



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Livrable 2

# Etat de l'art sur la gestion forestière en zone méditerranéenne des sites étudiés (L3)



**Emmanuel GARBOLINO – CRC / ARMINES**

Décembre 2018



## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| Remerciements .....  | i  |
| 1. Cadre et objectif de l'étude.....   | 1  |
| 2. Principes et méthodes de gestion durable des forêts méditerranéennes. Liens avec la filière bois-énergie..... | 2  |
| 2.1. Contexte général .....  | 2  |
| 2.2. Gestion durable des forêts .....  | 4  |
| 2.3. La production de bois dans le Var : liens avec la filière bois-énergie.....                                 | 6  |
| 3. Gestion durable des forêts – Principes généraux.....  | 7  |
| 4. Gestion forestière orientée vers la filière bois-énergie .....  | 14 |
| 5. Préconisations de l'ONF pour la gestion forestière en zone méditerranéenne.....                               | 20 |
| 6. Gestion des sites de l'étude .....  | 22 |
| 6.1. Parcelles forestières de Camp Bourjas (Collobrières, 83043) .....   | 22 |
| 6.2. Massif de La Colle Noire (Le Pradet, 83220) .....   | 26 |
| 6.3. Bois de Courbebaisse (Le Pradet, 83220).....  | 29 |
| 7. Conclusion et recommandations.....  | 29 |
| 8. Références.....   | 31 |

## Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements au personnel de l'Office National des Forêts (ONF) pour les échanges et les références qu'ils m'ont très aimablement mises à disposition.

En particulier, mes remerciements vont à :

- Monsieur **Alexandre Grün** (Technicien Forestier Territorial Triage de Capelude, Unité territoriale Toulon Provence/Pays des Maures) ;
- Monsieur **Florent Battiston** (Responsable du service Bois, Agence Territoriale Alpes-Maritimes – Var) ;
- Monsieur **Thierry Quesney** (Pôle Système d'Information, Avignon) ;
- et à Monsieur **Julien Bouillie** (Chef du service foret - adjoint du Directeur, Agence territoriale Alpes-Maritimes Var).

## 1. Cadre et objectif de l'étude

Le projet piloté par l'UMR 7300 ESPACE CNRS, a pour objectif d'étudier le potentiel de la forêt méditerranéenne et du milieu péri-urbain pour limiter les ruissellements pouvant conduire à des inondations. Les communes du Pradet et de Collobrières seront sélectionnées pour déterminer les sites pilotes de cette recherche.

Dans le cadre de ce projet, aux côtés des travaux et des résultats de modélisation hydrauliques assurés par l'UMR 7300 ESPACE, une attention particulière a été portée par ARMINES-CRC sur la contribution des modes de gestion de la forêt dans la filière bois-énergie. L'objectif sera d'évaluer le potentiel de cette ressource en prenant en compte le maintien, voire le développement, des services écosystémiques de prévention des inondations.

Le présent livrable concerne l'état de l'art sur la gestion forestière en zone méditerranéenne des sites étudiés (L3) : ce livrable est le fruit de rencontres et d'échanges avec les membres de l'ONF (Office National des Forêts) qui sont en charge de la gestion des parcelles forestières, mais également de missions de terrain ayant permis d'étudier finement l'écologie des forêts concernées par l'étude et d'une revue bibliographique au niveau régional, national et international.

Le lien avec les différents usages du bois et, en particulier, avec la filière bois-énergie est également réalisé en raison des besoins des différentes parties prenantes du secteur d'étude et des orientations de la politique actuelle de transition écologique et énergétique qui favorise la valorisation énergétique du bois (coupes et résidus).

## 2. Principes et méthodes de gestion durable des forêts méditerranéennes. Liens avec la filière bois-énergie

Dans cette partie, nous présentons des éléments relatifs au contexte territorial de l'étude et de la gestion des espaces forestier. La dernière partie présente quelques chiffres concernant le développement de la filière bois-énergie dans le département du Var.

### 2.1. Contexte général

Le département du Var est le deuxième département le plus boisé de la France métropolitaine avec un taux de boisement de 65%. Il regroupe 388.000 ha de forêts. La croissance annuelle moyenne des forêts est de 13%. Dans ce département 70% des surfaces forestières sont privées (271.00 ha), 8% sont des forêts domaniales (29.000 ha) et 22% appartiennent à des collectivités territoriales (87.000 ha).

La Directive et le Schéma Régional d'Aménagement PACA font le point sur les milieux forestiers en PACA et sur les modes d'exploitation de ces derniers selon les objectifs des gestionnaires (usages du bois et conservation des milieux). Ils prennent en compte les facteurs écologiques des peuplements forestiers (ainsi que la faune) pour proposer des recommandations sylvicoles. Ils rassemblent aussi les principales décisions applicables au territoire concerné pour les différents modes de gestion des massifs forestiers et les critères liés à la gestion foncière et à la prévention des risques naturels (crues torrentielles, ravinement, chute de blocs, incendies etc.).

Dans ces documents plusieurs informations sont délivrées notamment sur la gestion actuelle et le devenir des peuplements forestiers. Les secteurs qui ont été étudiés concernent les localités et les types de végétations suivants :

- Les massifs forestiers de **Camp Bourjas** (Collobrières, 83043) : ce secteur comprend des bois naturels et des taillis à *Quercus suber*, *Arbutus unedo*, *Pinus pinaster* et des bois plantés par l'ONF à *Pinus pinaster* et à *Cedrus atlantica* ;
- Les massifs forestiers du **massif de La Colle Noire** (Le Pradet, 83220) : il s'agit d'un massif comprenant un maquis dense (avec des pieds de chêne liège et de pin d'Alep) et des bois à *Quercus suber* souvent en mélange avec *Pinus halepensis* ;
- Le **bois de Courbebaisse** (Le Pradet, 83220) : il s'agit d'une pinède thermoméditerranéenne à *Pinus halepensis* densément peuplée en sous-bois par des espèces arbustives.

Au niveau des peuplements forestiers, nous ne citerons ici que des informations relatives aux essences observées dans les sites sélectionnés pour le projet.

La Directive et le Schéma Régional d'Aménagement PACA mentionnent que les cèdres de l'Atlas et les feuillus ne connaissent pas pour l'instant de grandes difficultés du point de vue phytosanitaire en zone de Préalpes. La cédraie couvre assez peu de surfaces et pourrait être amenée à s'étendre en zone de montagne. En zone plus littorale, le cèdre cohabite avec des chênes lièges et peut constituer des massifs mélangés.

En zone littorale, l'ONF constate que les chênes pubescents se régénèrent sous les pins d'Alep, ce qui correspond à un schéma évolutif classique de la chênaie pubescente méditerranéenne. Le chêne vert colonise aussi ces espaces qui correspondent le plus souvent à des zones de déprise rurale. Ces peuplements de feuillus tels que le chêne blanc et d'arbres sclérophylles tels que le chêne vert sont souvent des taillis dont des actions de balivage peuvent être conduites avec la mise en œuvre

d'éclaircies. Ces travaux sont souvent effectués dans des zones d'accueil du public pour améliorer la qualité paysagère des sites.

Le développement du chêne liège, quant à lui, a été particulièrement favorisé les siècles précédents, en particulier pour des activités liés à l'extraction du liège par démasclage pour la fabrication de bouchons. Les peuplements se trouvent fréquemment dans un état médiocre pour envisager leur exploitation. Cet arbre subit la compétition du maquis et connaît des difficultés pour se régénérer dans ce type de milieu dense. Dans les situations d'adret sa croissance est souvent limitée, sauf lorsque d'autres essence comme les pins d'Alep lui permettent de bénéficier d'un couvert ombragé. Dans les secteurs plus frais il est possible de stimuler sa croissance par des actions d'éclaircies autour des pieds.

Le développement de la faune, en particulier les sangliers et les chevreuils, présentent une pression sur les peuplements forestiers, ce qui nécessite généralement des actions de régulation par la chasse. Notons que ces actions peuvent parfois être source de conflits avec les populations environnantes qui peuvent être hostiles à la pratique de la chasse.

La forêt constitue un élément important de la prévention et de l'atténuation de certains phénomènes à risques, ce qui nécessite de toujours replacer les modes de gestion dans la perspective de conservation de services écosystémiques limitant les risques. Par ailleurs, la forêt est elle-même exposée à ces risques dont le principal est celui d'incendie qui constitue aussi un facteur d'aggravation des autres risques en raison de la réduction du couvert végétal : la diminution du couvert végétal favorise l'impact direct des gouttes d'eau lors des orages, qui peuvent d'ailleurs être particulièrement violents, ce qui accentue les risques de ruissellement, d'érosion, de glissement superficiel de terrain, de chute de blocs etc. A côté des actions de prévention (information préventive au public et responsables publics et privés des espaces forestiers), de vigilance et d'intervention, les actions de gestion sont préconisées dans le but de limiter la vulnérabilité des massifs aux incendies. Parmi ces actions le débroussaillage et l'élagage, ainsi que les coupes sélectives, permettent de réduire le risque d'incendie par une réduction de la biomasse susceptible de prendre feu (Catry *et al.*, 2012). Il est également possible de réaliser des actions de dépressage permettant aux arbres, en particulier aux conifères, d'avoir une croissance apicale plus importante et limiter ainsi le développement d'un sous-bois propice à l'éclosion des incendies. En effet, ces sous-bois peuvent comporter des organes secs (petits rameaux) ainsi que du combustible représenté par du bois mort (issus des arbres et arbustes) et des herbacées sèches, favorisant ainsi l'éclosion et la propagation des incendies. Ces travaux sont préconisés par l'ONF sur des secteurs facilement accessibles pour les engins alors que les espaces les plus pentus et les fonds de vallons sont laissés en l'état. La question de la valorisation des travaux forestiers reste aussi un point à prendre en compte pour tenter de commercialiser la biomasse ainsi récoltée lorsque cela est possible, ce qui peut aider au développement des activités d'extraction de la biomasse et de prévention des incendies.

Les documents d'orientation mentionnent aussi la nécessité de prendre en compte le changement climatique dans les orientations de gestion des forêts, confortant ainsi le développement des travaux de prospective en écologie forestière. Parmi les travaux auxquels nous avons participé concernant l'impact potentiel du changement climatique sur les espaces forestiers en méditerranée, nous pouvons citer :

- Garbolino *et al.*, 2014, 2016 et 2017 : Ces travaux concernent la Corse et ont montré une extension possible des zones propices aux incendies de forêts dans les vallées internes et en altitude (260m environ) d'ici 2100. Ils ont montré aussi un possible remplacement des zones boisées par des ligneux bas de type maquis sur les zones les plus méditerranéennes et dans certaines zones de collines ;

- Garbolino *et al.*, 2017 : Ces travaux, réalisés dans les Alpes-Maritimes, montrent un possible déclin des populations d'arbres mésophiles au profit des espèces plus thermophiles, y compris des arbustes constituant les maquis, les garrigues et les landes d'altitudes, d'ici 2050. La modélisation de la dynamique urbaine au niveau du département permet, quant à elle, d'identifier les secteurs qui pourraient bénéficier du développement de la filière bois-énergie dès à présent et jusqu'à 2050 ;
- Garbolino *et al.*, 2019 (en cours d'édition) : Cette recherche concerne les 15 départements méditerranéens sélectionnés par rapport à ceux pris en compte dans la base de données Prométhée (<http://www.promethee.com/>) qui recense les incendies et les départs de feux de ces départements depuis 1973. Elle montre déjà l'extension possible des surfaces qui seront potentiellement exposées aux risques d'incendie d'ici à 2050 et les conséquences de ces risques sur le développement de la filière bois-énergie.

Enfin, la gestion des espaces forestiers doit aussi prendre en compte la protection des espèces remarquables, des milieux et de la biodiversité dans son ensemble. Cet aspect revêt une attention particulière car la biodiversité est source de services écosystémiques.

L'ensemble de ces considérations est intégré dans les critères permettant d'établir une gestion durable des forêts.

## 2.2. Gestion durable des forêts

Le principe de gestion durable des forêts a été introduit en 1993 par la Résolution H1 de la conférence d'Helsinki. Elle a été définie ainsi : « *La gestion durable signifie la gérance et l'utilisation des forêts et des terrains boisés, d'une manière et à une intensité telles qu'elles maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire, actuellement et pour le futur, les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes, aux niveaux local, national et mondial ; et qu'elles ne causent pas de préjudices à d'autres écosystèmes.* »

Cette conférence a introduit 6 critères de gestion durable que la France a souhaité publier dès 1995 et mettre à jour tous les 5 ans depuis cette date :

- Critère n°1 : conservation et amélioration appropriée des ressources forestières et de leur contribution aux cycles mondiaux du carbone ;
- Critère n°2 : maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers ;
- Critère n°3 : maintien et encouragement des fonctions de production des forêts ;
- Critère n°4 : maintien, conservation et amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers ;
- Critère n°5 : maintien et amélioration appropriée des fonctions de protection de la gestion des forêts (notamment sols et eau) ;
- Critère n°6 : maintien d'autres bénéfices et conditions socio-économiques.

L'ONF applique également ces principes pour la gestion des espaces forestiers qui lui incombent avec l'objectif de promouvoir le développement des zones boisées et des activités afférentes au développement des territoires, en particulier des territoires ruraux.

Ces critères sont repris aussi dans le processus de certification PEFC (Pan European Forest Certification – Certification paneuropéenne des forêts / Programme de reconnaissance des certifications forestières). Les exploitants forestiers (entreprises, collectivités ou propriétaires) sont de plus en plus nombreux à être certifiés PEFC.

Cette certification a pour objectif de garantir les fonctions environnementales, sociétales et économiques des forêts exploitées. Pour cela, elle s’applique sur la certification forestière et la certification des entreprises qui transforment le bois afin d’assurer la traçabilité de la matière dans la partie de la chaîne logistique allant jusqu’à l’usage du bois (figure 1).

Les critères pris en compte par la certification PEFC concernent le respect des milieux forestiers, de la biodiversité, des facteurs du milieu (préservation des sols, protection des ouvrages hydrauliques etc.), des exigences réglementaires (en particuliers sur les sites protégés par la réglementation), des paysages, la prévention des risques naturels, la prévention en santé et sécurité au travail etc. Parmi les modes de prélèvement des grumes, la certification PEFC insiste sur les dégagements sélectifs plutôt que non sélectifs.

Elle prend en compte aussi la proscription des produits phytosanitaires à proximité des cours d’eau et d’autres produits phytosanitaires sur les végétaux sauf en cas de menace avérée nécessitant le recours à ces produits.





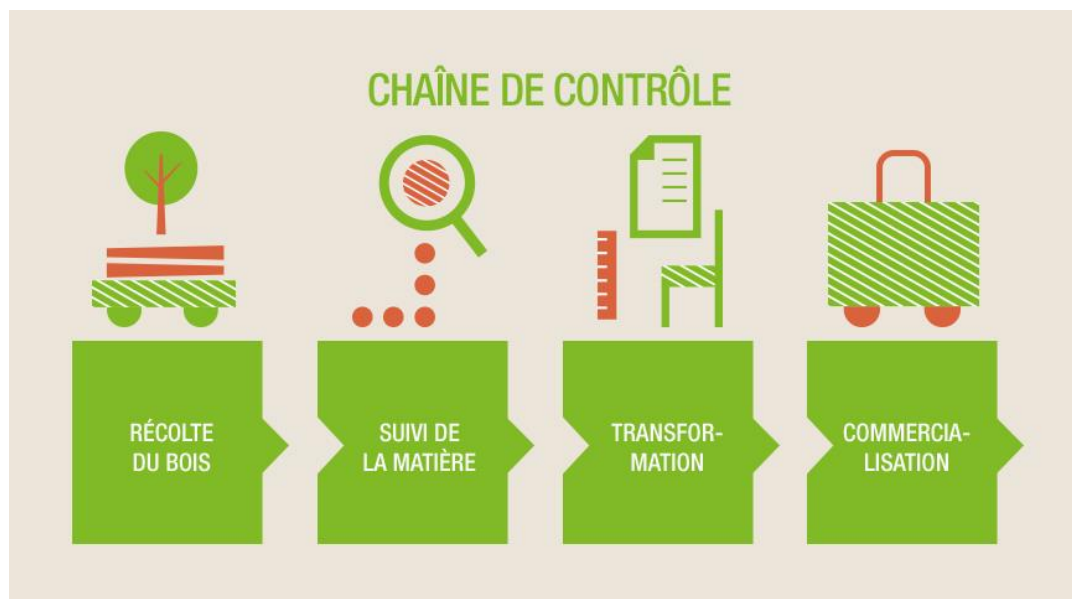


Figure 1 : Les 4 étapes de la certification PEFC et la chaîne de contrôle des entreprises (source : <https://www.pefc-france.org>).

Dans le département du Var on comptait, en 2017, 55 propriétaires et 17 communes certifiées PEFC. Environ 65.000 ha de forêts sont certifiés PEFC dans le Var, ce qui représente 17% des surfaces forestières.

La production de bois est un axe stratégique pour l'ONF et pour certains acteurs territoriaux tels que les communes forestières et les entreprises dont les activités concernent les divers usages du bois. Cette production de bois est en revanche très hétérogène en quantité et en qualité selon les territoires français.

### 2.3. La production de bois dans le Var : liens avec la filière bois-énergie

La filière bois est assez peu développée dans le Var en comparaison à d'autres régions et départements français. En 2017, la récolte de bois était d'environ 180.000t (dont 44.000t certifiées PEFC).

Les usages industriels sont principalement représentés par l'industrie papetière située à Tarascon (Département des Bouches-du-Rhône) et concernent environ 77.000t de bois prélevés dans le Var. Depuis 2017, les prélèvements de bois dans le département du Var se sont accrus et ce, en relation directe avec le développement de la filière bois-énergie stimulée par la mise en route de la centrale Sylvania de l'entreprise INOVA située à Brignole (puissance de 20 MW électrique). Cette centrale prévoit d'utiliser 180.000 t/an de bois pour la production d'électricité dans le Var. Cette production d'électricité équivaut à l'alimentation de 42.000 foyers. Le plan d'approvisionnement de cette centrale comprend 78% de bois forestier et 22% de bois de classe A (bois non traité issu des sous-produits de la transformation du bois brut, bois secs non-traités et non peints, palettes, cagettes, planches, caisses, cageots, bois d'emballages etc.). L'impact socio-économique de ce projet concerne 20 emplois directs et plus d'une centaine indirects. D'autres systèmes bois-énergie sont en opération et ils représentent environ 40 chaufferies dans le département du Var.

D'autres systèmes de production sont au stade de projet ou en cours de construction et représentent environ 60 futures installations (figure 2).

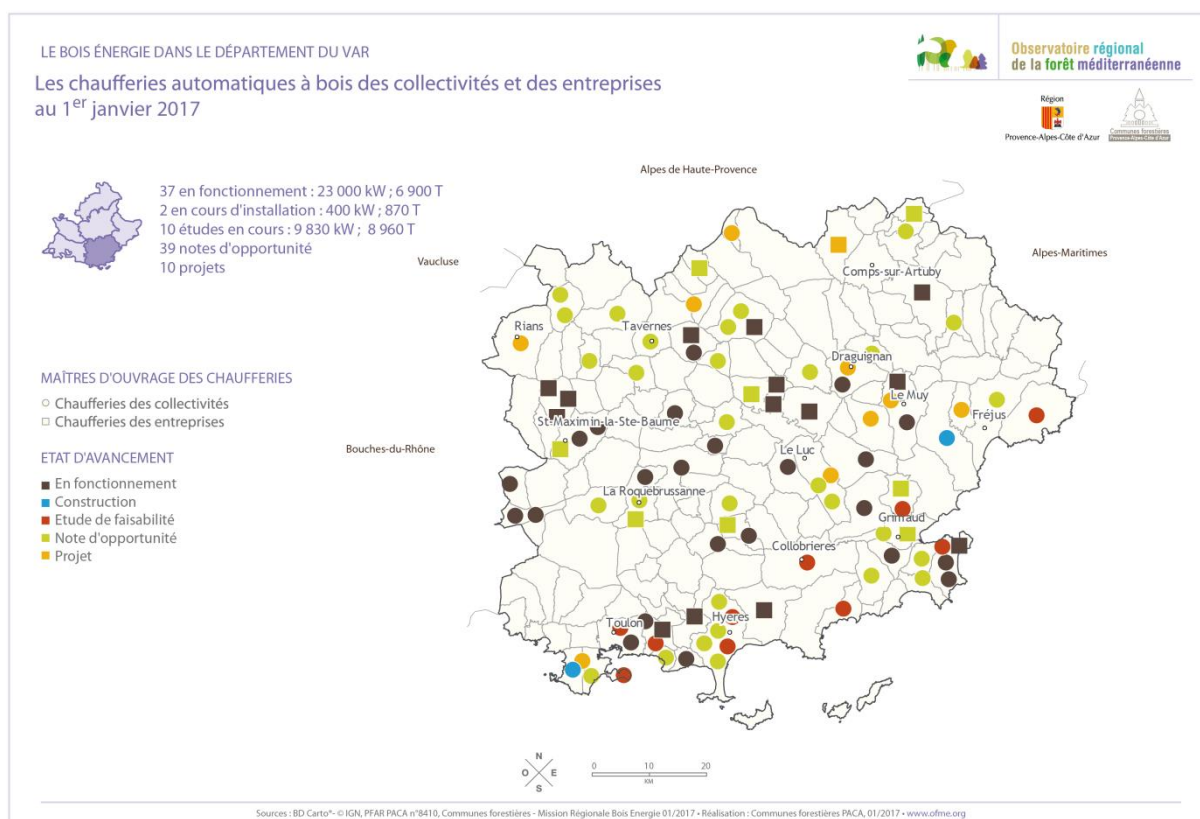


Figure 2 : Cartographie des chaufferies automatiques à bois et des projets dans le département du Var (source : Observatoire Régional de la forêt méditerranéenne).

La certification PEFC, appliquée notamment à la filière bois-énergie, ainsi que les préconisations évoquées dans les précédents paragraphes ont pour objectif d'influencer les modes de gestion des espaces forestiers méditerranéens pour les inscrire dans une perspective de durabilité et de résilience face aux changements globaux. La partie suivante présente les éléments concernant la gestion durable de la forêt méditerranéenne.

### 3. Gestion durable des forêts – Principes généraux

La croissance et le développement des espèces végétales sont fondamentalement liés aux paramètres de l'environnement suivants :

- La lumière ;
- La concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> ;
- Une température de l'air et du sol adéquate pour l'espèce ;
- Un niveau de précipitations et d'humidité de l'air et du sol couvrant les besoins en eau de l'espèce ;
- Des ressources en nutriments suffisantes dans les sols.

Selon leur écologie, les espèces végétales devront puiser des ressources de façon plus ou moins importantes pour satisfaire les différentes phases de leur cycle de vie (germination, croissance apicale

et croissance radiale, reproduction, sénescence et mort), ces phases pouvant varier en durée de façon significative selon les espèces ligneuses.

La gestion des forêts revêt plusieurs objectifs qui sont souvent complémentaires ou parfois antagonistes (réserve naturelle, lutte contre l'érosion des sols, production de bois, réduction de la biomasse pour limiter les risques d'incendies etc.). La difficulté est de faire coexister dans un même espace ces différents objectifs lorsque cela est possible, tout en assurant aux espèces végétales l'accès aux facteurs du milieu leur permettant de se développer.

Selon Routa *et al.*, 2013, la gestion des espaces forestiers, en particulier à des fins énergétiques, doit prendre en compte les conditions environnementales du site et le type de génotype des espèces utilisées. C'est l'interaction entre ces trois éléments (gestion, génétique, environnement) qui permettent d'optimiser la production de biomasse (figure 3).

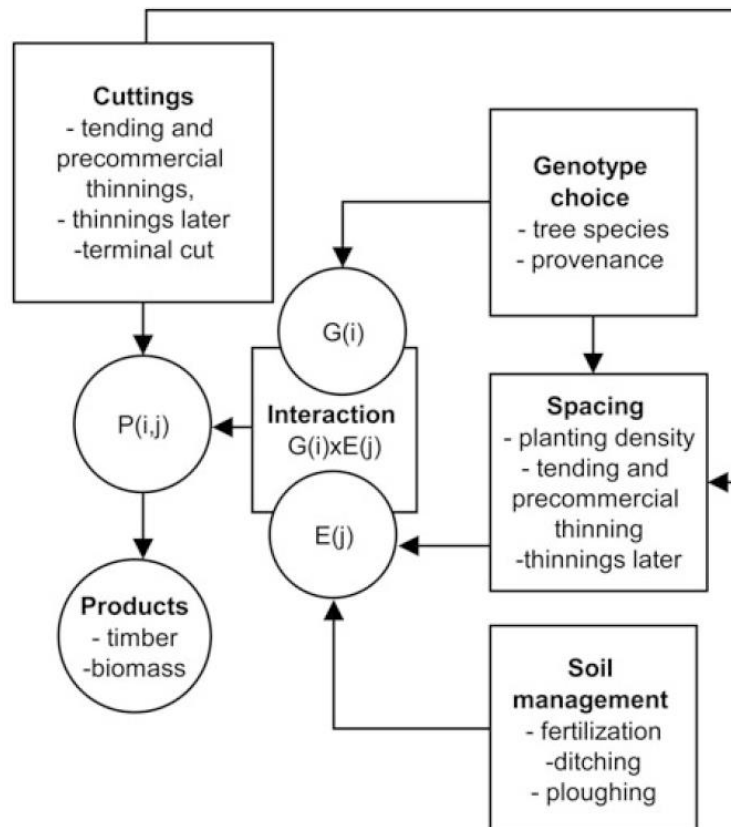


Figure 3 : Effet de la gestion forestière sur l'interaction entre le génotype et l'environnement pour la production de biomasse ligneuse (Routa *et al.*, 2013).  $G(i)$  = propriétés génétiques des populations ;  $E(j)$  = propriétés du site ;  $P(i,j)$  = productivité.

La gestion de ces espaces forestiers s'applique à la fois aux zones naturelles et aux plantations, aux parcelles privées et aux domaines publics. En Europe, les forêts dites naturelles concernent les espaces qui sont actuellement faiblement utilisés par l'homme pour différentes activités (entretien des espaces sans remettre en question la structure des peuplements, usage pour les loisirs, attributs paysagers, stabilisation des sols etc.). Ces espaces dits naturels sont aussi très souvent issus de l'abandon des zones autrefois exploitées pour l'agriculture ou le pastoralisme, voire pour la sylviculture qui peut

aujourd'hui être fondée sur la gestion de la dynamique naturelle de recolonisation de certaines essences.

A côté de ces espaces existent les plantations d'arbres dont les objectifs d'exploitation sont clairement définis dès la mise en œuvre des plans de gestion forestière (ex : industrie papetière, bois d'œuvre, bois énergie etc.). Notons que la vision antagoniste entre plantations et forêts naturelles s'estompe progressivement (Paquette and Messier 2010) en raison des complémentarités entre ces systèmes forestiers et de leur coexistence dans les mêmes territoires, paysages et groupes de parcelles. Lambin et Meyfroidt (2011) ont d'ailleurs estimé une demande globale supplémentaire de territoires qui devront être convertis en plantations entre 2000 et 2030 et qui devraient représenter entre 126 et 215 millions d'hectares. Parmi ces surfaces, 56 à 109 millions d'hectares devraient être destinés à des plantations pour des usages industriels. Par ailleurs, la FAO (2010) prévoit que la demande industrielle en bois rond devrait représenter environ un tiers de la production des plantations en 2030.

En parallèle à la gestion de ces espaces, des expériences sont réalisées pour sélectionner les espèces les plus adaptées aux usages et aux conditions environnementales. Les critères liés à la physiologie et à l'écologie des espèces et à leurs usages respectifs sont déterminants pour la planification de la gestion de la ressource ligneuse.

La planification est un élément primordial de la gestion des espaces forestiers naturels et des plantations, d'autant plus que les résultats des méthodes de managements sont visibles parfois au bout de plusieurs décennies. Cette planification regroupe au moins six étapes (McDill, 2014) :

- 1- Déterminer les objectifs ;
- 2- Identifier les solutions ;
- 3- Evaluer les solutions ;
- 4- Définir un planning ;
- 5- Mettre en œuvre le planning ;
- 6- Suivre et replanifier si nécessaire.

La planification ainsi définie repose sur l'utilisation de différents critères d'aide à la décision que l'on appelle aussi MCDS (Multi-Criteria Decision Support). Belton et Stewart (2002) ont proposé le schéma suivant pour illustrer les différentes étapes du processus décisionnel et les critères généraux devant être pris en compte (figure 4).

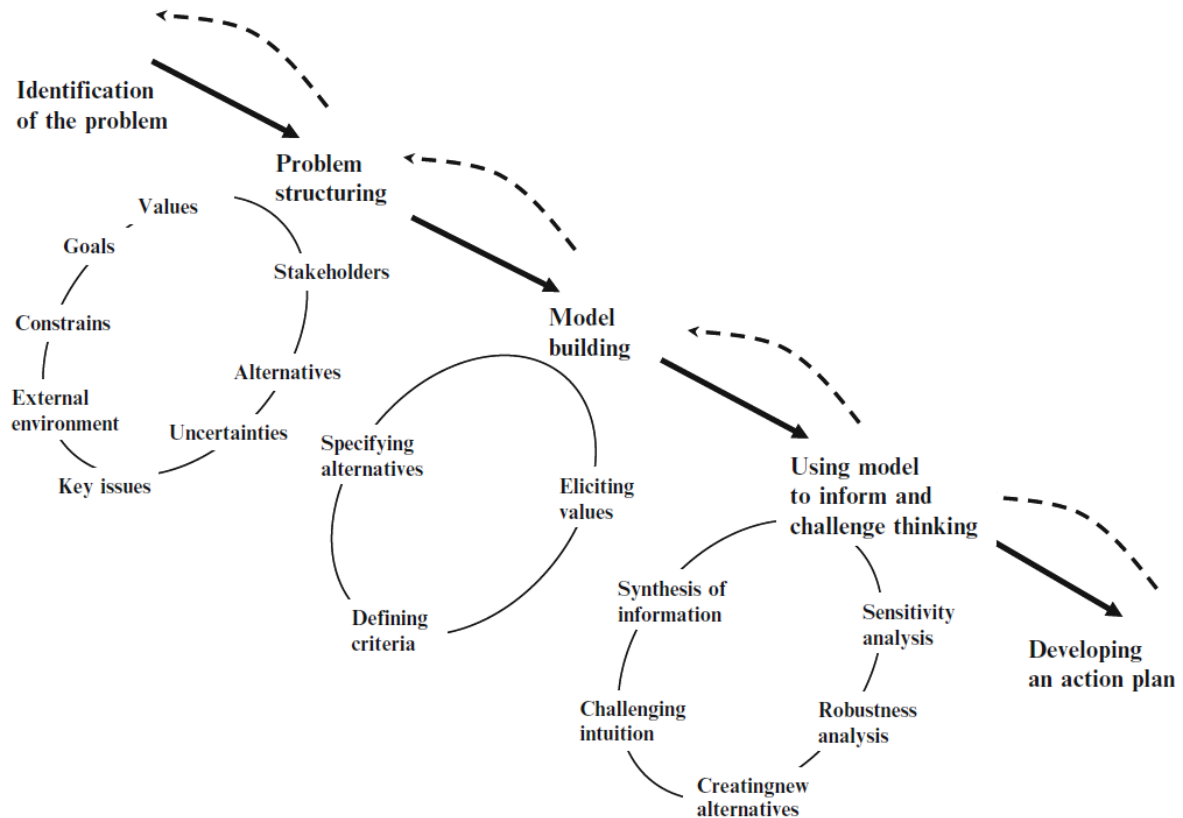


Figure 4 : Processus d'aide à la décision fondé sur une approche multi-critères (Belton and Stewart, 2002).

Ces étapes s'inscrivent ensuite dans les différents niveaux de planification forestiers que sont :

- La **planification stratégique** : elle s'étend sur une à plusieurs décennies voire à un ou plusieurs siècles. Elle concerne les décisions d'investissements les plus importants car elle engage les parties prenantes sur une très longue durée. Le rôle actuel des méthodes et modèles d'aide à la décision de type prospectifs est de plus en plus utile pour ces aspects stratégiques. Cette planification n'est pas nécessairement obligée d'intégrer des éléments spatialement explicites ;
- La **planification tactique** : elle s'étend sur quelques semaines à quelques années. Ce niveau de planification nécessite d'avoir des informations très précises et spatialement explicites pour établir les actions à mener en raison de son lien avec le niveau opérationnel. Elle implique par exemple la réalisation de sentiers ou chemins forestiers, la définition des principales zones de travaux forestiers et de débardage etc. ;
- La **planification opérationnelle** : elle s'étend sur quelques jours à quelques mois. Elle est spatialement explicite et requière l'évaluation précise des tâches à effectuer et des ressources à mettre en œuvre pour réaliser les travaux forestiers ;
- Le **pilotage en temps réel** : c'est le suivi quotidien des activités telles que le transport de bois, les travaux de coupe ou de préparation de la biomasse etc. Des systèmes embarqués (GPS sur les camions, drones d'observation des peuplements forestiers etc.) et de suivi des paramètres liés à ces activités (estimation quotidienne des stocks, capteurs de détection d'incendies etc.) peuvent également accompagner le pilotage.

L'occurrence de dangers pouvant affecter les espaces forestiers (incendies, anomalies climatiques, maladies et ravageurs) doit également être prise en compte dans une approche d'analyse des risques de ces milieux, d'autant plus en cas de valorisation économique du bois selon ses différentes formes (bois rond, déchets et résidus des opérations de gestion). L'occurrence de ces événements peut affecter la rentabilité de l'exploitation. Une approche d'analyse des risques doit donc accompagner le développement des usages du bois pour déterminer des moyens de prévention et de protection de la chaîne logistique.

La difficulté de la gestion durable des forêts réside en la variabilité du comportement des individus et des peuplements forestiers qui sont sous l'influence de plusieurs facteurs internes et externes et dont l'occurrence et les modalités d'expression sont fluctuantes. Parmi ces facteurs citons entre autre :

- la variabilité inter et intra-annuelle du climat pouvant induire des hivers plus rigoureux que la normale ou des étés plus chauds et secs ;
- la compétition interspécifique au sein d'un même espace forestiers pour l'utilisation des ressources (lumière, nutriments du sol, réserves en eau, espace vital de croissance) ;
- l'occurrence d'évènements perturbateurs (tempêtes, incendies, inondations, ravageurs, maladies etc.) ;
- l'action humaine inappropriée (chablis provoqués par des coupes mal gérées, incendies, coupes d'individus devant être préservés etc.).

En raison de ces multiples aspects qui entrent en jeu dans la dynamique des espaces forestiers, le recours aux méthodes, modèles et outils développés par les chercheurs et les ingénieurs forestiers sont de plus en plus utilisés pour appuyer les décisions des gestionnaires forestiers.

Ces travaux de R&D concernent notamment l'estimation de la productivité forestière pour en optimiser la récolte et donc les gains espérés. L'optimisation des rotations est une priorité pour les plantations. Les gains peuvent varier selon les fluctuations de la récolte et du cours du prix du bois. Ces modèles économiques tels que les modèles de Faustmann (1849) ou de Newman (1988), ont été principalement appliqués aux plantations avec comme objectif d'obtenir un peuplement avec des arbres de même classe d'âge (peuplements équiens avec moins de 20 ans d'écarts) permettant une récolte annuelle des différentes parcelles ayant été plantées pendant différentes années. Dans ces modèles, la classe d'âge la plus âgée peut alors être récoltée et le volume de cette récolte doit être égal à la croissance annuelle de toute la forêt.

D'autres modèles ont été développés pour simuler la croissance et le rendement des peuplements forestiers et des individus. Weiskittel *et al.* (2011) distinguent 4 types de modèles selon les techniques de modélisation utilisées :

- Les **modèles statistiques** : ils décrivent le développement d'une plantation à partir de données empiriques (mesures *in situ*) et d'équations mathématiques paramétrées à partir de ces données. Ces modèles sont généralement appliqués sur des pas de temps allant de 5 à 10 ans, voire plus. Trois grandes sous-catégories de modèles sont utilisées :
  - Les *modèles de peuplements* : ils résument un peuplement forestier selon les variables de volume de bois ou de nombre d'arbres par unité d'aire et en prédisent l'évolution au cours du temps. Ils sont très utilisés car ils nécessitent assez peu de données ;
  - Les *modèles de classe d'âge* : ils décrivent l'évolution des stocks de bois selon les diverses classes d'âges constituant le peuplement forestier. Ils intègrent le plus souvent la distribution statistique des diamètres des arbres selon leur âge. Ce type de modèle est intermédiaire entre l'approche fondée sur un peuplement et celle fondée sur les individus ;

- Les *modèles centrés sur les individus* : ils estiment l'évolution de chaque individu d'un peuplement en se basant sur de nombreuses données d'observations telles que la localisation précise des arbres pour en évaluer les facteurs de compétition, le diamètre de la couronne de chaque individu, le diamètre de leur tronc etc.
- Les **modèles mécanistes** : ils intègrent les processus physiologiques tels que l'exposition à la lumière, la photosynthèse et la respiration pour prédire la croissance des arbres et des peuplements. Ces modèles peuvent utiliser des données journalières ou mensuelles pour évaluer la productivité primaire nette (PPN) des peuplements. Les données utilisées concernent les données climatiques, le taux de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, les ressources en eau disponibles etc. ;
- Les **modèles hybrides** : ils combinent les caractéristiques des modèles statistiques et mécanistes pour tirer parti des atouts de chaque approche. Ils peuvent être appliqués aussi bien pour des peuplements que pour des individus ;
- Les **modèles d'écarts** : ils permettent d'analyser les processus écologiques, souvent à long terme, pour comprendre les interactions qui contrôlent la succession des espèces forestières.

A ces modèles sont associées aussi les différentes techniques d'acquisition de l'information spatiale (images dans les domaines visibles, infra-rouge ou radar issus de satellites, avions, hélicoptères ou drones) pour recueillir des données plus ou moins précises selon les besoins. Ces données et leurs traitements statistiques sont utilisés pour estimer la croissance des individus et des peuplements. Ces techniques permettent un suivi des peuplements et ainsi d'optimiser les activités de coupes. Bien entendu, les missions d'observation de terrain restent indispensables pour recueillir des données plus précises sur la santé et la croissance des individus et pour finaliser l'organisation des travaux de gestion forestière. Ces missions participent au monitoring des peuplements et donc aux critères de décision pour le choix et la planification des travaux forestiers.

Enfin, les effets du changement climatique constituent une problématique qui est de plus en plus étudiée et prise en compte dans le cadre de la gestion forestière.

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) prévoit actuellement des scénarios de hausse de la température moyenne entre 1,1 ° et 6,4 ° C (2,8 ° C pour le scénario de référence) sur une période de 100 ans (IPCC, 2014). Le changement climatique devrait avoir un impact sur les écosystèmes, notamment sur la nature et la répartition des espèces constitutives de ces derniers, ce qui devrait apporter des changements dans leur fonctionnement et donc pour les services écosystémiques dont nous bénéficions (biomasse, prévention des risques d'érosion, loisirs en zone naturelle, attrait paysager etc.).

Le rapport du GIEC prévoit parallèlement une augmentation de la survenance des phénomènes naturels à risques tels que les incendies de forêt, en raison de la survenance de plus en plus fréquente d'événements extrêmes, comme la sécheresse ou la canicule mais aussi en raison de la mortalité accrue des taxons ligneux. Ce rapport souligne le probable accroissement de la fréquence, de l'intensité et de la durée des périodes de canicule, ces dernières étant à l'origine d'un stress hydrique s'accompagnant d'une augmentation de la mortalité des végétaux, y compris de ceux réputés adaptés au climat méditerranéen (Fink *et al.*, 2004 ; Ciaï *et al.*, 2005, Reichstein, 2005 ; Fischer, 2007 ; Niua, 2014 ; ONERC, 2015). Bien que des études montrent que dans certaines régions le changement climatique pourra avoir un effet permettant de stimuler la croissance et le développement des arbres, la majorité des études montre au contraire une augmentation générale des risques pour les forêts (Lucier *et al.*, 2009).

Dans ce contexte, il existe des études qui s'intéressent à identifier d'éventuelles variations positives ou négatives de l'impact actuel du changement climatique sur les peuplements forestiers et d'autres études qui, quant à elles, s'intéressent à estimer les effets du changement climatique pour le futur. Le contexte actuel de réchauffement climatique implique aux gestionnaires forestiers d'adapter leurs modes de gestion à l'évolution du climat (Lindner *et al.*, 2014 ; Keenan, 2015). En effet, on constate déjà, dans le sud-est de la France, des dépérissements de plus en plus importants de peuplement à sapin (*Abies alba*), à pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et à chêne pubescent (*Quercus pubescens*) (GREC-PACA, 2018). Cela nécessite en amont d'accroître les connaissances et les données permettant de comprendre l'influence actuelle et potentielle du changement climatique sur les peuplements forestiers. Le rôle de la recherche dans ce domaine est primordial pour accompagner les gestionnaires dans la définition des modes de gestion et de la planification.

A côté des approches centrées sur la réponse des individus et des peuplements forestiers au changement climatique il existe aussi des approches qui tentent d'intégrer les paramètres économiques, sociaux et réglementaires pour aider à définir les meilleures pratiques forestières à mettre en œuvre. La part d'incertitude dans ces études reste évidemment importante en raison des difficultés pour comprendre les évolutions futures de l'ensemble des paramètres à prendre en compte dans ces approches multicritères. Les études préconisent une approche adaptative permettant de réajuster progressivement les modes de gestion au cours du temps, tout en reconnaissant la difficulté d'évaluer sur une à plusieurs décennies le comportement des peuplements forestiers selon les modes de gestion. Peterson *et al.* (2011) proposent la démarche suivante pour évaluer et ajuster les modes de gestion en prenant en compte les données et les effets du changement climatique (figure 5).

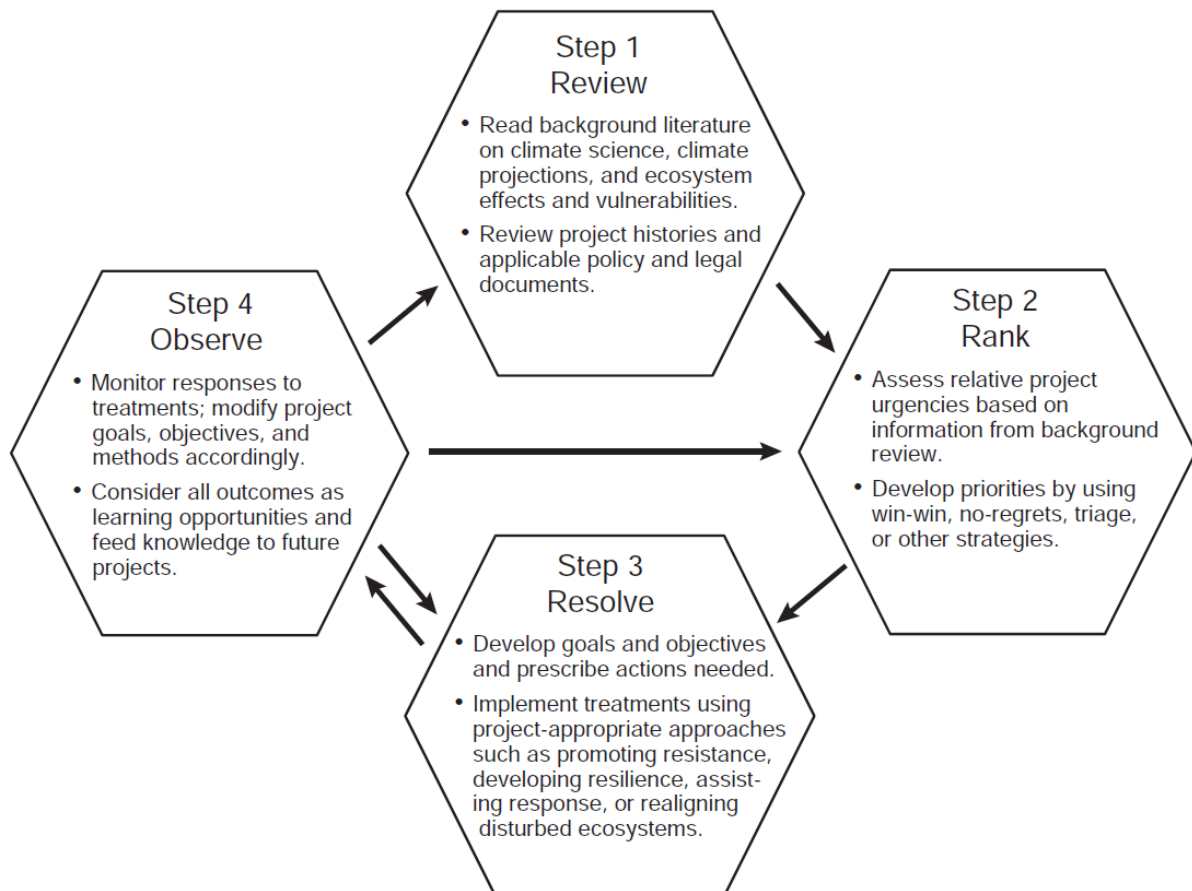


Figure 5 : Etapes pour développer et appliquer des options d'adaptation des modes de gestion des espaces forestiers face au changement climatique (Peterson *et al.*, 2011).



- Etape 1 – Evaluer : Il s’agit d’analyser si le changement climatique a un effet sur le peuplement forestier et ce, selon l’intensité des phénomènes observés. Plusieurs moyens s’offrent aux gestionnaires en commençant par l’observation des peuplements (santé des individus, structure spécifique, croissance radiale etc.) et l’étude des éventuelles corrélations entre les variations observées et les variations des paramètres du milieu, en particulier des paramètres climatiques. A l’issue de cette analyse il convient de dresser une évaluation de la vulnérabilité du peuplement ;
- Etape 2 – Hiérarchiser : il s’agit de définir des priorités d’actions en prenant en compte plusieurs critères permettant d’assurer une gestion durable du peuplement selon les objectifs préalablement définis (usages du bois, conservation des sols, sanctuarisation des espaces naturels etc.). Cette étape doit prendre en compte les différentes échelles de temps selon espèces et les objectifs de gestion ;
- Etape 3 : Solutionner : cette étape concerne la définition précise des actions à mener selon le contexte local et les objectifs de gestion. Une attention particulière est donnée aux actions permettant de rendre résilient l’espace géré à partir des solutions d’adaptation au changement climatique initialement définies ;
- Etape 4 – Observer : Il s’agit de définir des méthodes et des outils d’aide au suivi des conséquences des modes de gestion en relation avec les objectifs fixés. Les résultats de ces observations permettent ensuite de revenir sur les modes de gestion et de les adapter si nécessaire.

Dans le contexte actuel où les espaces forestiers sont exposés à des changements pouvant impacter leur devenir (changement climatique, changement d’utilisation du sol), il ressort que la gestion de ces espaces doit être suffisamment flexible pour favoriser l’adaptation des peuplements en parallèle de l’adaptation des modes de gestion.

## 4. Gestion forestière orientée vers la filière bois-énergie

Selon la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1982, modifié), on peut regrouper les usages du bois selon les catégories suivantes:

1. Bois rond, bois de chauffage, y compris le bois pour le charbon de bois, bois rond industriel (bois brut), grumes de sciage et de placage, bois à pâte rond et fendu, autres bois ronds industriels ;
2. Charbon de bois, copeaux et particules de bois, résidus de bois, granulés de bois et autres agglomérés ;
3. Bois de sciage ;
4. Panneaux à base de bois, feuilles de placage, contre-plaqué, panneaux de particules, panneaux à copeaux orientés, panneau de fibres, panneaux durs, panneau de fibres à densité moyenne (MDF – Medium Density Fiberboard), panneau isolant ;
5. Pâte de bois, pâte de bois mécanique, pâte de bois semi-chimique, pâte de bois chimique, pâte au bisulfite non blanchie, pulpe de sulfite blanchie, pulpe de sulfate non blanchie, pâte de sulfate blanchie, la pâte de bois dissoute, autre pulpe de fibres, papier recyclé ;
6. Papiers et cartons, papier journal, papier d'impression et d'écriture, autres papiers et cartons, papier de ménage et papier sanitaire, papier et carton d'emballage.

Les diverses opérations liées aux usages du bois cités ci-dessus sont aussi génératrices de déchets et de résidus qui permettent ainsi d'adresser de la biomasse ligneuse pour un usage énergétique (ex : bois de sciage, panneaux à base de bois etc.).

A côté de ces différentes filières et des plantations pour l'usage du bois, d'autres sources de biomasse peuvent alimenter les chaufferies et les centrales telles que l'entretien des espaces verts (parc d'agrément, abords d'infrastructures etc.), des jardins publics et privés, les résidus ligneux issus d'activités agricoles, l'entretien des espaces naturels publics et privés pour des raisons sanitaires (maladies, ravageurs, tempêtes) ou pour des raisons de maîtrise des risques (risques incendies, risques de chute d'arbre etc.). Dans ce dernier cas, il existe de plus en plus de travaux qui s'intéressent aussi à l'usage des arbustes constitutifs des maquis et des garrigues pour la filière bois énergie (Todaro *et al.*, 2007 ; Gonzalez-Gonzalez *et al.*, 2017a et 2017b ; Galatsidas *et al.*, 2018), avec notamment la fabrication de pellets de bois (Bados *et al.*, 2017). Ces usages ont l'intérêt aussi de limiter la biomasse combustible dans ces espaces souvent fortement exposés aux risques d'incendie. D'une façon générale, en particulier en zone méditerranéenne, le développement des activités dans les espaces forestiers et les maquis et garrigues tend à diminuer les risques d'incendies (Madrigal *et al.*, 2017). Ces activités tendent aussi à préserver les restanques tout en assurant un équilibre entre espaces cultivés et espaces boisés et arbustifs nécessaires à la durabilité des restanques (Stanchi *et al.*, 2012).

La mobilisation de la biomasse forestière, *stricto sensu*, peut concerner des individus entiers lorsqu'ils sont issus de plantations spécifiquement orientées vers le bois-énergie ou lorsque des coupes sont prévues pour des raisons spécifiques (éclaircies, élimination d'individus malades ou mal venus, lutte contre les incendies, aménagements divers etc.). Mais en règle générale, les exploitants forestiers essaient de valoriser économiquement les différentes parties des arbres selon différentes filières lorsque cela est possible. Ces découpes dépendent des parties prélevées et de leur diamètre. On distingue ainsi les éléments suivants (Figure 6) :

- Pour le bois d'œuvre, on privilégie le tronc, que l'on appelle aussi grume (ou bille de pied et surbilles de tiges) qui correspond à un diamètre de 25cm pour mes résineux et de 30cm pour feuillus (découpe de qualité bois d'œuvre) ;
- De 7cm à 10/15cm pour les résineux ou 20/25cm pour les feuillus, cette partie du tronc et des tiges est généralement destinée au bois industriel à condition que la longueur minimale soit de 2m et le plus rectiligne possible. Si certains de ces critères ne sont pas remplis, le bois peut être valorisé pour la filière énergie ;
- Les parties inférieures à 7cm de diamètre (menu bois correspondant à la cime et aux petites branches) sont destinées à des découpes de bois fort qui sont habituellement valorisées en bois énergie.

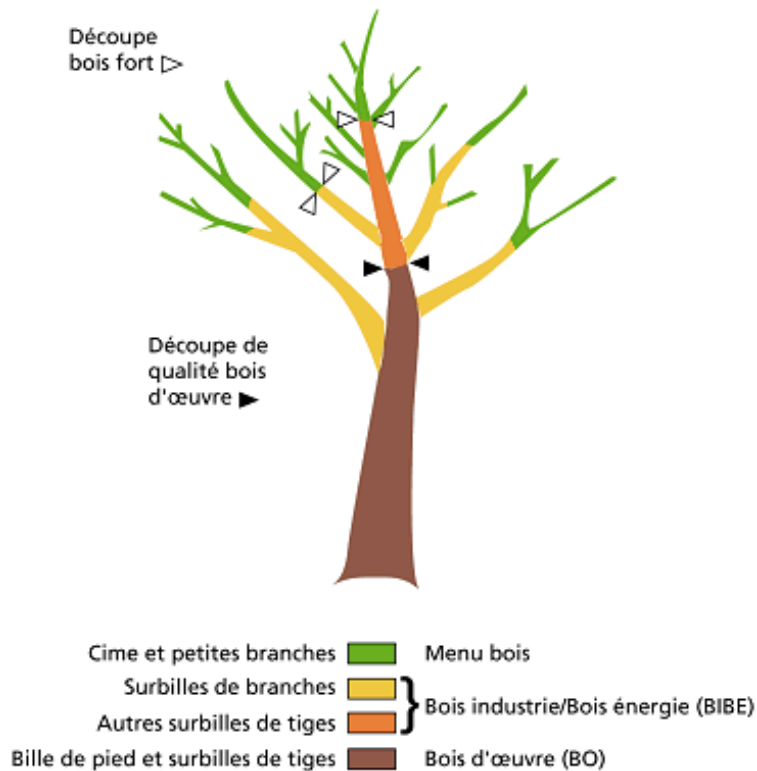


Figure 6 : Schéma de compartimentation d'un arbre (ADEME, IFN, FCBA, SOLAGRO 2009 in Grovel *et al.*, 2014).

Ce schéma de prélèvement est valable aussi bien pour des parcelles forestières naturelles que pour des plantations.

Il existe aussi le cas des plantations de type taillis spécifiquement orientés vers la production de bois-énergie. L'objectif ici est de planter des arbres à croissance rapide pour faire des courtes rotations (Taillis à Courte Rotation – TCR) voire de très courtes rotations (Taillis à Très Courte Rotation – TTCR). Pour les TCR, les surfaces contiennent entre 1.000 et 3.000 boutures ligneuses et la récolte se fait entre 1 et 4 ans en général. Pour les TTCR, la densité de bouture par hectare varie entre 12.000 et 20.000 tiges et la récolte se fait entre 5 et 15 ans.

Les espèces végétales utilisées pour les TCR et TTCR appartiennent préférentiellement aux genres *Salix*, *Populus*, *Alnus*, *Robinia* et *Eucalyptus*. Ce sont souvent ces types de plantations qui sont privilégiées pour la production de bois-énergie à partir d'essence à croissance rapide à condition d'optimiser le volume des coupes en raison du faible niveau d'énergie de ce type de combustible (Andersson *et al.*, 2002). En revanche, dans les plantations d'autres arbres feuillus ou de résineux à croissance plus lente, les durées des rotations dépassent 20 ans en générale, voire 40 à 50 pour les chênes dont la valorisation concerne principalement le bois d'œuvre.

En raison de sa dimension territoriale qui intègre *de facto* de nombreuses dimensions (écologique, environnementale, économique, sociale), la filière bois-énergie doit être structurée au moyens d'outils répondants aux objectifs du développement durable et de la transition écologique. Ces actions concernent les parcelles publiques et les parcelles privées, sachant que les zones forestières en France sont sur des propriétés privées pour 75% d'entre elles (16% de forêt publique et 9 % de forêt domaniale). Pour cela il existe deux principaux outils :

- Le Plan de Développement de Massif (PDM) : ce type de plan est sous la tutelle des délégations régionales du CNPF (Centre National de la Propriété Forestière). Il a pour vocation de fédérer les propriétaires forestiers et de les inciter à gérer durablement leurs parcelles. L'objectif est

aussi de réduire les effets du morcellement des parcelles qui rend difficile l'organisation des actions de gestions ;

- Le Plan d'Approvisionnement Territorial (PAT) : il permet d'identifier les installations bois-énergies collectives (chaufferies et centrales) déjà établies ou en cours de développement dans le but d'estimer la biomasse ligneuse nécessaire pour leur approvisionnement à court terme (localisation de la ressource, coût de mobilisation, disponibilité, qualité énergétique du bois etc.). Il permet de définir les moyens nécessaires à mettre en œuvre pour assurer le fonctionnement et la maîtrise des risques de la chaîne logistique du bois énergie (figure 7).

A côté de ces plans, il existe pour les propriétaires forestiers l'obligation de mettre en œuvre un PSG (Plan Simple de Gestion), pour une durée allant de 10 à 20 ans, lorsqu'ils possèdent une ou plusieurs parcelles forestières d'une surface égale ou supérieure à 25 hectares, d'un seul tenant ou situées dans une même zone géographique, en prenant en compte tous les îlots de plus de 4 ha situés sur la commune de l'îlot le plus grand et sur les communes contigües à celle-ci. Le PSG permet notamment au propriétaire de définir des objectifs de gestion et d'établir une description des peuplements et un programme précis des travaux et des coupes. Le plan simple de gestion est un document agréé par le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF) dont dépend le propriétaire forestier.

Les différentes étapes de la logistique du bois énergie (figure 7) concernent :

- L'**abattage du bois** : sur les parcelles forestières le plus souvent avec des engins (bûcheronnage mécanisé) et parfois de façon manuelle. Cette étape comprend aussi le groupage du bois ainsi que le fagotage des rémanents. Dans certains cas, il est possible aussi d'extraire les souches des arbres coupés dans le but de travailler le sol pour de nouvelles plantation et pour valoriser aussi le bois des souches ;
- Le **débardage** : il consiste à amener le bois coupé, à l'aide de machines (tracteurs, débusqueur à grue ou à pince ou encore à câble, porteur forestier) ou à l'aide d'animaux ou encore par l'usage d'un câble-mât, jusqu'à une infrastructure de communication (route, chemin). Notons ici que l'usage du câble-mât est envisagé pour des problèmes de desserte en zone pentue et que son usage doit être évalué du point de vue économique pour optimiser le choix du matériel, en particulier en zone méditerranéenne où les volumes de bois sont souvent moins importants que dans de zones plus septentrionales (Proto and Zimbalatti, 2016) ;
- Le **transport du bois** : il se fait par un camion grumier ou un camion plateau selon le type de bois à transporter (grumes, bois billonné et fagots) ;
- La **préparation de la biomasse** par déchiquetage ou la fabrication de pellets : la biomasse ligneuse est déchiquetée (sur place ou sur une plateforme dédiée) puis elle peut être stockée sous la forme de plaquettes forestières ou encore elle peut entrer dans un processus de fabrication de pellets. Dans ce dernier cas, les plaquettes sont ensuite broyées plus finement puis, après récupération des sciures, la biomasse est séchée et pressée à l'aide d'une presse à granulés ;
- La **biomasse préparée** est ensuite **transportée** et livrée aux chaufferies et centrales par camion à fond mouvant, par camion porte container ou par camion plateau. Tout au long de ce processus (en intégrant le stockage de la biomasse ligneuse), il convient de contrôler la teneur en eau de la biomasse car cette dernière influence le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du combustible ;

- La **combustion de la biomasse** : elle est opérée par des chaufferies et/ou par des centrales, en particulier lorsqu'il y a des systèmes de cogénération qui améliorent le rendement énergétique de l'installation ;
- La **gestion et la valorisation des cendres** : selon les essences, leur provenance et les systèmes de combustion, les cendres peuvent varier en termes de quantité et de qualité du point de vue physicochimique et écotoxicologique. Selon ces propriétés il est parfois possible de valoriser ces cendres en filières agricole ou de construction. Dans le cas contraire, elles devront être dirigées vers des centres d'enfouissement technique (Centre de Stockage de Déchets Ultimes – CSDU). La valorisation des souches est parfois difficile car elle nécessite de bien séparer les éléments minéraux agglomérés au niveau des racines parce que la présence de ces minéraux augmentent la production de cendres.

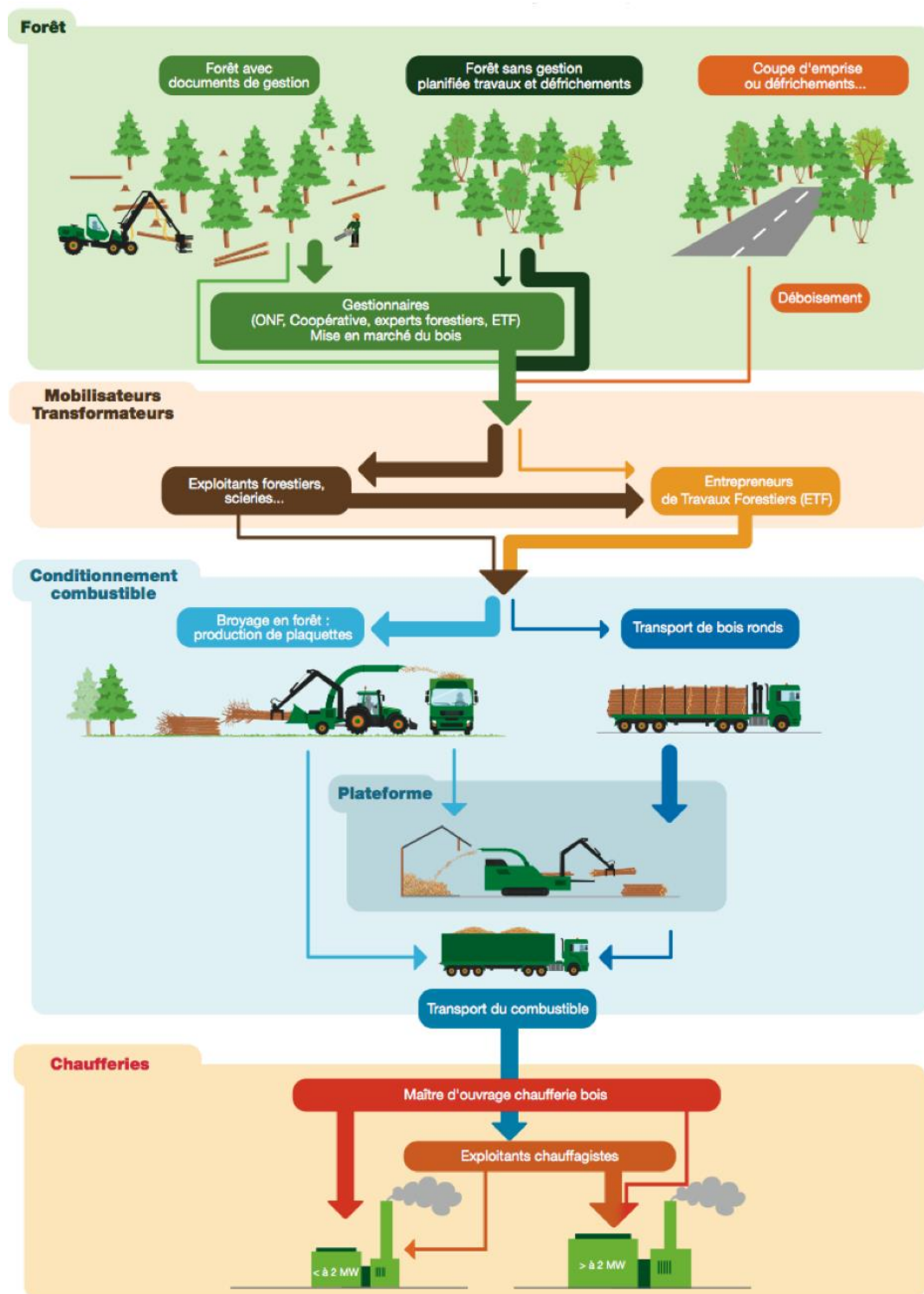


Figure 7 : Itinéraire d'approvisionnement en plaquette forestière. Flux direct ou indirect (plateforme) (Grovel *et al.*, 2014).

Dans cette chaîne logistique, il est important de synchroniser les différentes étapes, en particulier l'extraction de la biomasse, sa préparation et son transport pour éviter des problèmes d'encombrement et de délais pour l'approvisionnement des systèmes énergétiques. Le critère clé en terme de gestion des risques pour la chaîne logistique en bois-énergie est l'approvisionnement des systèmes énergétiques en biomasse ligneuse. C'est un critère dimensionnant pour évaluer les moyens à mettre en œuvre permettant d'assurer des flux appropriés et pour structurer la chaîne logistique.

## 5. Préconisations de l'ONF pour la gestion forestière en zone méditerranéenne

En zone méditerranéenne de basse altitude, l'ONF base son approche de gestion sur la préservation des forêts, sur le développement du sylvopastoralisme et sur la participation à la production d'énergie renouvelable. Les recommandations proposées par l'ONF dans les documents d'orientation sont adressées aux forêts publiques non domaniales. Néanmoins, ces recommandations peuvent être appliquées sur des parcelles ayant un statut juridique différent.

L'ONF participe aussi à des travaux et à la définition de mesures complémentaires de prévention des risques d'incendies qui s'inscrivent dans les mesures de DFCI (Défense de la forêt contre les Incendies). Ces actions sont relatives au débroussaillage, à la préservation des moyens de lutte, mais aussi à la reconstitution après incendie des zones forestières et de lutte contre l'érosion des sols et d'élimination des arbres dangereux.

La dimension paysagère est aussi intégrée dans les actions de gestion préconisées par l'ONF. Dans ce cas, il s'agit notamment d'adapter les coupes aux lignes de force du paysage sans nécessairement suivre les limites de parcelles pour éviter un morcellement trop visible des coupes. Les éclaircies doivent également prendre en compte ces aspects paysagers en particulier au niveau des lisières pour éviter l'effet d'un mur végétal. Une récente étude en zone méditerranéenne a montré que les traitements sylvicoles effectués sur les individus tels que l'élagage n'avaient pas d'influence significative sur la densité du bois (Moreno-Fernández *et al.*, 2018), ce qui est un facteur important pour la valorisation du bois dans toutes les filières.

La gestion des massifs forestiers méditerranéens prend en compte les facteurs du milieu (climat, type de sol, bilan hydrique local) et les objectifs définis préalablement. Les deux types de massifs forestiers (plantation ou régénération naturelle) sont sujets à des travaux de dégagement des semis et de dépressage : au cours des premières années des ligneux, on sélectionne les tiges d'avenir quand les plants ont environ entre 5 et 10 ans. Ensuite une première coupe peut être effectuée quand l'arbre est plus grand. Il s'agit de coupes d'amélioration du peuplement permettant de sélectionner les arbres les mieux venus. Les coupes définitives sont programmées selon la croissance des essences. Par exemple, une parcelle forestière peut avoir 2.500 tiges avant la coupe d'amélioration. A la fin des 3 améliorations, on prévoit une coupe de régénération (ex : chêne pubescent après 150 ans ; pour le pin maritime après 70 ans ; pour le peuplier noir après 40/50 ans etc.), qui permet de sélectionner environ 50 individus/ha qui seront destinés à être les semenciers pour favoriser la régénération naturelle (on estime que les individus en place sont déjà adaptés et donc ils représentent les individus plus adaptés pour favoriser le développement de la population. Les graines vont permettre une régénération dans un milieu plus ouvert ce qui favorise leur croissance). Ce type de gestion est assez bien adapté au contexte méditerranéen et il est aussi moins onéreux qu'une plantation.

Dans le cas des plantations, il est possible d'utiliser des essences étrangères qui ont été visées par la réglementation. Des plants ou des graines appartenant aux espèces locales mais provenant d'autres pays peuvent également être utilisés. Pour les essences non soumises à la réglementation il est demandé d'utiliser des plants et des graines provenant de peuplements locaux.

En cas de catastrophe écologique telle qu'une tempête ou un incendie sur les massifs gérés, un document de révision peut être édité pour adapter la gestion en prenant en compte les conséquences de l'événement (ex : révision 2011-2030 pour le Massif de Maures et autres forêts qui relèvent du régime forestier).

Lors des coupes effectuées dans les massifs les rémanents de bois coupés sont laissés, sauf dans les zones de bandes de sécurité qui sont débroussaillées. Ces rémanents permettent de favoriser le

passage des engins en limitant le tassement des sols (en dessous de 7cm de diamètre de bois il y a obligation de laisser le rémanent par terre).

Depuis plusieurs années les modes de gestion des espaces forestiers tentent de prendre en compte les impacts du changement climatique. Par exemple, l'ONF recommande de planter et de favoriser le développement des peuplements de cèdres en raison de leur résistance à la sécheresse. En revanche, le hêtre qui une espèce mésophile, ne paraît plus adapté aux sécheresses et n'est donc plus favorisé lorsqu'il est en phase de colonisation en zone méditerranéenne de basse altitude.

Les principales essences visées par des actions de gestion en zone de basse altitude sont le pin d'Alep, le pin pignon, le pin maritime, le pin sylvestre, le cèdre de l'Atlas, le cèdre du Liban, le chêne vert, le chêne liège, le chêne pubescent, le châtaignier et le hêtre.

Pour les peuplements de feuillus les traitements préconisés selon les essences sont les suivants :

- Pour les chênes verts et pubescents : des éclaircies au sein des taillis permettent d'allonger les rotations des coupes et d'obtenir des individus de diamètre plus important. Des actions de balivage sont programmées pour obtenir une futaie lorsque les parcelles ont des individus de belle venue ;
- Pour les chênes liège : les suberaies sont souvent composées d'individus de petit diamètre avec un houppier incomplet en situation d'adret, ce qui nécessite de favoriser la gestion extensive de ce type de peuplement (très peu de travaux forestiers sont généralement prévus dans ce cas). Pour favoriser la régénération naturelle de cette essence, il est préconisé de réduire le maquis en sous-bois, ce qui permet aussi de limiter les risques d'incendies.

Pour les résineux, les peuplements sont le plus souvent gérés en futaies plus ou moins régulières en raison des besoins en lumière de ces espèces. Des actions de dépressage peuvent être conduites pour améliorer le développement en futaie des régénérations naturelles. En revanche, pour les peuplements les moins productifs, il est conseillé de limiter les éclaircies seulement aux meilleures classes de fertilité.

Le critère principal utilisé pour les objectifs d'exploitation et de protection des massifs forestiers en zone méditerranéenne de basse altitude (étages thermo et mésoméditerranéens) est le diamètre de l'essence pour les futaies sur des stations fertiles et il concerne des individus avec un âge inférieur à 100 ans. Dans les stations d'autre nature, le diamètre n'entre pas en compte car il faudra près de 150 ans pour obtenir des individus valorisables, si les incendies ou d'autres phénomènes n'ont pas remis en question le développement du peuplement. Pour les pins, il est possible de couper des individus dont le diamètre varie entre 25 et 45cm. Pour les chênes c'est environ 35 à 40cm et pour le cèdre 35 à 40cm.

Pour le renouvellement des forêts, sauf dans le cas des incendies, il est choisi soit de favoriser les essences en places, soit de les enrichir ou encore de les remplacer par la plantation d'individus d'autres espèces. Ce dernier cas de figure est à envisager lorsque les individus ne sont pas bien adaptés aux conditions locales, en cas de problèmes sanitaires particuliers, en cas de difficulté de régénération naturelle par les semences ou encore en cas d'objectif de diversification des peuplements. Lors des travaux de plantation, il est nécessaire de préparer le sol (labour, sous-solage, potet travaillé) et



d'utiliser des plants en godets de 400cm<sup>3</sup> minimum pour éviter les problèmes de stress hydrique des plants.

## 6. Gestion des sites de l'étude

Nous présentons ci-dessous la description des sites qui ont été étudiés ainsi que les modes de gestion qui leur sont appliqués.

### 6.1. Parcelles forestières de Camp Bourjas (Collobrières, 83043)

Ce secteur est une forêt communale pour laquelle l'ONF intervient pour l'aide à la gestion. La commune de Collobrières est certifiée PEFC jusqu'en 2022 (certificat 10-21-19/336).

Du point des formations végétales, ce secteur comprend des bois naturels, des taillis et des maquis de densité variable à *Quercus suber*, *Arbutus unedo*, *Pinus pinaster* (figure 8) et des bois plantés par l'ONF à *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* et *Cedrus atlantica* (figure 11).



Figure 8 : Bois naturels et taillis à *Quercus suber*.

Le développement du chêne liège a été très fortement impulsé par l'homme pour la production de liège depuis 200 ans, ce qui explique sa forte représentation dans le Var de cette espèce

méditerranéenne poussant sur sol acide. Ces bois à *Quercus suber* sont silicoles et abritent des espèces thermophiles, xérophiles à mésophiles, sur sols profonds souvent très caillouteux. On y trouve principalement des espèces telles que *Arbutus unedo*, *Cistus salviifolius*, *Erica arborea*, *Calluna vulgaris*, *Pulicaria odorata*, *Teucrium chamaedrys* et quelques individus de *Quercus ilex* et *Pinus pinaster*. Les arbustes en sous-bois peuvent être très denses pour les bois de reconquête après déprise rurale. La strate herbacée est souvent assez peu dense.

Ce type de milieu végétal se développe dans l'étage mésoméditerranéen inférieur et moyen. Ce sont souvent des forêts de reprises sur des parcelles anciennement cultivées ou sur des massifs forestiers ayant subi des incendies. Ces bois ne sont pas exploités actuellement. La dynamique de végétation tend à une fermeture du milieu où prédominent le chêne liège et en sous-bois des cistes avec la bruyère arborescente formant un maquis parfois très dense. Dans ce type de formation végétale il est possible d'envisager la production de liège.

Depuis plusieurs années on assiste au dépérissement des chênes lièges. En particulier la situation de stress hydrique des 3 dernières années successives (2015, 2016, 2017) a impacté l'état de santé des chênes lièges et a favorisé le développement de ravageurs. Cela a induit une importante mortalité sur pied dans le Var pour des chênes liège de tout diamètre. On constate aussi une difficulté de régénération naturelle de ce chêne dans les zones de maquis dense et une possible substitution de cette essence par le chêne vert, le chêne pubescent, le laurier tin et l'arbousier. La conservation de ces peuplements à chêne liège a un intérêt écologique pour la réduction de la vulnérabilité du territoire face aux incendies grâce à la régénération des individus après incendie, à condition que des épisodes de sécheresse ne viennent pas contrecarrer cette dynamique. Bien souvent il est nécessaire d'intervenir pour favoriser la régénération naturelle par des éclaircies sélectives et par des travaux de préparation des sols et de débroussaillage avant la plantation de semis.

Les zones plantées correspondent aux parcelles 17, 19 et 20 des figures 9 et 10. Ces plantations ont vraisemblablement été réalisées au début des années 1990 après les incendies de 1988 dans le but de stabiliser les versants et de développer la filière bois.



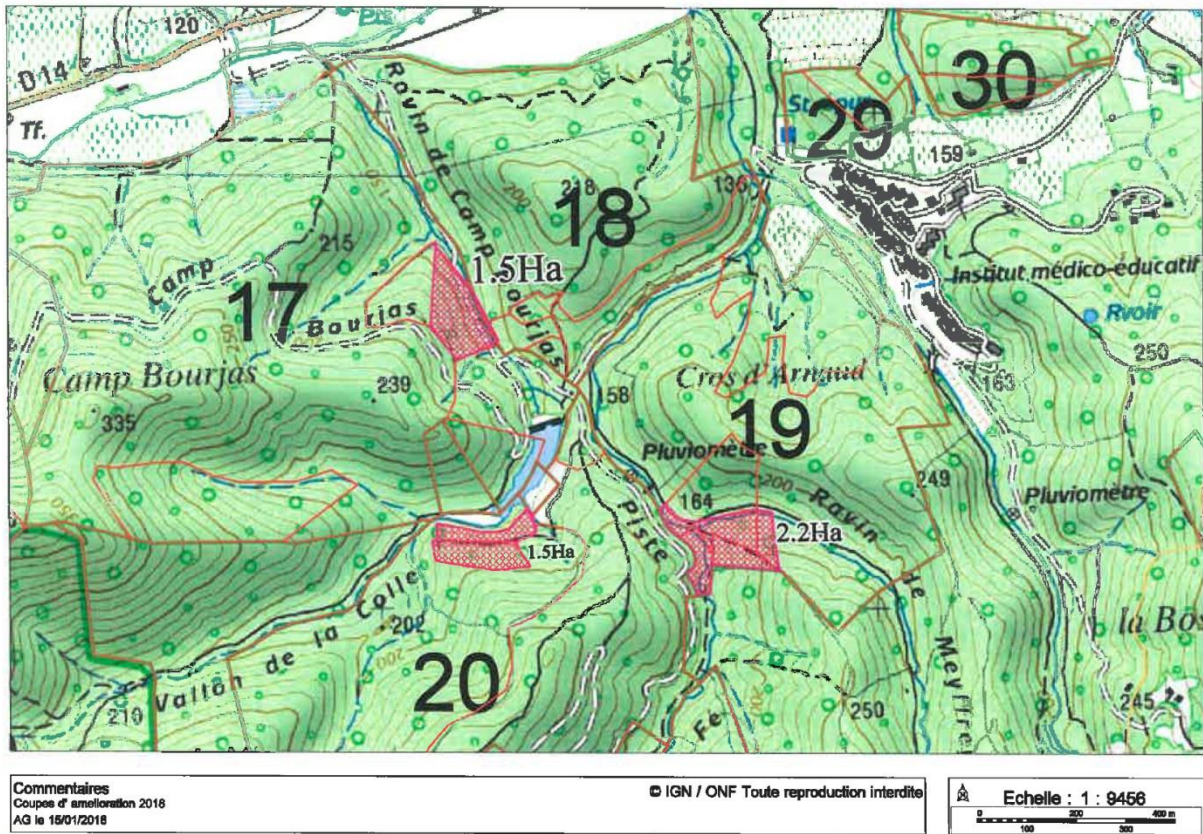


Figure 9 : Cartographie des parcelles pour les coupes (en rouge) prévues par l'ONF (source : ONF).

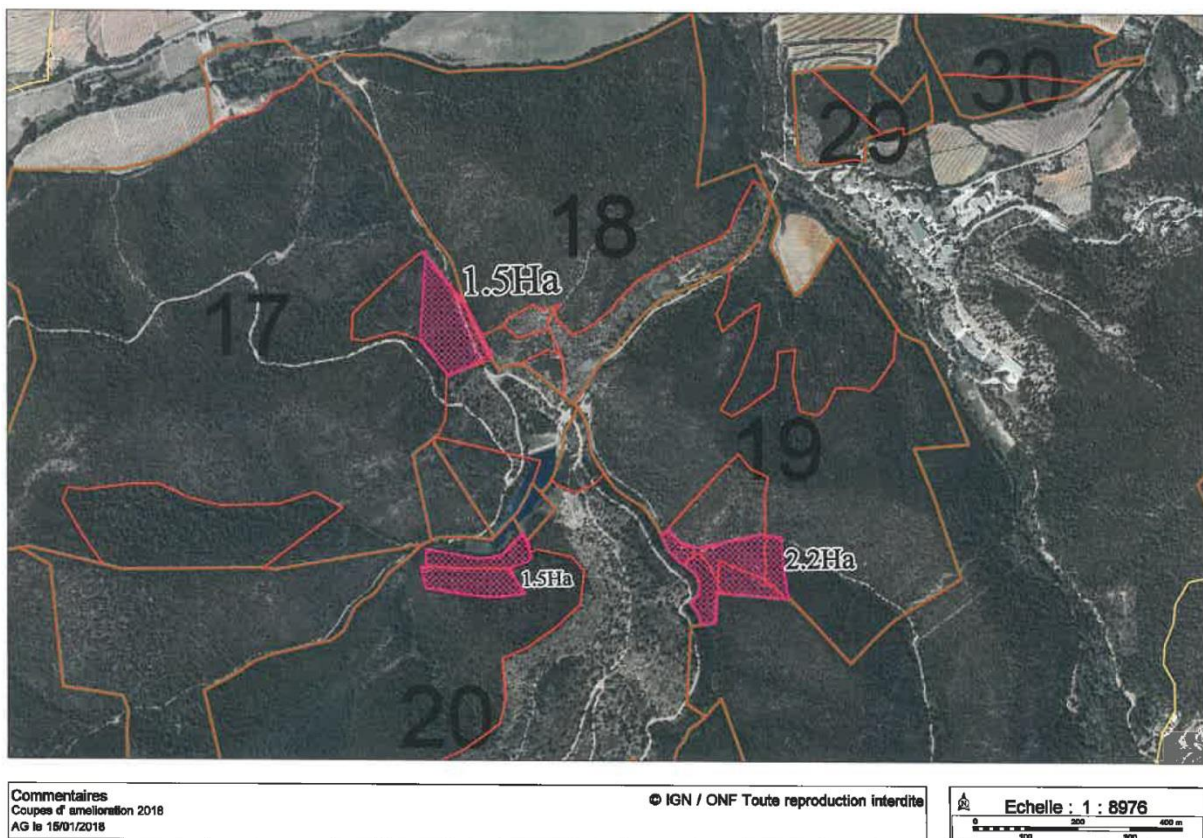


Figure 10 : Orthophotographie des parcelles pour les coupes (en rouge) prévues par l'ONF (source : ONF).



Les essences qui ont été plantées par l'ONF sont *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, et *Cedrus atlantica* (figure 11). On peut observer dans ces parcelles des régénérations naturelles de pin maritime aussi.



Figure 11 : Bois plantés par l'ONF à *Pinus pinaster*, *Pinus pinea* et *Cedrus atlantica*.

Il convient d'attendre environ 30 ans pour faire une première coupe d'amélioration de la parcelle forestière après plantation. L'écartement des houppiers permet ainsi de favoriser certains individus de meilleure venue. Un marquage spécifique a été appliqué pour organiser les coupes de zones : le marquage bleu des arbres matérialise le cloisonnement. L'exploitant coupe d'abord le cloisonnement et il laisse les rémanents pour permettre aux engins de progresser sur ces rémanents, ce qui permet de limiter le tassement et l'altération des sols. Le cloisonnement fait office de chemin à emprunter (route d'accès) pour permettre le débardage des grumes. Les individus sont ensuite prélevés à une distance de 8m de part et d'autre du cloisonnement. Le marquage rose désigne les arbres à abattre pour améliorer le peuplement.

Les volumes prélevés sur les différentes parcelles sont les suivants :

- parcelle 17 : pin maritime et pin pignon prélevés sur 1.1 ha ; 308 tiges ; volume de 12.4 m3/ha ;
- parcelle 19 : pin maritime et pin pignon prélevés sur 1.36 ha ; 368 tiges ; vol. 10.6 m3/ha ;
- parcelle 20 : pin maritime et pin pignon prélevés sur 1.5ha ; 355 tiges ; vol. 12 m3/ha.

Ces prélèvements avaient été prévus initialement pour novembre 2018 et ils ont été reportés à janvier 2019. La durée des travaux est estimée entre 3 et 4 jours.

La filière de valorisation prévue pour ce type de plantation est la filière bois-énergie.

## 6.2. Massif de La Colle Noire (Le Pradet, 83220)

Ce secteur est un massif forestier comprenant un maquis dense (avec quelques pieds de chêne liège et de pin d'Alep) et des bois à *Quercus suber* souvent en mélange avec *Pinus halepensis*. L'ONF intervient pour la gestion de ce massif. Ce secteur a connu un incendie du 4 au 5 août 2005 qui a ravagé plus de 150ha de végétation. Avant cet incendie, la végétation de la Colle Noire était représentée par une forêt méditerranéenne à *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Arbutus unedo* et *Pistacia lentiscus*.

Nous retrouvons aujourd'hui des bois ouverts à *Quercus suber* (figure 12) qui regroupent des espèces thermophiles et xérophiles sur sol siliceux souvent peu évolués. La strate arbustive est souvent très dense dans ces peuplements et la strate herbacée est par conséquent peu développée. Parmi les espèces colonisant ce milieu, on peut rencontrer *Arbutus unedo*, *Pinus halepensis*, *Viburnum tinus*, *Quercus ilex*, *Cistus salviifolius*, *Smilax aspera*, *Ruscus aculeatus*, *Cistus monspelliensis* et *Pistacia lentiscus*.





Figure 12 : Bois à chêne liège avec sous-bois dense de type maquis à bruyère arborescente.

Ce type de milieu reste assez peu répandu en France mais bien représenté dans le département du Var, en zone littorale (bioclimats thermoméditerranéen et mésoméditerranéen). De par la densité du recouvrement de la strate arbustive, ce type de milieu est souvent exposé au risque d'incendie.

Du point de vue évolutif, ce type de milieu tend à se refermer pour constituer une suberaie pouvant accueillir aussi du chêne vert.

Les maquis denses (figure 13) sont des structures de reconquête après incendie et ils permettent de stabiliser les sols du secteur. Cette densité de peuplement peut parfois nuire à la dynamique des chênes liège et des autres feuillus sclérophylles, ce qui peut nécessiter des travaux tels que des éclaircies et le débroussaillage pour favoriser la régénération ou le développement de nouveaux plants de chênes liège. Dans ces maquis on y trouve des pieds de *Quercus suber*, *Pinus halepensis* et *Pinus pinaster*.





Figure 13 : Maquis dense à *Cistus salviifolius*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea* et *Phillyrea angustifolia*.

Depuis 2006, le Massif de la Colle Noire est géré par la Communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée (TPM) avec l'appui technique de l'ONF et du Conservatoire du Littoral. Ce massif était initialement géré par la commune du Pradet. Les objectifs de gestion fixés consistent à :

- Préserver et favoriser la biodiversité (habitats et espèces), tout en assurant le suivi de la fréquentation et de son impact sur la biodiversité du site ;
- Gérer la forêt pour minimiser le risque incendie en favorisant les espèces les moins inflammables et en entretenant les aménagements DFCI ;
- Mettre en valeur le paysage en favorisant la dynamique naturelle de reconquête végétale ;
- Aménager l'accueil du public et assurer des usages compatibles du site avec la conservation du patrimoine naturel et géologique ;
- Sensibiliser le public sur les enjeux de la protection de ce site (réhabilitation du sentier de découverte botanique et géologique, entretien des belvédères, visite guidée de la mine de cuivre etc.).

### 6.3. Bois de Courbebaisse (Le Pradet, 83220)

Ce bois est situé en plein cœur de la ville. Il s'agit d'une pinède thermoméditerranéenne à pin d'Alep (*Pinus halepensis*) qui abrite notamment les espèces suivantes en sous-bois : *Phillyrea angustifolia*, *Viburnum tinus*, *Asparagus acutifolius*, *Erica arborea*, *Cistus salviifolius* et *Lonicera implexa*. Des pieds de *Quercus suber*, *Quercus ilex* et de *Quercus pubescens* sont aussi présents dans cette pinède fermée. Ce type d'habitat est assez peu répandu en France et les surfaces de faibles dimensions. Ce type de milieu est assez sensible à la fréquentation touristique qui peut nuire à la dynamique végétale et être vectrice d'incendies, ce qui nécessite de bien baliser les lieux.

En l'absence de pression anthropique et d'incendies, ce type de milieu peut se fermer et permettre aux chênes de se développer en sous-bois puis de se substituer aux pins dans les décennies futures. En cas de perturbations sur le milieu, ce type de formation à *Pinus halepensis* se reforme.

Ce bois est géré par la commune du Pradet, le Conservatoire du Littoral et l'ONF pour l'aide technique pour la mise en place d'un plan d'aménagement forestier. Les objectifs de ce plan sont de :

- Conserver et développer de l'intérêt biologique du site par des actions permettant de limiter la colonisation d'espèces invasives ;
- Mettre en valeur le patrimoine bâti (réhabilitation des anciennes terrasses de cultures ; remise en état des escaliers montant à l'ancienne tour de l'Amiral de Courbebaisse ainsi que des piliers d'entrée de site Avenue Raimu etc.) ;
- Accueillir et sensibiliser le public sur l'intérêt écologique de cet espace par l'entretien des voies d'accès, la signalisation des itinéraires du site, la mise en place de visites guidées pédagogiques pour les classes du Pradet et l'organisation d'évènements culturels.

## 7. Conclusion et recommandations

La gestion des espaces forestiers méditerranéens repose sur des méthodes et des outils que l'on retrouve aussi dans d'autres territoires bioclimatiques. Des spécificités pour la planification sont prises en compte selon les espèces mais également en tenant compte du climat. Une part importante de la gestion est consacrée à la prévention du risque d'incendie de forêt qui repose notamment sur la réduction des surfaces de biomasse ligneuse pour limiter la vulnérabilité des massifs aux incendies (Catry *et al.*, 2012). Ces traitements permettent de générer de la biomasse qui peut être valorisée, selon les sites, dans la filière bois-énergie. Il est probable qu'à l'avenir les actions de gestion devront être accrues en raison de l'augmentation potentielle du risque d'incendie du fait des effets du changement climatique.

En l'attente d'un plus large usage du bois dans ses différentes filières de valorisation, la filière bois énergie constitue un débouché suffisamment intéressant actuellement, compte-tenu aussi de la baisse d'utilisation du liège dans les activités viticoles et de la PPN qui reste souvent inférieure à celle des peuplements forestiers situés dans d'autres territoires français (figure 14). Ce point explique en partie le faible dynamisme de la filière bois dans le sud-est de la France mais il n'est pas le seul comme nous l'avons évoqué précédemment.



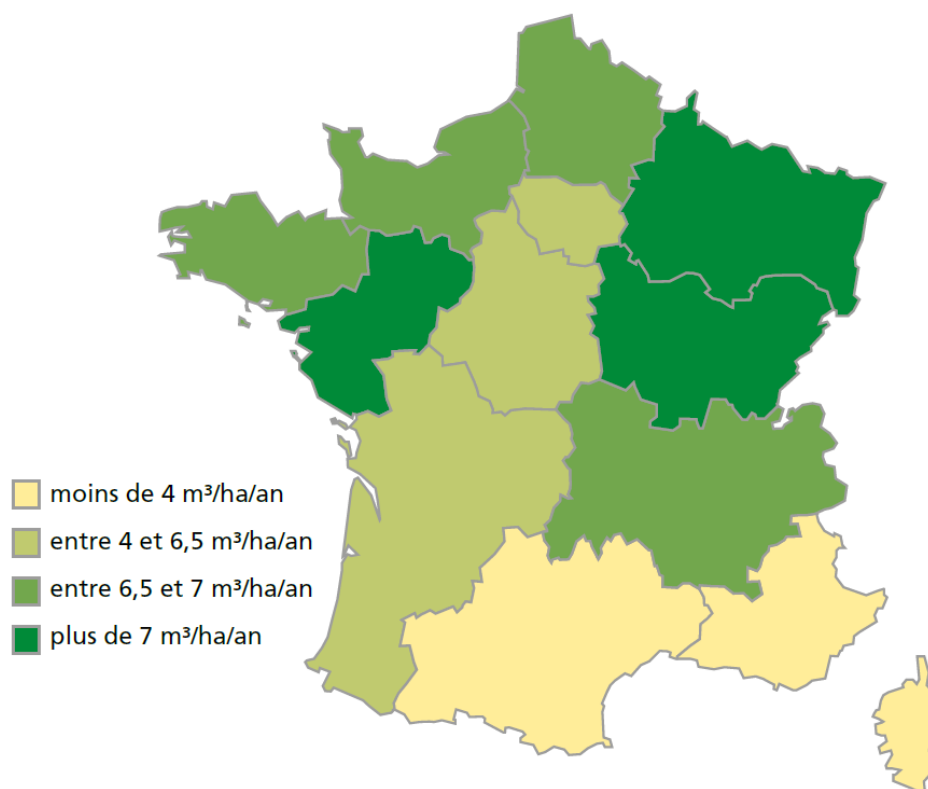


Figure 14 : Production biologique annuelle à l’hectare par région administrative (IGN, 2017).

Les recommandations de gestion des massifs forestiers prennent aussi en compte les impacts actuels du changement climatique et essaient également d’anticiper les conséquences de ces changements sur les individus et les peuplements. Ce point est très important car il a pour vocation de rendre ces massifs les plus résilients possibles face au réchauffement climatique dont l’effet sera très vraisemblablement important en zone méditerranéenne.

Dans ce contexte d’incertitude quant au développement des massifs en raison du changement climatique, il semble vraiment nécessaire de développer des travaux de R&D permettant d’anticiper de la façon la plus fine possible les impacts potentiels d’ici 2050 et 2100 sur les massifs forestiers méditerranéens. Ces travaux peuvent aider à préserver, au moins en partie, les surfaces boisées mais également à aider les gestionnaires et les industriels dans leurs activités de valorisation du bois. Ces travaux de R&D doivent nécessairement privilégier une approche interdisciplinaire pour prendre en compte la complexité des phénomènes et des conséquences sur les peuplements forestiers. En particulier, les aspects permettant d’évaluer la probabilité de survie des espèces ligneuses, l’estimation de leur croissance doivent être privilégiés. Par ailleurs, l’évolution du risque d’incendie de forêt doit aussi constituer un élément d’aide à la décision pour orienter les pratiques de gestion forestières. De tels travaux de R&D doivent enfin aider les gestionnaires à évaluer les possibilités de valorisation de la biomasse ligneuse sur pied ou des résidus et déchets générés lors des activités de gestion, d’autant plus de ces filières de valorisation s’inscrivent dans les objectifs de transition écologique de notre société.

## 8. Références

- Andersson G., Asikainen A., Björheden R., Hall P.W., Hudson J.B., Jirjis R., Mead D.J., Nurmi J. and Weetman G.F., 2002.- Production of forest energy. In: Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A.T. and Smith C.T. (eds), *Bioenergy from Sustainable Forestry. Guiding Principles and Practice*. Kluwer Academic Publishers.- 344p.
- Bados R., Esteban L.S., Perez P., Mediavilla I., Fernandez M.J., Barro R., Corredor R. and Carrasco J.E., 2017.- Study of the production of pelletized biofuels from Mediterranean scrub biomass. 25th European Biomass Conference and Exhibition: 500-505.
- Belton V. and Stewart T. J., 2002.- *Multiple criteria decision analysis: An integrated approach*. Dordrecht: Kluwer Academic
- Bensettiti F., Boulet V., Chavaudret-Laborie C. et Deniaud J., 2005.- « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 4 - Habitats agropastoraux. MEDD/MAAPAR/MNHN. La Documentation française, Paris, 2 volumes : 445 p. et 487 p.
- Bensettiti F., Rameau J.-C. et Chevallier H., 2001.- « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 1 - Habitats forestiers. MATE/MAP/MNHN. La Documentation française, Paris, 2 volumes : 339 p. et 423 p.
- Borges J.G., Diaz-Balteiro L., McDill M.E. and Rodriguez L.C.E., 2014.- *The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications*. Springer, Managing Forest Ecosystems.- 543p.
- Catry F. X., Moreira F., Cardillo E. and Pausas J. G., 2013.- Post-Fire Management of Cork Oak Forests. *In: Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests*, Moreira F., Arianoutsou M., Corona P., De las Heras J., Editors.- 323p.
- Ciais Ph., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogeé J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer Chr., Carrara A., Chevallier F., De Noblet N., Friend A., Friedlingstein P., Grünwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J. M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J. F., Sanz M. J., Schulze E. D., Vesala T. and Valentini R., 2005.- Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, Vol.437, No.7058: 529-533.
- European Union, 1993.- *Second Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe*, 16-17 June 1993, Helsinki/Finland.
- FAO (1982) *Classification and definitions of forest products*. FAO forestry paper 32. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 258 p
- FAO (2010) *Global forest resources assessment 2010: main report*. FAO forestry paper 163. Rome, Italy
- Faustmann M (1849) *On the determination of the value which forest land and immature stands pose for forestry*. In: Gane M (ed) *Martin Faustmann and the evolution of discounted cash flow*. Paper 42. Oxford Institute, Oxford, England; 1968, 54 pp
- Fink A. H., Brücher T., Krüger A., Leckebusch G. C., Pinto J. G. and Ulbrich U., 2004.- The 2003 European summer heatwaves and drought? *Synoptic diagnosis and impacts*. *Weather*, Vol.59, 8: 209-216.
- Fischer E.M., 2007.- *The role of land-atmosphere interactions for European summer heat waves: Past, present and future*, ETH Zurich.
- Galatsidas S., Gounaris N., Vlachaki D., Dimitriadis E., Kiourtsis F., Keramitzis D., Gerwin W., Repmann F., Rettenmaier N., Reinhardt G., Ivanina V., Hanzhenko O., Gnap I., Bogatov K., Barbera F.,

- Mattioli D., Volkmann C., Baumgarten W., 2018.- Revealing Bioenergy Potentials: Mapping Marginal Lands in Europe - The Seemla Approach. 25th European Biomass Conference and Exhibition: 31-37.
- Garbolino E., 2014.- Les bio-indicateurs du climat : principes et caractérisation. Presses des MINES, Développement durable.- 129 p.
- Garbolino E., Daniel W. and Hinojos Mendoza G., (en cours de publication – 2019).- Potential vulnerability of wood energy supply chain towards 2050 in the French Mediterranean area according to the global warming and the evolution of wildland fire hazard. EUBCE 2019.
- Garbolino E., Daniel W., Hinojos Mendoza G. and Sanseverino-Godfrin V., 2017.- Anticipating climate change effect on biomass productivity and vegetation structure of Mediterranean Forests to promote the sustainability of the wood energy supply chain. EUBCE- 25th European Biomass Conference and Exhibition, “Setting the course of a biobased economy”, Stockholm, Sweden, 12-15 June 2017. Ek L., Ehrnrooth H., Scarlat N., Grassi A. and Helm P. editors: 17-29.
- Garbolino E., Sanseverino-Godfrin V. and Hinojos-Mendoza G., 2016.- Describing and predicting of the vegetation development of Corsica due to expected climate change and its impact on forest fire risk evolution. Safety Science, vol. 88: 180–186.
- Garbolino E., Sanseverino-Godfrin V. and Hinojos-Mendoza G., 2017.- Effets probables du réchauffement climatique sur le risque d'incendie de forêt en Corse et adaptation du dispositif juridique de prévention. Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 812, mis en ligne le 24 mars 2017, URL : <http://cybergeog.revues.org/28006>
- Gonzalez-Gonzalez B.D., Sixto H., Alberdi I., Esteban L., Guerrero S., Pasalodos M., Vazquez A. and Canellas I., 2017a.- Estimation of shrub biomass availability along two geographical transects in the Iberian Peninsula for energy purposes. Biomass and Bioenergy, vol. 105: 211-218.
- Gonzalez-Gonzalez B.D., Sixto H., Vazquez A., Montes F., Sanchez-Gonzalez M. and Canellas I., 2017b.- Assessment of shrub biomass availability and environmental impacts of its mechanical harvesting for energy purposes: A methodological approach in the Mediterranean. 25th European Biomass Conference and Exhibition: 133-142.
- GREC-PACA, 2018.- Impacts du changement climatique et transition(s) dans les Alpes du Sud. Cahier thématique du groupe de travail « Montagne ». GREC-PACA.- 48p.
- Grovel R., Pasquier F., Helou T.E., Barthelet D. et Boittin E., 2014.- Bois énergie. L’approvisionnement en plaquettes forestières. ADEME, EDP Sciences.- 225p.
- IGN, 2017.- Le mémento. Inventaire forestier. Edition 2017. IGN.- 17p.
- IPCC, 2014.- Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Cambridge University Press.
- Keenan R.J., 2015.- Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. Annals of Forest Science, 72: 145-167.
- Ladier J., Rey F. et Dreyfus P., 2012.- Guide des Sylvicultures de Montagne Alpes du Sud françaises. ONF, Irstea éditeurs.- 301p.
- Lambin E.F. and Meyfroidt P., 2011.- Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 108(9): 3465–3472.
- Lindner M., Fitzgerald J.B., Zimmermann N.E., Reyer C., Delzon S., van der Maaten E., Schelhaas M.J., Lasch P., Eggers J., van der Maaten-Theunissen M., Suckow F., Psomas A., Poulter B., Hanewinkel M., 2014.- Climate Change and European Forests: What do we know, what are the uncertainties,

- and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, vol. 146: 69-83.
- Lombardini F., Amandier L., Cabannes B. et Deportes E., 2006.- La typologie des suberaies varoises. Un outil pour une rénovation forestière raisonnée. CRPF PACA, ONF.- 15p.
- Lucier A., Ayres M., Karnosky D., Thompson I., Loehle C., Percy K. and Sohngen B., 2009- Forest responses and vulnerabilities to recent climate change. *In: Seppälä R., Buck A., Katila P. (eds) Adaptation of forests and people to climate change: a global assessment report, vol World Series Volume 22. IUFRO Helsinki: 29-52.*
- Luiz C.E. Rodriguez, Maria Pasalodos-Tato, Luis Diaz-Balteiro, and John Paul McTague, 2014.- The Importance of Industrial Forest Plantations. *In The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications. Springer, Managing Forest Ecosystems: 3-26.*
- Madrigal J., Fernández-Migueláñez I., Hernando C., Guijarro M., Vega-Nieva D. J. and Tolosana E., 2017.- Does forest biomass harvesting for energy reduce fire hazard in the Mediterranean basin? a case study in the Caroig Massif (Eastern Spain). *European Journal of Forest Research*, vol. 136 (1): 13-26.
- Marc E. McDill, 2014.- An Overview of Forest Management Planning and Information Management. *In The Management of Industrial Forest Plantations. Theoretical Foundations and Applications. Springer, Managing Forest Ecosystems: 27-59.*
- Moreno-Fernández D., Hevia A., Majada J. and Cañellas I., 2018.- Do Common Silvicultural Treatments Affect Wood Density of Mediterranean Montane Pines? *Forests*, 9 (80): 1-11.
- Newman DH (1988) The optimal forest rotation: a discussion and annotated bibliography. Gen Tech Rep SE-48. USDA Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, 47 p
- Niua S., Luob Y., Li D., Caod S., Xiab J., Li J. and Smithe M.D., 2014.- Plant growth and mortality under climatic extremes: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, Vol.8: 13–19.
- ONERC, 2015.- L’arbre et la forêt à l’épreuve d’un climat qui change. Rapport au Premier ministre et au Parlement. La documentation Française.- 181p.
- ONF, 2006.- Directive régionale d’aménagement. Méditerranée Provence-Alpes Côte d’Azur. Préalpes du Sud. ONF éditeur.- 124p.
- ONF, 2006.- Schéma régional d’aménagement. Méditerranée Provence-Alpes Côte d’Azur. Zone méditerranéenne de basse altitude.- 104p.
- Paquette A, Messier C (2010) The role of plantations in managing the world’s forests in the Anthropocene. *Front Ecol Environ* 8(1):27–34.
- PEFC, 2017.- Règles de la gestion forestière durable – Exigences pour la France métropolitaine. PEFC/FR ST 1003-1 : 2016. PEFC France.- 17p.
- Peterson D.L., Millar C.I., Joyce L.A., Furniss M.J., Halofsky J.E., Neilson R.P. and Morelli T.L., 2011.- Responding to climate change in national forests: a guidebook for developing adaptation options. General Technical Report. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Proto A.R. and Zimbalatti G., 2016.- Firewood cable extraction in the southern Mediterranean area of Italy. *Forest Science and Technology* vol 12(1): 16-23.
- Reichstein M., 2005.- Severe impact of the 2003 European heat wave on ecosystems. Potsdam Institute for Climate Impat Research. URL: <https://www.pik-potsdam.de/news/press-releases/archive/2005/severe-impact-of-the-2003-european-heat-wave-on-ecosystems>

- Routa J., Pyörälä P., Alam A., Kilpeläinen A., Peltola H. and Kellomäki S., 2013.- Integrated Production of Timber and Energy Biomass in Forestry. In: Forest BioEnergy Production. Management, Carbon Sequestration and Adaptation, Kellomäki S., Kilpeläinen A. and Alam A. editors.- 268p.
- Stanchi S., Freppaza M., Agnellib A., Reinschc T. and Zanini E., 2012.- Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): A review. Quaternary International, vol. 265: 90-100.
- Todaro L., Scopa A., De Franchi A.S., 2007.- Caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive di aree collinari e montane della Basilicata. Forest@, vol. 4(1): 42-50.
- Weiskittel AR, Hann DW, Kershaw JA, Vanclay JK (2011) Forest growth and yield modeling. Wiley, West Sussex.- 411.