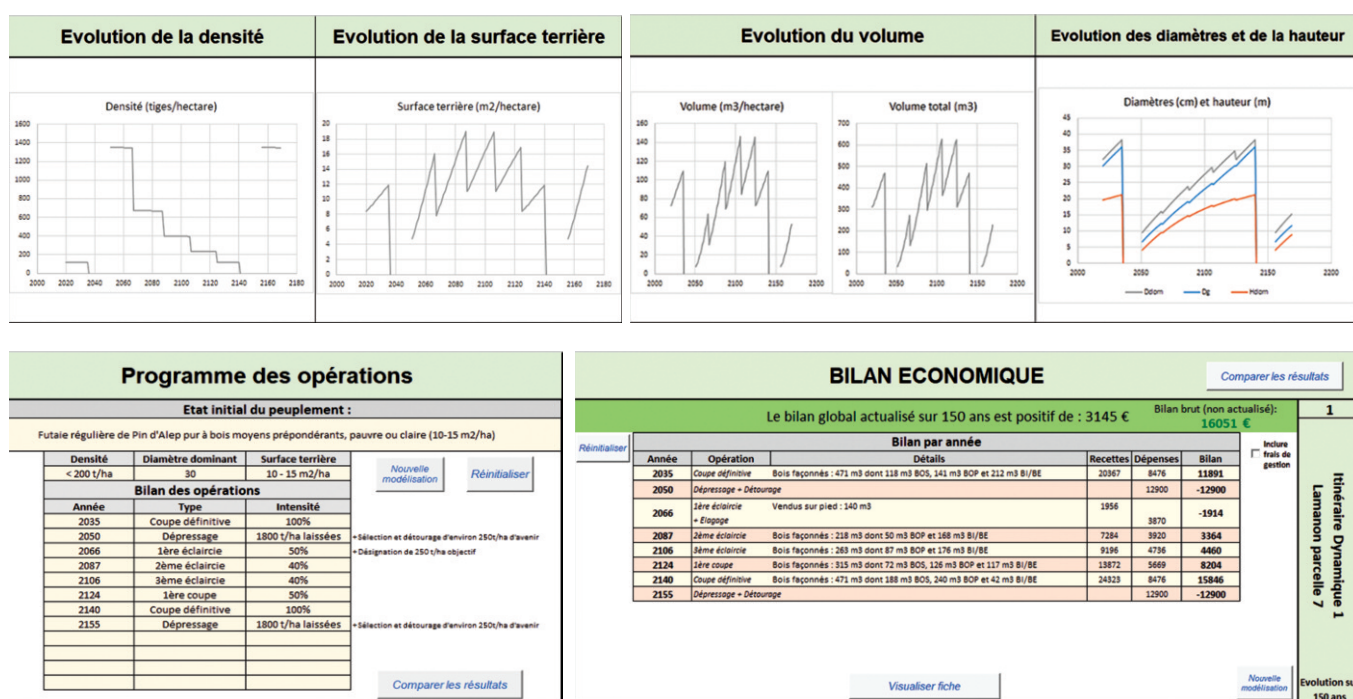
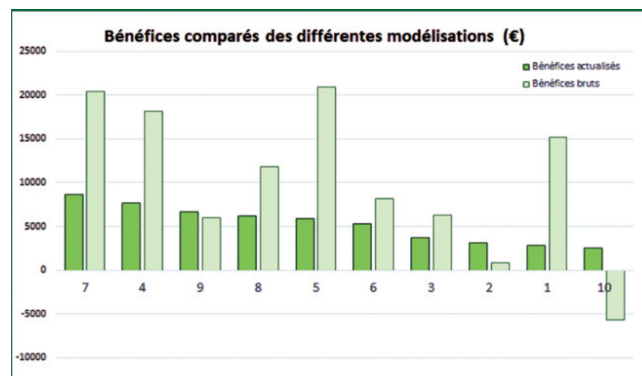


Fig. 8 (ci-dessus et ci-contre) : Aperçu de l'affichage des résultats.



fertilité (DREYFUS, 2001 ; FORTIN, 2017). Il est intégré dans le logiciel de simulation forestière Capsis⁵, élément indispensable pour la mise au point de l'outil. En effet, c'est dans Capsis que toutes les évolutions des variables dendrométriques ont été calculées pour constituer la banque de données à partir de laquelle l'outil donne à voir à l'utilisateur des résultats correspondant à la situation spécifique du peuplement testé et aux choix de sylviculture de l'itinéraire sélectionné (Cf. encadré 5).

Cette application n'a pas pour objectif de tirer des conclusions quant au mode de gestion à préconiser dans le cas général. Au contraire, elle propose une analyse détaillée et spécifique de chaque peuplement pour suggérer les solutions de gestion les plus adéquates propres à chacune des situations. Ainsi, dans un contexte de fertilité stationnelle médiocre ou de capital faible, c'est bien souvent l'itinéraire très « basique », correspondant aux pratiques courantes qui affiche le résultat économique le plus favorable. Dès que la fertilité est bonne, les itinéraires standard et dynamique, qui offrent une valorisation optimale de la qualité, révèlent les meil-

leurs bilans dans la plupart des cas. Ces résultats sont complètement modulables par variation des paramètres économiques. Toutes les prévisions d'évolution du marché sont donc envisageables. De plus, la possibilité de moduler le taux d'actualisation permet de personnaliser le diagnostic selon la stratégie économique du propriétaire et sa perception de la prise de risque économique.

Cette première version de l'outil met à disposition de l'utilisateur un critère de choix économique basé sur la commercialisation des bois. Des intérêts non quantifiés pour le moment, mais tout aussi importants, de chaque itinéraire dans le cadre d'une gestion multifonctionnelle et durable pourraient à terme compléter l'outil : indice de biodiversité, impact sur le paysage, bilan carbone, entre autres. Des projets de quantification des services écosystémiques vont dans ce sens, c'est le cas par exemple des travaux menés actuellement par Raphaël Bec au sein du Centre régional de la propriété forestière (CRPF) Occitanie (BEC, 2020) (Cf. encadré 6).

L'usage envisagé pour cet outil a dicté les contraintes du cahier des charges : flexibilité, adaptabilité, ergonomie, représentation

5 - Les itinéraires de gestion intégrés à l'outil de simulation

Dans une optique de proposer des scénarios innovants mais réalistes et de permettre d'évaluer leur intérêt par rapport à des pratiques courantes, trois modalités de gestion sont proposées dans l'outil. Elles sont tirées des guides de sylviculture en vigueur (itinéraire STANDARD) (Tresmontant & Quesney, 2014), de retours d'expérience (itinéraire COURANT) et de la proposition novatrice de gestion à objectif d'amélioration de la qualité décrite dans l'encadré n°3 (itinéraire DYNAMIQUE). Elles constituent les trois itinéraires au choix de l'utilisateur, auxquelles s'ajoutent des opérations optionnelles de sylviculture et d'amélioration de l'accessibilité.

Intitulé	DYNAMIQUE	STANDARD	COURANT
Description	Sylviculture impliquant un certain niveau d'investissement mais permettant d'optimiser la part de qualité bois d'œuvre dans le peuplement.	Sylviculture permettant une amélioration de la qualité du peuplement avec un investissement limité. Correspond aux préconisations des guides en vigueur.	Mode de gestion limitant au maximum les investissements mais ne permettant pas de développer la qualité bois d'œuvre dans le peuplement. Correspond à des pratiques courantes.
Débouchés	A partir de 30 m ³ de bois d'œuvre dans les produits de l'intervention : exploitation en bois façonné, tri et valorisation différenciée des qualités BO Structure, BO Palette, BI/BE.	A partir de 30 m ³ de bois d'œuvre dans les produits de l'intervention : exploitation en bois façonné, tri et valorisation différenciée des qualités BO Structure, BO Palette, BI/BE.	BI/BE uniquement.
Détails	Un dépressage + détourage 3 éclaircies 2 coupes	Un dépressage 2 éclaircies 2 coupes	1 éclaircie 1 coupe
Opérations optionnelles	Elagage Marquage des plus belles tiges Préparation à la régénération (crochetage) Amélioration de la desserte		Préparation à la régénération (crochetage) Amélioration de la desserte

claire des résultats. Destiné au gestionnaire, il est voué à répondre au besoin de définir la sylviculture à mettre en place dans une forêt de pin d'Alep ; typiquement, au moment du renouvellement d'un plan de gestion ou d'un aménagement forestier. Il est une aide technique pour le sylviculteur et un support de communication efficace auprès de celui qui a le pouvoir de décision (le propriétaire, le plus souvent). En effet, disposer de données chiffrées et précises constitue un argument solide pour faire valoir des choix de gestion. Toutefois, pour que ces quantités de différents produits de bois aient un sens, il est indispensable d'être en mesure de reconnaître chaque qualité. C'est pourquoi, établir un document de classement visuel des bois ronds de pin d'Alep est apparu comme le complément logique à cet outil.

Un tableau de classement qualitatif des bois ronds de pin d'Alep

Elaboration du tableau de classement

La norme NF B52-001-1 (avril 2018) régissant le classement du pin d'Alep en bois d'œuvre s'applique aux sciages, soit à des bois équarris. Or, les forestiers et les exploitants contractualisent avec les scieurs lorsque le pin d'Alep est encore à l'état de grume voire d'arbre sur pied. Dès cette étape déjà, se présente la nécessité de qualifier le bois afin de le négocier à sa juste valeur. C'est pour répondre à ce besoin, que le classement visuel des bois ronds selon trois débouchés courants présenté lors du colloque « Bâtir demain avec le pin d'Alep » du 12 juillet 2019 a été établi. La suite de cet article en explicite la méthodologie d'élaboration.

Elaboration du tableau de classement à partir des normes

La norme prévoit un classement visuel (ST-I, ST-II, ST-III, ST-IV) des sciages destinés à la structure en catégories correspondant aux classes de résistance mécanique (C30, C24, C18, C14). Il s'agit précisément d'estimer la contrainte en flexion maximale supportée par la pièce de bois, sur la base de

Classement mécanique	Classement visuel sciage	Classement visuel bois rond de pin d'Alep	Usages possibles
C14	ST-IV	BOP (Palette)	Palettes, caisserie, emballage
C18	ST-III	BOS (Structure)	Charpente traditionnelle, ossature bois
C24	ST-II	BOS (Structure)	Charpente traditionnelle, ossature bois, charpente industrielle, charpente lamellé-collé
C30	ST-I	-	Charpente lamellé-collé à haute performance, menuiserie

critères visuels : ses dimensions et ses singularités. En fonction de cette résistance estimée, sont associés à chacune des classes mécaniques, les débouchés possibles pour les billons (Cf. Tab. I).

Dans le cas du pin d'Alep, au regard de la grande rareté constatée des échantillons de qualité visuelle ST-I lors de l'étude de normalisation (HATCHIGUIAN, FABRÈGUE, 2016) et des opportunités de marché qui semblent se dessiner pour cette essence, il a été choisi de calibrer le classement visuel pour reconnaître la matière première des produits suivants : la palette et les éléments de structure simples. Ainsi les critères spécifiquement associés à la classe C30 ont été exclus.

L'exploitation des critères visuels de la norme, qui s'applique aux bois équarris, a nécessité un travail de traduction en paramètres visibles sur bois ronds. L'exclusion de certains critères cités dans la norme a été inévitable, lorsqu'ils concernaient des singu-

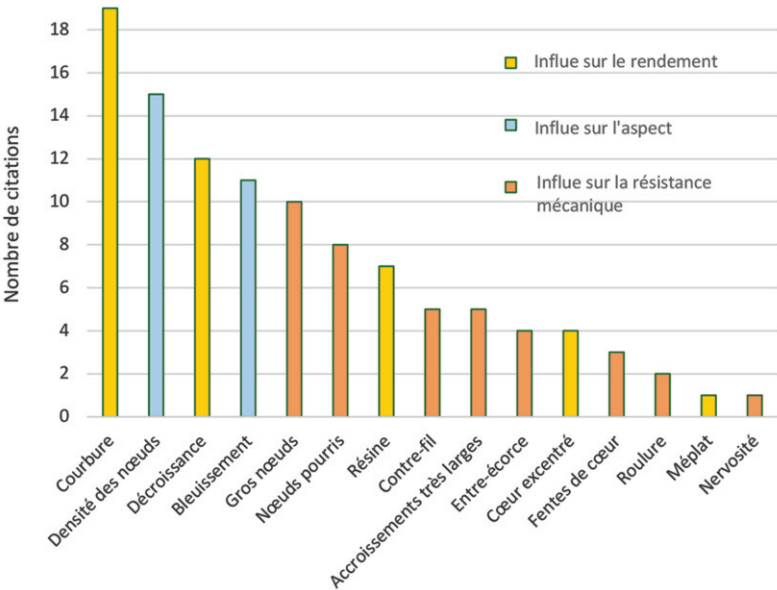
Tab. I :
Correspondances des classes : mécaniques, visuelles sur sciage, visuelles sur bois rond, et débouchés associés.

6 - Le projet Life Forest CO₂

En Occitanie, le CRPF a ciblé les peuplements de pin d'Alep comme sujets d'étude intéressants pour quantifier la plus-value en termes de séquestration du carbone qu'apporte la sylviculture dynamique, en comparaison des pratiques les plus courantes. Le but est de donner des éléments tangibles pour permettre le paiement des services environnementaux, là où des itinéraires sylvicoles sont mis en place, par obtention en particulier du récent Label Bas-Carbone qui garantit les émissions compensées sous certaines conditions.

Raphaël Bec, qui mène ce projet, utilise les mêmes itinéraires techniques (Standard, Dynamique, Courant) et logiciel de modélisation (CAPSIS) en vue de rendre possible une éventuelle convergence de nos études dans un outil unique d'aide à la sylviculture où rentabilité économique et bilan carbone pourraient être évalués conjointement (BEC, 2020).

	Critères présents dans la norme	Visibilité :	
		Sur pied	Grume
Liés à la structure du bois	Cernes d'accroissement		o
	Nœuds (densité, dimension, type)	o	o
	Grosses poches de résine		o
	Pente du fil	o	o
	Bois de réaction		o
	Bosses	o	o
	Décroissance	o	o
	Cœur excentré		o
	Méplat	o	o
	Fentes		o
	Roulures		o
	Entre-écorce		o
Liés aux altérations biologiques	Echauffure et pourriture molle		o
	Tâche et veine de cœur		o
	Discoloration		o
	Bleuissement		o
	Dégâts d'insectes	o	o
	Piqûre noire ou blanche	o	o
	Trace de gui	o	o
	Chancre - Chaudron	o	o
Liés au débit et aux déformations géométriques	Flèche de face	Intervient après sciage	
	Flèche de rive		
	Gauchissement		
	Tuilage		
	Flache		
Autres défauts	Blessure	o	o
	Fente et trou d'abattage		o
	Gélivure	o	o
	Coup de foudre	o	o
	Corps étrangers	o	o
	Surface carbonisée	o	o
	Arbre sec	o	o



larités n'apparaissant qu'après sciage. Pour les autres, les bornes ont été définies par projection théorique des seuils de la norme sur des bois ronds sous écorce. Par exemple, l'implantation conique des nœuds s'est traduite par une tolérance en diamètre plus grande sur bois rond que sur bois scié.

Un tri supplémentaire a dû être réalisé entre les critères visibles sur grume et ceux déjà décelables au stade de bois sur pied. Cela a donné lieu à l'élaboration de deux classifications applicables à des étapes différentes du processus de valorisation des bois : l'une pour les bois abattus (grumes), l'autre pour les arbres avant exploitation (sur pied) (Cf. Tab. II)

Enrichissement du tableau de classement des bois sur pied grâce à un protocole de terrain

Parmi les critères visibles sur grumes, près de la moitié ne sont pas repérables au stade de bois sur pied. De ce fait, un travail spécifique a été mené sur le terrain afin d'enrichir le document de classement applicable aux bois sur pied. Son but était d'identifier des indicateurs de défauts internes décelables sur les tiges. Pour cela, une étude des arbres martelés a été menée sur des chantiers d'exploitation, avant et après coupe.

Chaque tige inventoriée sur pied a été qualifiée (dimensions, singularités, état sanitaire) et numérotée permettant, après exploitation, l'analyse comparée de ses caractéristiques visibles uniquement en grume. A partir de ces données, des corrélations entre éléments décelables sur l'arbre et défauts internes ont été établies et quantifiées. Ainsi des indicateurs pertinents ont été identifiés pour les critères suivants : pourriture interne, cœur excentré et bois de réaction. Ils ont fait l'objet de lignes supplémentaires dans le tableau de classification qui renforcent sa fiabilité.

Tab. II :
Visibilité sur bois ronds des critères de la norme
Fig. 9 :
Récurrence des défauts cités par les professionnels interrogés.

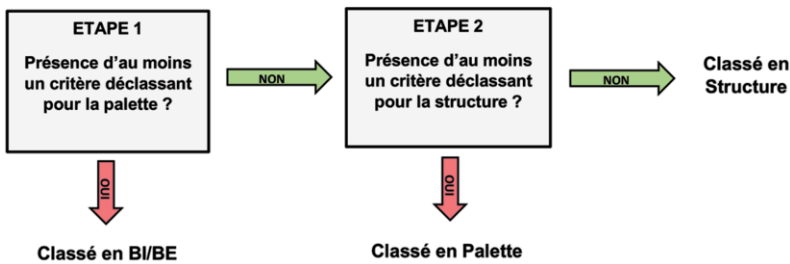
Mise en cohérence du tableau de classement avec les attentes des transformateurs du pin d'Alep

A la fin du processus d'élaboration de cet outil de classement, une trentaine de scieurs et exploitants ont été interrogés. Méthodologie de tri, critères prioritaires et seuils de tolérance ont été recueillis et comparés au prototype de classification fraîchement élaboré. La hiérarchisation de l'importance des défauts rapportée par les acteurs de la première transformation du bois doit s'appréhender eu égard à leurs contraintes prépondérantes : optimiser le rendement et vendre les produits. C'est ainsi que les défauts entraînant une perte de matière et une altération de l'aspect apparaissent plus importants que ceux qui diminuent la résistance mécanique. Ces derniers étant évidemment primordiaux, ils ont été conservés malgré les résultats de ces entretiens. Ces échanges n'ont donc pas remis en cause fondamentalement la première version du document, mais ils ont permis d'orienter la hiérarchisation des critères et de consolider les seuils proposés. Surtout, réaliser des entretiens avec les acteurs de la filière a été l'occasion de porter à connaissance le travail réalisé du côté des forestiers pour le développement de la filière pin d'Alep, d'évaluer les niveaux de motivation, et d'entrevoir des stratégies de collaboration avec les exploitants et les scieurs (Cf. Fig. 9).

Mise en forme de la méthode

Les trois documents qui composent l'outil de classement ont été présentés lors du colloque « Bâtir demain avec le pin d'Alep » du 12 juillet 2019 : tableau de référence, clé de détermination simplifiée, guide d'aide à la reconnaissance des critères.

L'élément central est la clé de détermination. Elle répond à une commande spécifique d'un outil simple et utilisable par les forestiers de terrain pour qualifier les bois. Ce document, qui tient sur une feuille au format A4, reprend l'ensemble des paramètres du tableau de référence spécialement ordonnés pour minimiser le temps d'analyse. La clé fonctionne selon le principe des critères déclassants, des plus grossiers aux plus fins. Composée de deux parties correspondant aux deux types de débouchés de bois d'œuvre identifiés (palette et structure), elle propose



le processus de réflexion suivant : face à une grume ou à un pin d'Alep sur pied, on se pose d'abord la question d'une possible valorisation en bois d'œuvre palette. Si et seulement si c'est le cas, on s'interroge sur ses aptitudes à être mis en œuvre en structure. Il suffit que l'un des critères soit recensé pour stopper l'analyse. Cette méthode exclut toute observation superflue (Cf. Fig. 10).

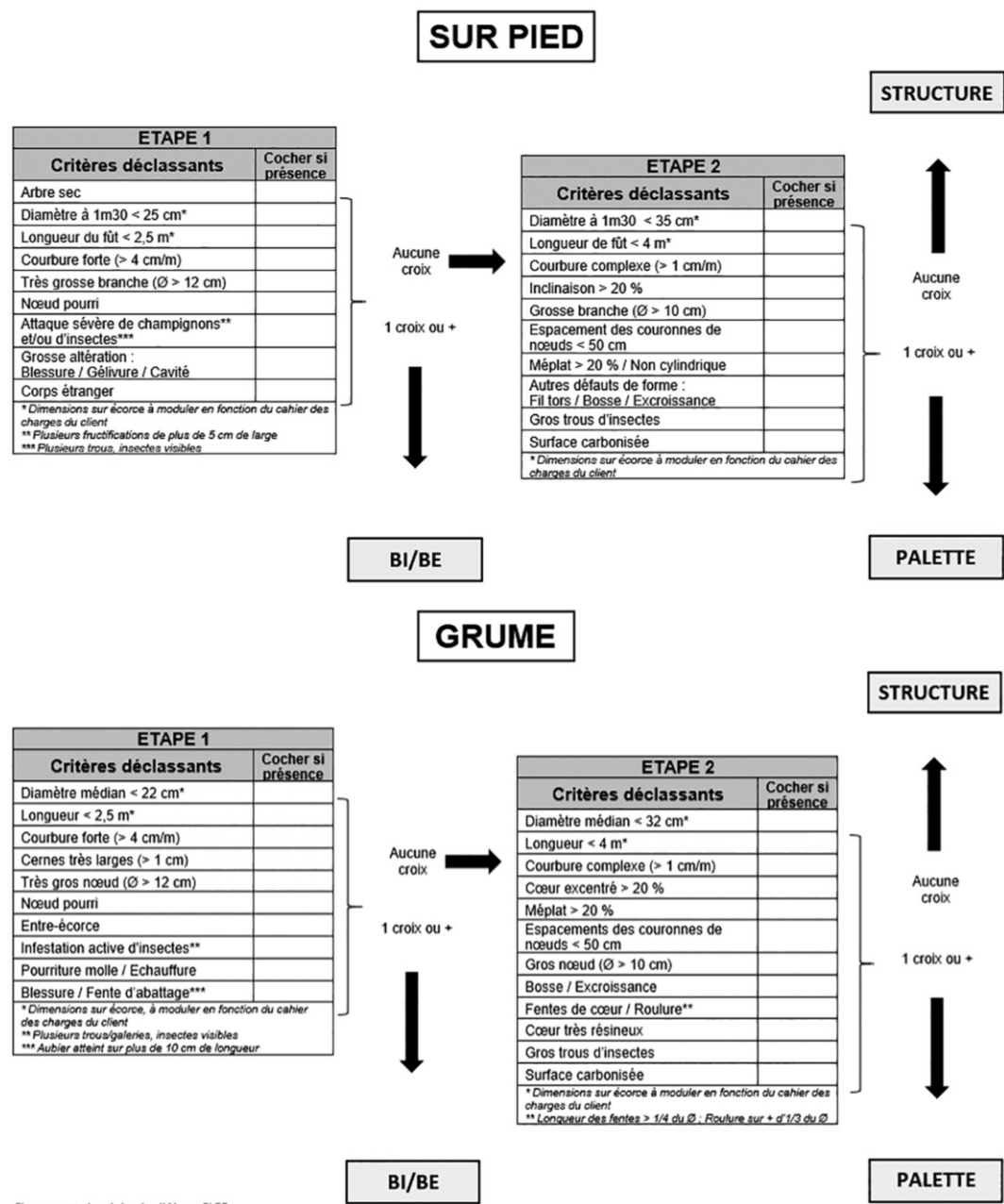
Toujours dans un souci d'optimisation de la rapidité de classement, à chaque étape, les critères ont été hiérarchisés selon un compromis entre probabilité d'apparition et visibilité : les défauts immédiatement décelables à distance de l'arbre ou de la grume apparaissent au début du processus, de même que ceux très fréquents. A l'inverse, ceux qui nécessitent une observation plus attentive auprès du tronc ou qui sont très rares sont en bas du tableau (Cf. Fig. 11).

Cette clé s'accompagne d'un guide de reconnaissance des critères. Ce document, illustré de photographies annotées, définit chaque défaut, explicite les seuils et propose des méthodes de mesure. Il affiche également une série d'exemples d'arbres classés selon les trois catégories de qualité. Il a été réalisé afin de lever les possibles ambiguïtés et les divergences d'interprétation de la clé. Il permet ainsi de minimiser « l'effet opérateur » lors du tri, et donc d'en améliorer l'uniformité des résultats selon les opérateurs. Ce dernier point est essentiel pour la construction d'une chaîne de valorisation des pins d'Alep en bois d'œuvre réellement bénéfique pour tous les professionnels impliqués, en évitant les tensions provoquées par des estimations divergentes, qui entraînent forcément des manques à gagner pour certains maillons.

Jusqu'à présent, l'absence de méthode commune de classement des pins d'Alep, aboutit à une appréciation aléatoire de la part de bois d'œuvre oscillant entre 0 et 20 % des plus sceptiques aux plus optimistes (CHANDIOUX, 2015).

Fig. 10 : Schéma de fonctionnement de la clé de détermination : principe du critère déclassant.

Fig. 11 :
Clefs de détermination
du bois d'œuvre
de pin d'Alep.



Classement visuel du pin d'Alep - CLEF

Marion SIMEONI
Ingénieure FIF
AgroParisTech-ENSTIB
ONF Agence Bouches-
du-Rhône – Vaucluse
1175 chemin
du Lavarin
84 000 AVIGNON
marion.simeoni@
onf.fr

L'application de ce classement sur les premiers échantillons analysés en 2019 dégage les chiffres suivants : moyenne de 30 % pour le Bois d'œuvre Palette (BOP) et de 8 % pour le Bois d'œuvre Structure (BOS). Ces résultats proviennent d'un inventaire précis réalisé sur une dizaine de coupes prévues dans des forêts des Bouches-du-Rhône et de Vaucluse. Seules les tiges martelées dans des éclaircies d'amélioration (censées conserver les plus beaux arbres) ont été classées. Cet inventaire ne reflète donc pas la qualité globale de ces peuplements, qui devrait être plus élevée, mais bien celle des lots de bois issus de coupes d'amélioration. L'échantillonnage ne permet évidemment pas de tirer des conclusions sur l'ensemble des forêts de pin d'Alep de la région méditer-

ranéenne française, mais il met en évidence une tendance générale à la sous-estimation de la part réelle de qualité des bois (Cf. Photo 1).

Ce qui caractérise les forêts de pin d'Alep en termes de qualité des bois (comme bon nombre d'essences forestières puisque les variations stationnelles existent partout) est l'importante variabilité des proportions de bois d'œuvre d'une parcelle à l'autre. En effet, en conséquence de la fertilité offerte par la station (sol, climat, topographie) et de la sylviculture appliquée, de fortes disparités apparaissent selon les situations des peuplements.

Ce constat témoigne de la nécessité de concentrer les efforts dans les secteurs où cela en vaut la peine. Pour cela, l'enjeu est

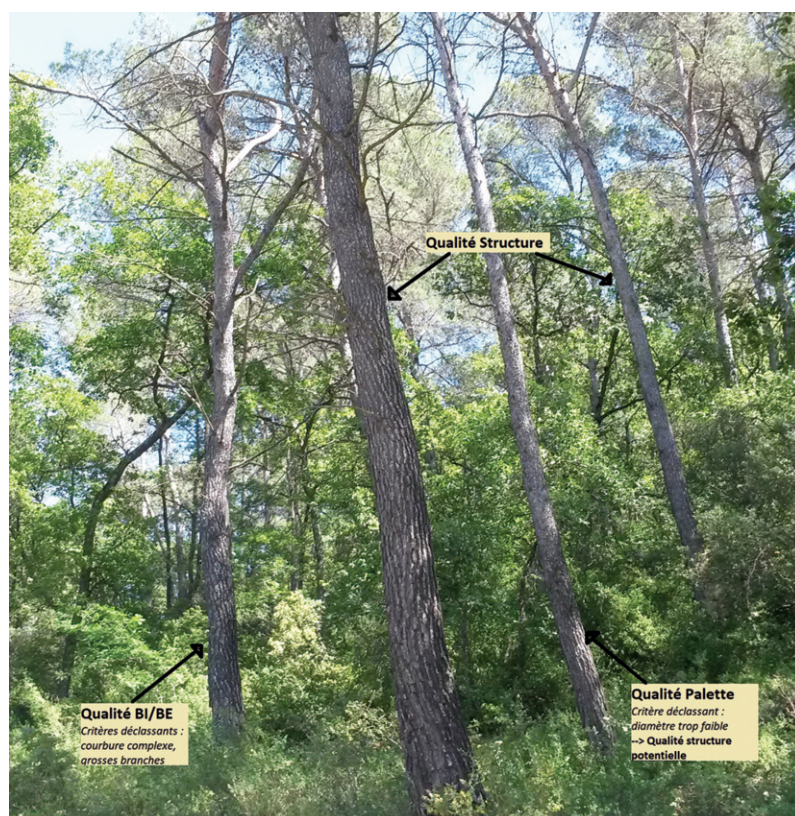
d'identifier le potentiel. C'est en parvenant à montrer des exemples d'investissements rentabilisés, qu'une dynamique positive pourra s'enclencher vers la création d'une filière bois d'œuvre de pin d'Alep. Cette dernière doit être calibrée selon les possibilités de la ressource. Il ne s'agit pas de promouvoir systématiquement une sylviculture très interventionniste et un tri coûteux car si la situation stationnelle est médiocre, les résultats en termes de qualité seront décevants. Et c'est le développement de la filière qui risque d'en pâtir puisque toute mauvaise expérience ternit l'image du pin d'Alep, tout juste réhabilité parmi les bois de structure. Le repérage des secteurs à potentiel peut être l'occasion de mettre en application les outils développés au cours de ces six mois d'études, du massif à la grume : localiser les forêts denses grâce aux images satellites, prédire leur capacité à produire du bois d'œuvre grâce aux modèles de croissance et enfin, reconnaître cette qualité grâce à la norme de classement.

L'élaboration de ces outils en lien avec de nombreux professionnels de la filière, aura permis de rendre compte d'une belle dynamique autour du pin d'Alep, animée par beaucoup d'acteurs motivés. Il ne manque plus que de la collaboration et un peu d'audace pour que des constructions en bois local voient le jour.

M.S.

Bibliographie

- ABDOU B., HUETE A., 1995. A review of vegetation indices, *Remote Sens. Rev.*, vol. 13, p. 95-120.
- BEC R., 2020. Le carbone, un levier pour développer les sylvicultures du pin d'Alep ?, *Forêt Méditerranéenne. A paraître.*
- DREYFUS Ph., 2001. Construction de modèles de croissance pour les peuplements réguliers à partir de données dendrométriques de l'IFN. *Revue Forestière Française*, tome LIII, n°3-4.
- CHANDIOUX O., 2015. Valoriser le pin d'Alep : synthèse documentaire. France Forêt Provence-Alpes-Côte-d'Azur.
- CHARLET A., DEL REY P., GRATEAUD A., IGOA G., MARTIN M-L., MERCIER C., PILLET S., REVERDY R., SIMEONI M., WOLFF L., 2018. Identification et développement d'outils pour la valorisation des peuplements de pin d'Alep. Rapport de projet, AgroParisTech.
- CHOMEL F., 2015. Regard sur les itinéraires sylvicoles du pin d'Alep : Modéliser pour optimiser. Mémoire de stage de fin d'études. AgroParisTech.



- CHOMEL F., CHANDIOUX O., LE COURBE A., 2016. La validation d'un modèle de croissance au service d'une réflexion sur la sylviculture du Pin d'Alep. *Revue Forestière Française*, tome LXVIII, n°3.
- CIAMPI A., THIFFAULT J., SAGMAN U., 1988. Evaluation de classifications par le critère d'Akaike et la validation croisée. *Revue de statistique appliquée*, tome 36, n°3, p 33-50.
- HATCHIGUIAN N., FABREGUE L. 2016. Rapport d'homologation du pin d'Alep en structure. CERIBOIS
- IFN, 2017. Disponibilités en bois des forêts de Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) à l'horizon 2035. Rapport, tome 1.
- LANCELOT R., LESNOFF M., 2005. Sélection de modèles avec l'AIC et critères d'information dérivés. CIRAD, Montpellier, academia.edu.
- PILLET S., 2019. Etat des lieux des potentialités et limites de la télédétection pour la gestion forestière privée. Mémoire de fin d'études, AgroParisTech.
- POSS Y., 2007. Le prix de la tranquillité. *Revue Forestière Française*, tome LIX, p. 649-658.
- PREVOSTO B., coordinateur, 2013. *Le pin d'Alep en France 17 fiches pour connaître et gérer.* Guide pratique. Edition QUAE. 2013.
- SIMEONI M., 2019. Développement d'outils pour la valorisation du pin d'Alep: de la ressource estimée par massif à la qualité évaluée par arbre. Mémoire de fin d'études, AgroParisTech – ENSTIB.
- TRESMONTANT D., QUESNEY T., 2014. Mémento sylvicole : pinèdes de pin d'Alep. Office National des Forêts.
- VIDAL R., 1992. Emploi du pin d'Alep: essai de lamellation-collage. *Forêt Méditerranéenne*, tome XIII, n°3, p. 292.

Photo 1 :
Exemple de peuplement fréquent présentant les trois qualités de pin d'Alep.
Photo Marion Siméoni.

Résumé

Sylviculture et bois d'œuvre de pin d'Alep : des clefs pour passer de l'envie à la réalité

Alors que le pin d'Alep est à nouveau considéré à part entière comme une ressource en bois d'œuvre grâce à son intégration récente dans la norme des bois de structure NF B52-001-1, sa transformation réelle en éléments de construction reste rare du fait d'une filière encore en cours de structuration. Pour contribuer à la dynamique positive qui va dans le sens d'une collaboration entre acteurs de la filière forêt-bois du sud-est de la France pour valoriser cette ressource locale, les outils techniques présentés dans cet article ont été élaborés au cours d'un stage de fin d'études AgroParisTech-ENSTIB mené en 2019. Il vient conclure le projet DOPALEP (Développement d'Outils Partagés pour la sylviculture de Pin d'Alep de qualité), débuté en 2016 et financé par le LabEx Arbre. Dans l'esprit de coopération entre acteurs de toute la filière qui a animé ce programme, le stage a été co-supervisé par le bureau d'étude forestier privé Alcina Forêt et l'Office national des forêts, et les outils qui en sont le fruit trouvent une application à différents maillons de la chaîne de valorisation du pin d'Alep : de la ressource estimée par massif à la qualité évaluée par arbre.

Cet article relate la démarche qui a permis d'identifier les étapes clés à faciliter, les moyens techniques à mobiliser pour cela et les résultats concrets de cette réflexion qui prennent la forme d'outils opérationnels destinés principalement aux gestionnaires et propriétaires forestiers.

Summary

Silviculture and Aleppo pine timber: key factors for turning hope into reality

While Aleppo pine is once again considered as a fully-fledged timber resource thanks to its recent integration into the NF B52-001-1 Structural Timber Standard, its actual transformation into building components remains rare – especially due to a sector still undergoing a structuring process. To contribute to the positive dynamic pushing in the direction of collaboration between stakeholders focused on developing this local resource in the forest-wood sector in South-East France, the technical tools described in this article were developed during an AgroParisTech-ENSTIB end-of-studies internship completed in 2019. It closes the DOPALEP project (Development of Shared Tools for Quality Aleppo Pine Silviculture), started in 2016 and funded by the LabEx Arbre. Inspired by the spirit of cooperation between stakeholders of the entire industry that has characterized this program, the internship was co-supervised by the private forestry consultancy Alcina Forêt and the French National Forestry Commission (ONF). Thus, the resulting tools have direct application to various links in the chain of profitable uses of the Aleppo pine: from the estimated resource by massif to single-tree quality assessment.

This article highlights the process that led to identifying the key steps that should be facilitated, the technical means for achieving such mobilization, and the concrete finality of this undertaking in the form of operational tools primarily intended for forest managers and owners.

Riassunto

Silvicoltura e legname di pino d'Aleppo : strumenti nuovi per passare dalla voglia alla realtà

Sebbene il pino d'Aleppo venga di nuovo considerato a pieno titolo come una risorsa di legname grazie alla sua inclusione nella norma francese dei legnami da costruzione NF B52-001-1, la sua lavorazione reale in elementi strutturali rimane rara a causa di una filiera ancora in fase di costituzione. Per contribuire a questa dinamica positiva che va nel senso di una collaborazione tra operatori della filiera foresta-legname del Sud-Est della Francia per valorizzare questa risorsa locale, gli strumenti tecnici presentati in questo articolo sono stati elaborati durante un tirocinio finale AgroParisTech-ENSTIB svolto nel 2019. Viene concludere il progetto DOPALEP (Sviluppo di Strumenti Condivisi per la Selvicoltura di Pini d'Aleppo di Qualità), iniziato nel 2016 e finanziato da LabEx Arbre. Nello spirito di cooperazione tra operatori di tutta la filiera che ha animato questo programma, il tirocinio è stato co-supervisionato dall'ufficio di studi forestale privato Alcina Forêts e dall'Office National des Forêts, e gli strumenti che ne sono il frutto trovano applicazione in varie fasi della catena di valorizzazione del pino d'Aleppo : dalla risorsa stimata per area di foresta alla qualità valutata per albero.

Questo articolo ripercorre l'approccio che ha permesso di identificare gli fasi chiave a facilitare, i mezzi tecnici di mobilitare a tal fine, e i risultati concreti di questa riflessione che assumono la forma di strumenti operativi destinati principalmente ai gestori e proprietari forestali.