



LE CÈDRE EN FRANCE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : BILAN ET RECOMMANDATIONS

F. Courbet (coordonnateur)

M. Lagacherie - P. Marty - J. Ladier - C. Ripert - P. Riou-Nivert - F. Huard - L. Amandier - É. Paillassa

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| LE CÈDRE : POURQUOI ? | 5 |
| QUEL CÈDRE POUR LES FORÊTS FRANÇAISES ? | 6 |
| LE CÈDRE, SOUS QUEL CLIMAT ? | 8 |
| INFLUENCE DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES LOCAUX | 11 |
| EFFET DE LA COMBINAISON DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES : QUELQUES EXEMPLES TYPES | 14 |
| RECOMMANDATIONS POUR L'INSTALLATION DU CÈDRE | 17 |
| CARACTÉRISTIQUES ET USAGES DU BOIS..... | 21 |
| QUEL ITINÉRAIRE SYLVICOLE ADOPTER ? | 23 |
| ASPECTS PHYTOSANITAIRES COMPLÉMENTAIRES | 27 |
| POUR EN SAVOIR PLUS..... | 28 |



1 - Le cèdre au mont Ventoux : une acclimatation parfaitement réussie.



Cèdres au mont Ventoux

LE CÈDRE : POURQUOI ?



2 - Suite à des sécheresses récentes, certaines espèces comme l'épicéa commun (à gauche) ou le douglas (à droite) connaissent actuellement des problèmes de dépérissement, ici dans le Tarn.

Le changement climatique en cours révèle les limites d'espèces jusqu'ici adaptées à leur environnement. Parmi les conifères, l'épicéa commun, le sapin pectiné ou le douglas montrent parfois des symptômes inquiétants de dépérissement. Les modèles d'évolution du climat prévoient, outre une élévation de la température moyenne comprise entre 2 et 5°C d'ici la fin du siècle, une plus grande fréquence d'événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les tempêtes. Les peuplements forestiers devraient connaître durant leur longue vie une évolution importante des conditions écologiques qui conditionnent leur croissance et leur survie.

Face à cette situation, le sylviculteur doit adapter sa gestion et envisager l'utilisation d'espèces moins sensibles à la sécheresse. Le cèdre en fait partie. Largement utilisé dans les forêts du quart sud-est de la France depuis son introduction en 1862, il a fait la preuve de son adaptation dans une partie de la région méditerranéenne dont le climat risque à l'avenir de concerner une part grandissante du territoire français. Malgré les conditions de milieu difficiles, le cèdre peut montrer une productivité intéressante, donner des individus bien conformés et un bois de qualité, durable. Très apprécié en outre pour son intérêt paysager, il est pour le moment indemne de problème sanitaire grave.

Pour autant, que sait-on de ses capacités d'adaptation aux climats et aux sols de la zone tempérée ? De récents problèmes de dépérissement, constatés dans certains

arboretums suite à la canicule de 2003, ont rappelé que, **pour réussir, un reboisement en cèdre devait répondre à des conditions strictes liées au milieu, au matériel végétal, aux techniques d'installation et de conduite du peuplement.**

Pour aider les praticiens et responsables dans leur prise de décision, cette brochure rassemble les connaissances utiles, disponibles dans la bibliographie¹ ou issues de travaux de recherche récents. En outre, une enquête nationale spécifique, réalisée en 2011, a permis de faire le point sur l'expérience accumulée.

UNE ENQUÊTE NATIONALE

Destinée à rassembler les informations sur les références existantes en matière de cèdre à travers la France, une enquête a été lancée en 2011 auprès des équipes techniques de l'INRA, IRSTEA, ONF, CNPF (CRPF et IDF). Un formulaire de collecte d'informations sur la localisation du relevé, la description du milieu, du peuplement et de son historique a été diffusé. Une analyse des causes possibles des échecs et des réussites constatés était sollicitée sous forme d'une libre expression. 196 relevés, dont 90 hors zone méditerranéenne, ont été reçus. Répartis dans 42 départements, 62% sont situés en forêt privée (voir carte 11 p. 10). Près d'une centaine disposaient d'informations permettant une prise en compte complète de leurs résultats.

¹ Les numéros entre crochets renvoient aux références regroupées pages 28 et 29.

QUEL CÈDRE POUR LES FORÊTS FRANÇAISES ?

Le genre *Cedrus* comprend 4 espèces. Toutes ne sont pas adaptées aux forêts françaises.

LE CÈDRE DE L'ATLAS (*CEDRUS ATLANTICA*):

Le cèdre de l'Atlas est originaire des montagnes d'Afrique du Nord (Maroc et Algérie).

En France, il a été introduit en forêt dès le milieu du XIX^e siècle au mont Ventoux, dans le Luberon et les Corbières (massif du Riassesse). Certains peuplements de cette époque subsistent encore et se régénèrent. Le cèdre est l'un des meilleurs exemples d'acclimatation réussie en France. Les reboisements ont été ensuite progressivement étendus d'abord aux basses et moyennes montagnes du Sud-Est puis,

plus récemment, à diverses autres régions (Midi-Pyrénées, Lot et Garonne-Dordogne, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes et même la Normandie et le Sud de la Bretagne. Voir carte 11 p. 10). Le cèdre est prépondérant sur environ 20 000 ha².

Ces reboisements, surtout constitués à partir des provenances artificielles françaises, ont permis de préciser ses limites d'utilisation et la façon de conduire les peuplements, de l'installation aux éclaircies. Dans les meilleures conditions, leur hauteur dominante peut atteindre 30 à 40 m.



3 - Cédraie de Chélia en Algérie.



4 - Cônes et feuillage de cèdre de l'Atlas.

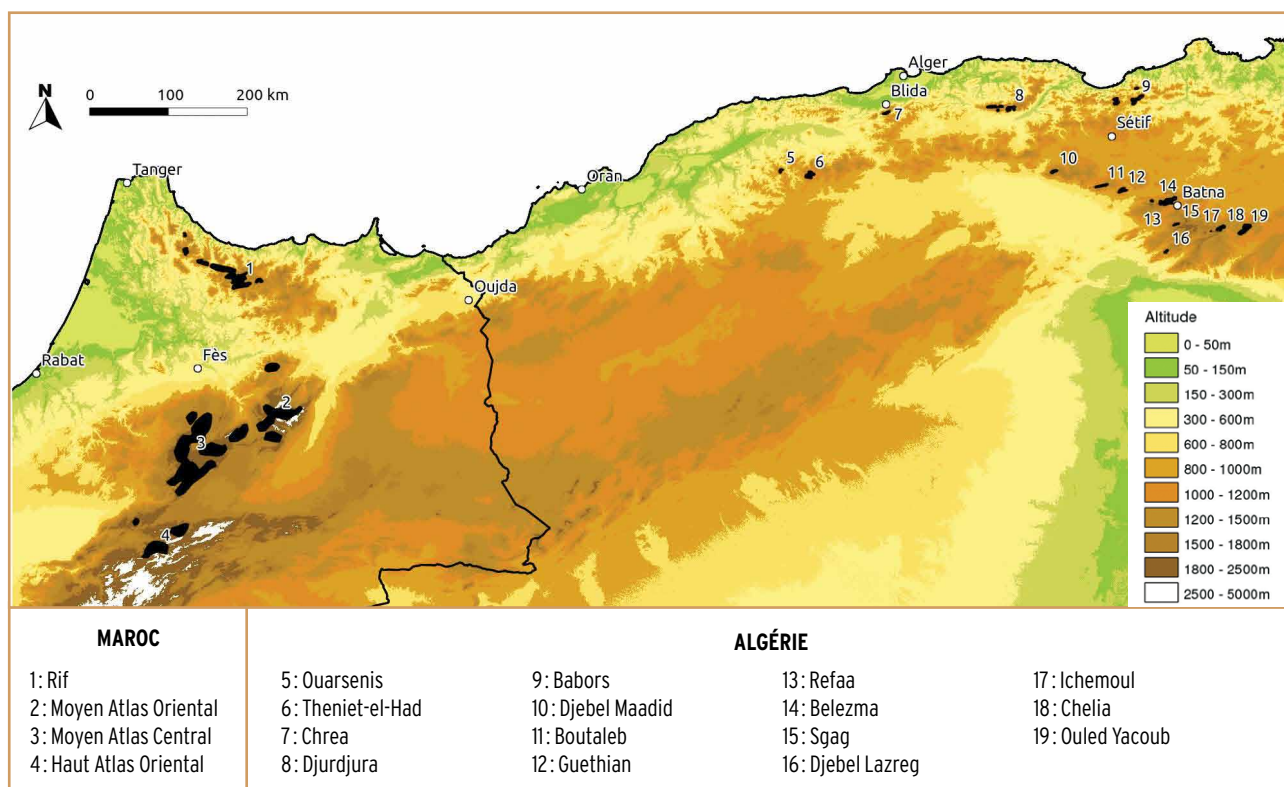


5 - Cèdres au Moyen Atlas marocain.



6 - Cèdres au mont Ventoux.

² Formations boisées de production, inventoriées par l'IGN de 1991 à 2003 selon les départements.



7 - Aire naturelle du cèdre de l'Atlas (en noir).

LES AUTRES CÈDRES

■ LE CÈDRE DU LIBAN (*CEDRUS LIBANI*)

Ce cèdre, originaire du Moyen-Orient, est abondant en Turquie mais aussi présent au Liban et en Syrie. En France, on le trouve surtout dans les parcs à l'état isolé. Il est plutôt adapté aux terrains calcaires [13]. La distinction entre cèdre du Liban et cèdre de l'Atlas n'est pas aisée.

Aujourd'hui, il n'existe pas de provenance sélectionnée pour le cèdre du Liban. Plusieurs plantations comparatives, installées dans le Sud de la France, ont montré [12, 13]:

- une forte **sensibilité aux gelées tardives des provenances du Liban**, qui sont donc à éviter ;
- **l'intérêt de quelques provenances turques** de l'Est du Taurus, qu'on peut trouver parfois en pépinière, **pour les sols calcaires à sécheresse marquée**.

Les essais doivent cependant être poursuivis avant de développer son introduction.

■ LE CÈDRE DE CHYPRE (*CEDRUS BREVIFOLIA*)

Ce cèdre, originaire de Chypre, ne présente pas d'intérêt pour une introduction en France visant la production de bois, en raison d'une faible croissance et d'une sensibilité aux gelées tardives [13].

■ LE CÈDRE DE L'HIMALAYA (*CEDRUS DEODARA*)

Originaire de l'Ouest de l'Himalaya, ce cèdre présente une bonne croissance mais est plus sensible à la sécheresse [12] et aux gelées tardives que le cèdre de l'Atlas. Il est pour l'instant essentiellement utilisé dans les parcs en ornement.



LES INFORMATIONS DONNÉES DANS LA SUITE DE CETTE BROCHURE CONCERNENT UNIQUEMENT LE CÈDRE DE L'ATLAS, QUI FORME LA MAJORITÉ DES CÉDRAIES FRANÇAISES.

LE CÈDRE, SOUS QUEL CLIMAT ?

Le climat des moyennes montagnes méditerranéennes, qui correspondent à l'aire naturelle du cèdre, se caractérise par des hivers assez rigoureux et souvent enneigés. La pluviométrie totale y est assez variable selon la latitude mais sa répartition dans l'année fait toujours état de 2 à 4 mois secs³. Ce climat se caractérise aussi par une forte luminosité et une atmosphère sèche une grande partie de l'année. La perspective d'une extension des zones d'installation du cèdre doit prendre en compte sa capacité à supporter les caractéristiques climatiques des autres régions de France et leurs aléas.

LE CÈDRE TOLÈRE UNE LARGE GAMME DE TEMPÉRATURES

Dans son aire naturelle, le cèdre de l'Atlas connaît des températures annuelles moyennes variant de 7,5°C à 15°C, avec une moyenne des minimales du mois le plus froid comprises entre -1°C et -8°C et une moyenne des maximales du mois le plus chaud pouvant aller jusqu'à +32°C [3].

Il peut résister à des températures allant jusqu'à +41°C mais ne peut subsister, en dormance, en dessous de -25°C⁴.

LE GEL, UN FACTEUR À SURVEILLER

Le cèdre est **sensible aux gelées tardives** de printemps. S'il n'est pas fortement affecté dans son aire d'origine et en région méditerranéenne, plusieurs dégâts ont déjà été relevés dans les régions plus froides et plus continentales, telles que le Jura ou les Ardennes. **Certaines provenances méridionales**, encore en test, peuvent débousser 2 à 3 semaines plus tôt que les autres et sont donc **plus vulnérables**. La plantation sous abri est susceptible de réduire ce risque dans le jeune âge.

Après un hiver rigoureux, il peut être sujet au rougissement physiologique qui se manifeste en cas de brusque radoucissement, entraînant une demande évapo-transpiratoire que le sol, encore gelé, ne peut satisfaire.

Il faut noter l'action bénéfique, voire nécessaire, de l'alternance gel-dégel pour l'éclatement des cônes et donc la régénération naturelle.

TOLÉRANT À LA SÉCHERESSE MALGRÉ DES BESOINS EN EAU ASSEZ IMPORTANTS

Les stations où le cèdre est bien installé reçoivent en moyenne **entre 800 et 1500 mm de précipitations annuelles**, aussi bien dans l'aire d'origine qu'en France. Exceptionnellement, il peut donner de bons résultats avec des pluviométries plus faibles, s'il y a compensation édaphique (voir par exemple [38]).

Le cèdre, contrairement aux pins, n'économise pas l'eau : **la régulation stomatique de sa transpiration est plutôt moyenne**. Il continue en effet à photosynthétiser et à croître pour des niveaux de sécheresse assez prononcés [26]. Ceci expliquerait les dessèchements de cime observés et la mortalité subite d'individus parfois vigoureux, en l'absence d'agent biotique responsable (photo 8). **La tolérance du cèdre à la sécheresse réside essentiellement dans sa capacité à puiser l'eau en profondeur** via son système racinaire⁵. Le cèdre peut réagir à la sécheresse en interrompant sa croissance en longueur⁶ [40], ou en diminuant la taille de ses aiguilles et donc son évapotranspiration (photo 9). Comme chez d'autres espèces (pin sylvestre, épicéa commun), la sécheresse peut donner lieu à des nécroses cambiales qui provoquent des écoulements de résine le long du tronc (photo 10). Elles peuvent ensuite cicatriser.

Le cèdre n'étant pas une essence de climat océanique, des incertitudes persistent sur son adaptation à un fort taux d'humidité atmosphérique. En dehors de la zone méditerranéenne, il se trouve confronté à des champignons pathogènes auxquels il se révèle sensible (armillaire, fomès) (voir photo 19 et pages 26-27).

³ H. Gaussen définit un mois comme sec si les précipitations P exprimées en mm sont inférieures au double de la température moyenne T exprimée en °C ($P < 2T$).

⁴ Données climatiques de février 1956, d'observations de mortalité au mont Aigoual [17] et de survie à l'arboretum d'Amance en Lorraine.

⁵ Il a pu être montré en conditions contrôlées que le cèdre développait davantage ses racines que sa partie aérienne en cas de sécheresse. D'autres études laissent à penser que le cèdre soumis à des stress hydriques réguliers et modérés, se révélerait plus résistant à des sécheresses prononcées et occasionnelles que des cèdres plus régulièrement alimentés en eau, ses racines s'étant plus développées en profondeur [20, 25, 28].

⁶ On a pu observer que la perte de croissance en hauteur constatée pendant la sécheresse estivale pouvait être rattrapée l'année suivante en cas de pluviométrie normale [29]. Ceci peut s'expliquer par une mise en réserve, le cèdre continuant à photosynthétiser pendant la sécheresse.



8 - Cèdre vigoureux mort subitement à cause du déficit hydrique.



9 - Branche de cèdre en situation de stress hydrique ayant perdu des aiguilles et développé des aiguilles plus courtes (microphyllie).



10 - La sécheresse peut provoquer des nécroses cambiales à l'origine d'écoulements de résine importants.

SENSIBLE AU VENT ET À LA NEIGE LOURDE, PEU SENSIBLE AU FEU

Son bois cassant rend le cèdre sensible aux dégâts de vent ou de neige lourde (**bris de cime et de branches**). Lorsqu'il a pu s'enraciner profondément, il est moins sujet au risque de chablis.

Les vents froids ou secs peuvent aggraver l'effet du gel ou de la sécheresse.

L'évolution du climat augmentera et étendra le risque d'incendies à des régions jusqu'ici peu touchées ou épargnées. La litière de cèdre, formée d'aiguilles courtes, est assez compacte et peu inflammable [44]. Les peuplements, surtout s'ils sont fermés, sont peu combustibles et constituent des freins efficaces à la propagation du feu.

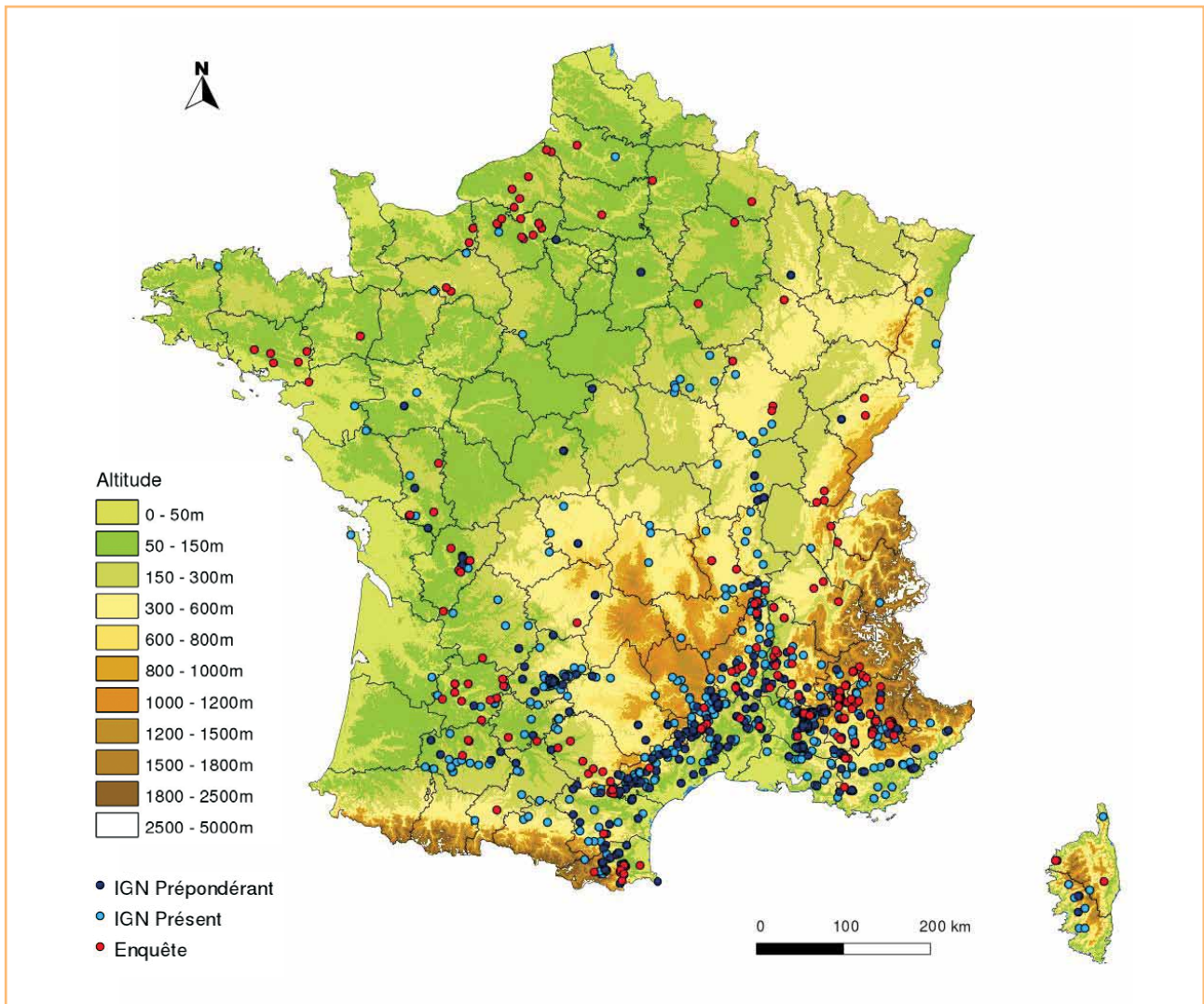
RÉPARTITION ET POSSIBILITÉS D'EXTENSION

L'importance et la répartition du cèdre en France sont le résultat de son adaptation aux conditions environnementales mais aussi de l'historique des reboisements (politique de subventions, caractère incitatif des premières introductions voisines réussies). La carte 11 page 10 situe les relevés des inventaires successifs de l'IGN qui indiquent la présence de cèdre. Leur densité est proportionnelle à la surface réelle occupée. On remarquera en particulier la présence du cèdre **dans les régions où le climat reste sous influence méridionale** : axe rhodanien, Sud-Ouest, bordures sud et ouest du Massif central jusqu'en Poitou-Charentes. Y figurent également les relevés de l'enquête (voir aussi p. 5) qui n'ont pas

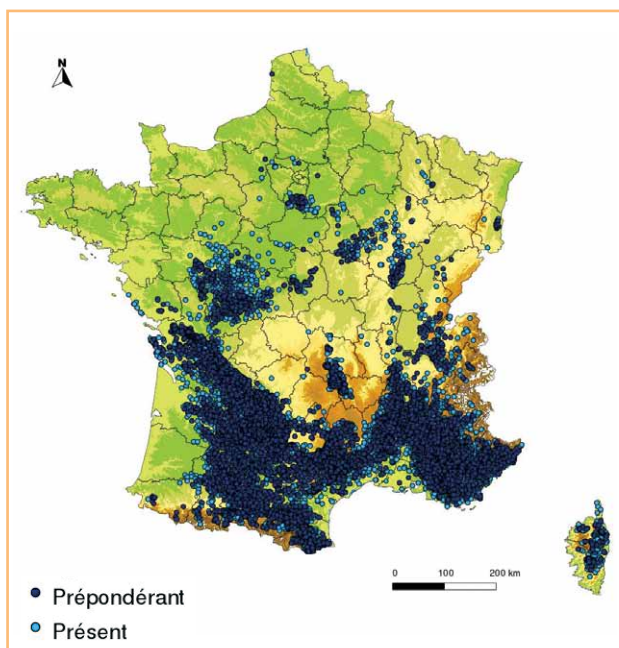
de valeur statistique de représentativité, mais qui montrent que des reboisements existent aussi en Bretagne et Normandie. Toutefois, dans la plupart des cas, la jeunesse de ces plantations ne donne pas toujours un recul suffisant pour tirer des conclusions définitives sur l'adaptation du cèdre au climat local.

Le réchauffement prévu du climat ainsi que l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses estivales devraient conduire à un relèvement de la limite altitudinale basse du cèdre, provoquant son exclusion d'une part de plus en plus importante de la région méditerranéenne. En montagne, il devrait monter en altitude et pourrait être étendu progressivement vers le Sud-Ouest, où l'introduction est d'ores et déjà possible, l'Ouest puis le Centre et le Nord-Est.

La résistance du cèdre à la sécheresse est un fait. Mais elle a aussi ses limites. Des dépérissements ont été constatés dans les peuplements les plus au sud de son aire naturelle, au Maroc et en Algérie (photo 13). Suite à la canicule de 2003, de la mortalité est aussi apparue en France dans quelques peuplements situés en conditions limites, à trop basse altitude en région méditerranéenne ou sur sols inadaptés en région tempérée. En général, les vieux arbres développés sont plus touchés que les jeunes régénérations, ce qui milite pour une exploitation précoce et confirme que **le bon comportement dans le jeune âge n'est pas toujours le garant d'une bonne adaptation à long terme**.



11 - Localisation des relevés IGN contenant du cèdre et des relevés issus de l'enquête Cèdre 2011 (voir pages 5 et 9).



12 - Localisation des relevés IGN contenant du chêne pubescent. En région méditerranéenne, la zone conseillée pour le cèdre correspond à l'étage bioclimatique du chêne pubescent. En première approche et sous réserve de la validité de cette observation dans les autres régions, la présence du chêne pubescent est un argument en faveur de l'acclimatation du cèdre.



13 - Cèdres morts dans le massif du Belezma en Algérie (voir carte 7 page 7).

INFLUENCE DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES LOCAUX

Les caractéristiques du sol sont aussi déterminantes que les facteurs climatiques pour établir les potentialités d'utilisation du cèdre sur le territoire. L'autécologie du cèdre est bien connue en région méditerranéenne, où il a souvent été utilisé en reboisement depuis son introduction en 1862. Si ces connaissances peuvent être utiles pour la zone tempérée, elles sont insuffisantes pour proposer une clé précise d'identification des stations propices. Les informations recueillies lors de l'enquête nationale sur des peuplements suivis de cèdre ont néanmoins permis de confirmer l'influence de certains facteurs écologiques et de préciser les conditions de son extension en climat tempéré où il montre en moyenne une meilleure productivité qu'en zone méditerranéenne⁷.

ALTITUDE, EXPOSITION, TOPOGRAPHIE

L'altitude, et dans une moindre mesure l'exposition, interviennent essentiellement par le biais de leur effet sur les températures et les précipitations. La limite supérieure en altitude pour le cèdre devrait progresser sous l'effet du réchauffement climatique. La position topographique joue à la fois sur la circulation de l'eau et sur l'épaisseur des sols. Elle a un rôle d'autant plus déterminant que le relief est accentué.

■ EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE

En région méditerranéenne, sa zone altitudinale de prédilection semble bien correspondre à celle du chêne pubescent. **En dessous de 400 m** d'altitude, le cèdre est quasiment exclu sauf compensation topo-édaphique forte.

Il faut privilégier les altitudes **comprises entre 600 et 1000 m en versant nord, 700 et 1200 m en versant sud** pour trouver les conditions optimales de pluviométrie et de température.

La topographie détermine la circulation latérale de l'eau en surface ou dans les horizons superficiels. Les terrains convexes ou situés en haut de pente ont donc généralement un bilan hydrique défavorable par rapport aux situations concaves ou basses où l'eau peut se concentrer. Par ailleurs, la répartition des matériaux, par le biais de l'érosion superficielle et du colluvionnement, fait que **l'épaisseur des sols est souvent corrélée à la forme du terrain**. Ceci accentue les liens entre topographie locale et bilan hydrique : les sols profonds et bien alimentés en eau

| Altitude conseillée en région méditerranéenne | |
|---|---|
| Favorable | > 600 m en ubac > 700 m en adret |
| Moyenne | 400 à 600 m en ubac 500 à 700 m en adret |
| Déconseillée sauf compensation édaphique forte | < 400 m en ubac < 500 m en adret |

se trouvent préférentiellement dans les situations de bas de pente, vallon, plaine et les sols défavorables dans les zones de départ en haut de pente, sommet, croupe. Le milieu de pente est une situation intermédiaire, de transit, dont les potentialités forestières peuvent être très diverses [35].

■ EN ZONE TEMPÉRÉE

On ne peut guère fournir de recommandation générale sur ces paramètres sans se référer à l'échelle de la petite région et à ses caractéristiques climatiques même si le passage en zone tempérée s'accompagne logiquement d'un abaissement des limites altitudinales. Les introductions sont envisageables dans les zones de **plaine et moyenne montagne**, jusqu'à des altitudes probables allant de **1000-1200 m dans les Alpes du Sud** selon l'exposition, à **1000 m dans les Alpes du Nord, Pyrénées et Massif central et 700 m dans le Jura et les Vosges**⁸.

⁷ Les peuplements situés en zone tempérée ont le plus souvent moins de 40 ans. Le bon comportement des jeunes peuplements ne présage pas du futur, l'effet d'un facteur limitant pouvant se révéler tardivement. Par exemple, les besoins en eau augmentant avec leur développement, leur inadaptation au couple sol-climat peut se manifester lors d'une sécheresse particulièrement marquée.

⁸ Ces limites altitudinales sont calculées à partir des observations de l'arrière-pays méditerranéen, transposées aux autres massifs sur la base d'une diminution d'un degré pour 200 km de latitude ou pour 150 m d'altitude. Ces limites évolueront avec le réchauffement climatique.

ROCHE-MÈRE ET MATÉRIAU

Les résultats des introductions sont très variables selon les substrats. Des tendances se dégagent cependant nettement sur toute son aire de répartition. La nature de la roche-mère, ou du matériau recouvrant, détermine souvent les potentialités de croissance du cèdre ou même parfois sa capacité à subsister, même si des compensations de facteurs peuvent atténuer ou masquer leur influence.

Les croissances les plus fortes sont observées sur roche siliceuse en particulier les schistes et micaschistes. On le trouve aussi sur grès, gneiss, basalte, dolérite avec de bons résultats. Sur granite donnant des arènes granitiques riches en sable grossier à faible réserve utile, les résultats sont plus contrastés et varient selon la profondeur du sol. Hormis la nature du substrat, son aspect est parfois important à connaître.

Le cèdre tolère bien le calcaire où sa croissance est moyenne.

Les substrats trop riches en magnésium (dolomie) [34], donnant des sols peu aérés (marnes) ou trop pauvres (quartzite) sont à éviter.

Sur sols superficiels, notamment en région méditerranéenne, trois caractéristiques du substrat en plus de la nature de la roche sont importantes à prendre en compte pour bien évaluer les possibilités de prospection racinaire en profondeur:

- > l'origine des matériaux, en distinguant les alluvions, colluvions, éboulis, plus favorables car souvent terreux et meubles, des altérites (matériaux d'altération de la roche en place) moins propices à une bonne croissance du cèdre;

- > la fissuration de la roche et le pendage des couches géologiques opposé à la pente sont aussi des facteurs favorables (photo 14);

- > la présence d'un horizon ou de matériau induré en profondeur infranchissable par les racines constitue un facteur très défavorable (photos 15).

| | Roche-mère | Fissuration et diaclases (si sol superficiel) | Pendage (si sol superficiel) | Matériau | Horizon induré |
|-------------|--|---|-------------------------------------|----------------------------|----------------------|
| Favorable | roche siliceuse non granitique ou alluvion récente | nombreuses | perpendiculaire à la pente | alluvion, terre agricole | absence |
| Moyen | calcaire, calcaire dolomitique, alternance calcaire/marne, alluvion ancienne | présence | oblique par rapport à pente | colluvion, éboulis | à forte profondeur |
| Défavorable | granite, substrat marno-calcaire | absence | dans le sens de la pente (conforme) | altérite, lapiaz découvert | à profondeur moyenne |
| Déconseillé | marne, argillite, dolomie | - | - | - | à faible profondeur |



14 - Malgré un sol très superficiel, ce cèdre a pu implanter ses racines dans le calcaire fissuré.



15 - Un matériau infranchissable par les racines (ici la grès en clair) est un handicap réhibitoire s'il est situé à faible profondeur. La colluvion située au dessus est bien prospectée par les racines de cèdre.



SOL

La tolérance du cèdre à la sécheresse s'explique par sa capacité à puiser l'eau en profondeur. Tout diagnostic stationnel doit obligatoirement intégrer la profondeur prospectable. Il est capable d'infiltrer ses racines dans les fissures des roches en place mais elles seront au contraire bloquées par la présence d'un horizon induré (alios, réprécipitation du calcaire...), argileux, compact, engorgé ou simplement hydromorphe. Les observations faites en région tempérée confirment les conditions de croissance et de bonne santé du cèdre mises en évidence en région méditerranéenne.

L'épaisseur du sol est le facteur qui explique le mieux la croissance en hauteur des peuplements. Ainsi, en région méditerranéenne, une proportion d'affleurement rocheux supérieure à 10% qui témoigne d'un sol superficiel, est un facteur défavorable.

Le cèdre est très sensible à l'aération du sol. Il valorise, mieux que d'autres essences, les sols caillouteux ou même riches en blocs pourvu qu'ils ne constituent pas un obstacle infranchissable. La charge en éléments grossiers ou un sol à dominante sableuse, surtout s'il s'agit de sable fin, ne sont pas des handicaps si la profondeur est suffisante pour assurer une

réserve utile convenable. Il faut donc éviter les sols peu épais riches en sables grossiers, développés sur arène granitique. Si la texture sablo-limoneuse est la plus favorable, le cèdre craint par dessus tout les textures très argileuses. Pour la même raison, les sols non structurés, compacts, massifs lui sont défavorables.

Le cèdre ne s'enracine pas dans les horizons hydromorphes. Aucune cédraie n'est signalée sur sol franchement hydromorphe, engorgé à nappe permanente ou temporaire. Les traces d'hydromorphie, même peu marquées, dans les 50 premiers centimètres sont souvent associées à des problèmes sanitaires : armillaire, dépérissement... Si l'hydromorphie est assez profonde, il peut faire « illusion » surtout dans le jeune âge mais il sera alors très sensible aux épisodes de sécheresse (photos 27 page 16).

Le cèdre tolère une large gamme de pH. Il est déconseillé sur les sols trop acides (podzoliques), comme ceux des landes de Gascogne. Il donne de moins bons résultats en cas de forte charge en calcaire actif dans la terre fine. La richesse chimique du sol a une influence très positive sur sa croissance, et compense parfois des volumes prospectables limités. Sur sol pauvre, l'installation et la croissance du cèdre sont très mauvaises : sa réaction positive dans quelques essais de fertilisation, notamment en phosphore, confirme l'importance d'une bonne disponibilité en éléments minéraux.

| | Profondeur du sol | Affleurements rocheux | Éléments grossiers | Texture | Structure et compacité | pH | Hydromorphie |
|-------------|-------------------|-----------------------|--------------------|--|-------------------------------------|---|---|
| Favorable | > 60 cm | aucun | < 30 % | équilibrée, limon sableux, sable fin limoneux | aérée (agrégats) | 4 à 6,5 Peu acide à neutre | absence |
| Moyen | 30 à 60 cm | rare | 30 à 60 % | autres cas | meuble, particulaire, peu compacte | 7 Sol décarbonaté (réaction HCl nulle ou faible) | faibles traces d'hydromorphie après 50 cm de profondeur |
| Défavorable | < 30 cm | > 10 % | > 60 % | dominée par le sable grossier si profondeur du sol < 60 cm | assez compacte | > 7 Terre fine carbonatée (réaction HCl forte) | traces d'hydromorphie avant 50 cm de profondeur |
| Déconseillé | - | - | - | argileuse | massive, compacte ou sans structure | < 4 Sol pauvre de type podzolique | engorgement. Nappe permanente ou temporaire |

CONNAÎTRE ET RECONNAÎTRE LA CARENCE EN BORE

Sur certaines roches-mères siliceuses pauvres et en conditions d'alimentation en eau limitantes (phase d'installation sur sol filtrant...) le cèdre peut présenter des symptômes très spécifiques liés à une carence en bore. Après la plantation, les pousses terminales (axe principal et branches) sèchent, relayées par les pousses latérales qui sèchent à leur tour, etc. Les cèdres adoptent alors un **port buissonnant caractéristique, dit aussi « en boule »**. Ce phénomène a été signalé surtout sur granite* dans l'Hérault, en Ardèche et en Corrèze, sur gneiss en Haute-Loire, sur basalte et plus rarement et moins gravement sur schiste. Les symptômes disparaissent parfois d'eux-mêmes lorsque les arbres ont suffisamment étendu leur système racinaire ou après un apport externe en bore (photo 16) [30, 31, 32].

* Le risque est important si le granite est pauvre (leucogranite, par exemple).

16 - Reprise de dominance apicale après apport de bore, sur un cèdre auparavant buissonnant.



EFFET DE LA COMBINAISON DES FACTEURS ÉCOLOGIQUES : QUELQUES EXEMPLES TYPES

L'examen de l'influence des facteurs écologiques, indépendamment les uns des autres, sur le développement du cèdre n'est pas suffisant. L'analyse stationnelle examine l'ensemble de ces facteurs et l'effet de leur combinaison, les éventuelles compensations, les facteurs limitants, etc. Les exemples ci-dessous, tirés de l'enquête nationale, illustrent différentes situations types de zones tempérée et méditerranéenne, combinant les facteurs pédologiques, climatiques, topographiques... Les résultats sur la vigueur et l'état sanitaire du cèdre sont présentés. Ils ne sont pas toujours corrélés. Certains facteurs défavorables peuvent s'exprimer tardivement, empêchant de se baser sur les peuplements trop jeunes pour apprécier leur adaptation au milieu. L'objectif n'est pas ici d'établir un guide de stations mais d'aider le praticien dans l'analyse du milieu et de son influence.

PEUPELEMENTS SUR CALCAIRE

| Número photo | Département | Altitude (m) | Topographie | Exposition | Tm ⁹ (°C) | Tx ⁹ (°C) | Pluviométrie annuelle (mm) | Pluviométrie juin-juil.-août (mm) | Substrat | Profondeur du sol (cm) | Structure et compacité dominantes | Texture dominante | Éléments grossiers | Hydromorphie | Ho (m) | Âge (an) | Croissance | État sanitaire |
|--------------|-------------|--------------|-------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------|--------|----------|------------|----------------|
| 17 | 84 | 1010 | mi-versant | S0 | 9,3 | 23,8 | 1084 | 186 | calcaire fissuré | 45 | peu compacte, particulaire | argile limoneuse | 45 % | non | 20 | 77 | + | ++ |
| 18 | 52 | 367 | plateau | - | 9,5 | 23,4 | 922 | 209 | calcaire fissuré | 20 | peu compacte, particulaire | argile limoneuse | 30 % | non | 15 | 36 | + | + |
| 19 | 16 | 106 | plateau | - | 11,8 | 25,6 | 858 | 156 | calcaire | 120 | assez compacte, particulaire | sable limoneux puis argile | 0 % | engorg. tempor. localisé | 17 | 23 | ++ | - |

Favorable
 Moyen
 Défavorable
 Déconseillé



17 - Cédraie typique de l'arrière pays méditerranéen sur calcaire fissuré. Malgré la faible profondeur du sol (rendzine), et la forte proportion d'éléments grossiers, la croissance est correcte grâce à la pluviométrie et aux fissures exploitées par les racines. (Vaucluse).



18 - Croissance limitée par la faible profondeur du sol et la dominance de l'argile mais rendue possible par la présence de fissures. Le cèdre permet de valoriser ce type de terrain peu propice à de nombreuses essences. (Haute-Marne).



19 - Peuplement très hétérogène. La croissance est majoritairement très bonne. Mais un horizon argileux à - 30 cm, associé à un engorgement temporaire à certains endroits, a entraîné un phénomène de dépérissement localisé associé à la présence d'armillaire. (Charente).

⁹ Tm: température moyenne annuelle; Tx: température moyenne des maximales du mois le plus chaud.

PEUPELEMENTS SUR ROCHE ACIDE

| Número photo | Département | Altitude (m) | Topographie | Exposition | Tm 10 (°C) | Tx 10 (°C) | Pluviométrie annuelle (mm) | Pluviométrie juin-juil.-août (mm) | Substrat | Profondeur du sol (cm) | Structure et compacité dominantes | Texture dominante | Éléments grossiers | Hydromorphie | H0 (m) | Âge (an) | Croissance | État sanitaire |
|--------------|-------------|--------------|-----------------|------------|------------|------------|----------------------------|-----------------------------------|----------|------------------------|-----------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|--------|----------|------------|----------------|
| 20 | 11 | 740 | haut de versant | N | 11,5 | 26,6 | 940 | 134 | schiste | 100 | meuble | limon argileux | 20 % | non | 34,7 | 113 | ++ | ++ |
| 21 | 35 | 70 | plateau | - | 11,3 | 23,9 | 730 | 136 | schiste | 40 | peu compacte, particulaire | limon | 5 % | non | 20,6 | 45 | + | + |
| 22 | 42 | 550 | mi-versant | SO | 10,4 | 26,5 | 572 | 182 | granite | 40 | peu compacte, particulaire | sable argileux | 55 % | non | 18 | 75 | - | + |
| 23 | 56 | 70 | plateau | - | 11,5 | 23,9 | 817 | 129 | granite | 80 | meuble, agrégats | limon sableux | 20 % | non | 13,7 | 21 | + | + |



20 - Le climat est favorable. Le sol présente une très bonne réserve utile et pas de facteur limitant. Croissance et état sanitaire sont très satisfaisants. (Aude).



21 - Même avec un sol peu profond, le schiste reste un bon substrat. La pluviométrie du climat océanique compense la faible réserve en eau du sol. La richesse chimique due à l'antécédent agricole est également un facteur favorable. (Ile-et-Vilaine).



22 - Le sol présente de nombreux facteurs limitants: forte charge en éléments grossiers, dominance de sable grossier, sol pauvre et faible réserve non compensée par le climat. La fertilité est faible. (Loire).



23 - La profondeur importante du sol et la moindre charge en éléments grossiers compense la texture filtrante. Le sol reste pauvre mais les résultats sont meilleurs que ceux du relevé n° 21. Une légère fertilisation P-K 19-19 a été apportée au pied des plants dans cette ancienne lande. (Morbihan).

¹⁰ Tm: température moyenne annuelle; Tx: température moyenne des maximales du mois le plus chaud.

PEUPELEMENTS SUR MARNE, ARGILE OU DOLOMIE

| Numéro photo | Département | Altitude (m) | Topographie | Exposition | Tm ¹¹ (°C) | Tx ¹¹ (°C) | Pluviométrie annuelle (mm) | Pluviométrie juin-juil.-août (mm) | Substrat | Profondeur du sol (cm) | Structure et compacité dominantes | Texture dominante | Éléments grossiers | Hydromorphie | Ho (m) | Âge (an) | Croissance | État sanitaire |
|--------------|-------------|--------------|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------|--------|----------|------------|----------------|
| 24 | 05 | 1030 | mi-versant | S | 8,9 | 25,7 | 950 | 175 | colluvion sur marnes | 80 | agrégats | limon argileux | 5% | non | 18,9 | 52 | + | + |
| 25 | 12 | 820 | plateau | - | 9,4 | 23,8 | 884 | 183 | dolomie | 30 | peu compacte, particulaire | sable limoneux | 40% | non | 2 | 14 | -- | -- |
| 26 | 04 | 650 | haut de pente | SE | 12,3 | 29,9 | 710 | 151 | marnes / calcaire | 20 | assez compacte | limon argileux | 30% | non | 3 | 20 | -- | - |
| 27 | 45 | 145 | plaine | - | 10,8 | 25 | 634 | 162 | argile à silex | 60 | meuble puis compacte | sable limoneux puis argile | 20% | à 60 cm | 25,3 | 66 | ++ | - |



24 - Malgré le substrat marneux, le peuplement présente une assez belle venue grâce à une forte épaisseur de colluvions recouvrant la marne et à une topographie de versant qui évite la stagnation d'eau. Sur marnes, il faut distinguer les altérites qui sont à éviter et les colluvions qui peuvent donner de bons résultats. (Hautes-Alpes).



26 - Cèdres de 20 ans mesurant un mètre de hauteur. Le milieu conjugue deux facteurs défavorables : un sol superficiel et un substrat marno-calcaire. (Alpes-de-Haute-Provence).



27 - Dans ce peuplement sur argile à silex, les racines n'ont jamais franchi le plancher argileux à environ 60 cm de profondeur (noter les traces d'hydromorphie sur la photo du bas). La sécheresse de 2003, aggravée par une attaque secondaire de scolytes, a été fatale à un nombre important de cèdres âgés de 80 ans et pourtant vigoureux. (Loiret).



25 - Ce peuplement présente une forte mortalité et de nombreux arbres jaunissants. Le sol est très superficiel et la dolomie est défavorable au cèdre. (Aveyron).

¹¹ Tm : température moyenne annuelle ; Tx : température moyenne des maximales du mois le plus chaud.

RECOMMANDATIONS POUR L'INSTALLATION DU CÈDRE

L'utilisation d'un matériel végétal adapté et de techniques favorisant l'installation et le développement rapide du système racinaire sont des conditions à remplir pour réussir un boisement de cèdre.

RÉUSSIR SA PLANTATION

Le choix des plants et des techniques d'installation sont autant d'éléments à ne pas négliger sous peine d'échec.

■ BIEN CHOISIR LES PLANTS

Comparées à des provenances de l'aire d'origine, les provenances artificielles françaises montrent une bonne diversité génétique et une bonne adaptation, gages d'un matériel génétique performant¹². Des conditions d'élevage soignées en pépinière sont nécessaires pour obtenir des plants de qualité et assurer un bon taux de reprise.

En région méditerranéenne, on privilégie l'utilisation de plants de catégorie testée (étiquette bleue) **CAT-PP-001 (Ménerbes), CAT-PP-002 (Mont Ventoux) et CAT-PP-003 (Saumon)**. Elles ont fait la preuve de leur supériorité sur la base de deux propriétés: la plasticité, pour répondre à la diversité des conditions stationnelles envisageables pour le cèdre, et la croissance en hauteur.

Hors région méditerranéenne, les différentes origines et provenances de cèdres n'ont pas été évaluées dans des

dispositifs de recherche et on utilisera donc la région de provenance « **CAT900-France** » (catégorie sélectionnée - étiquette verte) qui regroupe 43 peuplements répartis à ce jour dans 6 régions françaises et couvrant au total 574 ha [14].

Le cèdre développe très rapidement un pivot racinaire important. Afin d'éviter la crise de transplantation, l'emploi de **plants en godets anti-chignon de 400 cm³** minimum (photos 28) est fortement recommandé dans tous les cas, même hors zone méditerranéenne. Il faut préférer des **plants vigoureux (11 cm de haut et 3 mm de diamètre au collet minimum) de quelques mois à un an maximum (1-0 G)** pour éviter les déformations racinaires et **élevés dans un mélange tourbe-écorce**. On constate avec ces modalités un gain très significatif sur le taux de reprise en plantation expérimentale [19].

Certaines pépinières proposent des plants mycorhizés. Leur avantage en reboisement reste aléatoire car lié à la bonne installation du champignon dans le sol.

Les essais de semis artificiels n'ont pas été convaincants et se sont avérés surtout très consommateurs de graines. Cette option reste donc très coûteuse.



28 - Plants de cèdre en conteneur 400 cm³ anti-chignon de type WM (à gauche), rainuré à section carrée (à droite).

¹² Il est possible que certaines provenances méridionales de l'aire d'origine, qui débourrent souvent un peu trop tôt, se révèlent plus adaptées à l'avenir, du fait de l'évolution du climat. L'installation de tests comparatifs dans des conditions climatiques variées est souhaitable.

■ PRÉPARER LE SOL ET SOIGNER LA PLANTATION

Ces opérations conditionnent étroitement la réussite du reboisement. On veillera à faciliter l'accès rapide du pivot des jeunes plants aux horizons d'ancrage et d'alimentation en eau par une préparation du sol adaptée et une plantation soignée.

Le sous-solage a fait la preuve de son efficacité en région méditerranéenne **sur sol calcaire superficiel** ou lorsque la roche-mère n'est pas suffisamment fissurée naturellement. Il est aussi conseillé lorsque le sol présente un obstacle à l'installation correcte et rapide du système racinaire (charge en blocs ou horizon compacté - photos 29). On conseille une profondeur de 60 à 80 cm minimum.



29 - Le sous-solage, sur les sols à pierrosité élevée, améliore très nettement le taux de reprise et le démarrage de la plantation en accélérant le développement en profondeur des racines. Il s'effectue à 1 (à gauche), 2 ou 3 dents (à droite) selon la résistance du sol. Il peut être suivi d'une opération de nivellement.

Dans les autres situations, un labour profond, en plein ou en bandes, permet d'associer travail du sol et réduction de la concurrence, herbacée principalement. Sur les fortes pentes, on utilisera la pelle hydraulique araignée (photo 30). On préférera **planter** ensuite en **potet travaillé**.

La **motte doit être constamment humidifiée** jusqu'à la plantation et mise en place de façon à ne pas laisser d'espace entre elle et le sol.

En dehors de la région méditerranéenne, le cèdre est susceptible d'être attaqué par le **fomès** (*Heterobasidion annosum*) surtout pour une plantation intervenant après exploitation d'un peuplement de conifères atteints. Il peut atteindre les jeunes plantations (dessèchement) sans signes très caractéristiques (absence de sporophore et de pourriture de cœur).



30 - La pelle araignée, en opérant ponctuellement aux endroits appropriés, permet de faire des potets travaillés en conditions difficiles. Elle accède à des pentes jusqu'à 60%.



31 - La qualité de la plantation, ici sur sol agricole, conditionne la réussite du peuplement. Un labour en entretien permettrait de lutter contre la concurrence herbacée.

■ SURVEILLER LA CONCURRENCE ET LES RISQUES SANITAIRES DÈS LA PLANTATION

Essence de demi-ombre, le cèdre tolère bien un abri léger, latéral, au cours des premières années (photo 32). Il exige ensuite la pleine lumière pour pousser correctement.

Le cèdre étant **très sensible à la plupart des phytocides**¹³, on réservera leur utilisation à la préparation avant plantation. Les entretiens ultérieurs seront de préférence effectués manuellement ou par broyage mécanique. Lorsqu'ils sont utilisés après plantation, les herbicides nécessitent l'emploi d'un cache. **L'installation d'un paillage** au moment de la plantation est une alternative possible.

Le cèdre est **sensible aux dégâts de gibier** : lapin, chevreuil (frottis - photo 33) et cerf (écorçage). Il faut donc envisager la pose de protection individuelle ou clôture périmétrale si le risque est avéré localement.

Le risque de voir les plants attaqués par l'**hylobe** (*Hylobius abietis*) existe, surtout après une coupe de résineux laissant des souches fraîches. Il est conseillé d'attendre 1 à 3 ans entre l'exploitation des résineux et la plantation des cèdres puis de les surveiller attentivement.

QUELLES CONDITIONS POUR RÉGÉNÉRER NATURELLEMENT LE CÈDRE ?

La régénération naturelle aura d'autant plus de chances de succès qu'on aura su anticiper l'arrivée des graines, améliorer la réceptivité du milieu et contrôler la concurrence.

Sur des stations fertiles, les cônes peuvent apparaître sur les arbres dès 15 à 20 ans mais la fructification ne devient suffisante pour une régénération qu'**à partir de 40 ans**. Cette production n'est généralement abondante que tous les 3 à 5 ans et ne concerne qu'une part variable des arbres. Le développement des cônes s'étale sur 2 ans ce qui permet d'anticiper un an à l'avance la production des graines [39]. L'alternance gel-dégel est bénéfique, voire nécessaire, pour l'éclatement des cônes. Les graines peuvent se disperser abondamment sur un rayon de 30 à 60 m autour des semenciers, mais parfois sur de bien plus grandes distances sous l'effet d'un vent fort et/ou de la pente.

Sur sol hétérogène calcaire, une régénération abondante de cèdre permet d'explorer et de tirer profit des conditions microstationnelles favorables (fissures). En préalable à l'ensemencement, un **crochetage, l'incinération des rémanents ou un brûlage dirigé du sous-bois par une équipe de spécialistes** facilitera le contact entre la graine et l'horizon minéral (photo 34). Un travail plus profond du sol peut aussi être nécessaire si le terrain n'est pas largement friable ou fissuré, pour assurer une installation rapide du pivot racinaire.



32 - Un abri latéral, comme ici des genêts, peut être bénéfique à condition d'être soigneusement contrôlé.



33 - Abroutissement et frottis de chevreuil. Les protections sont conseillées en cas de population importante de cervidés.

¹³ La réglementation sur l'emploi des phytocides évoluant rapidement, il est difficile de donner des conseils qui se révéleraient trop vite caducs (voir le site <http://e-phy.agriculture.gouv.fr>).



34 - Régénération abondante de cèdre à proximité des semenciers, favorisée par le brûlage des rémanents de coupe. (Luberon).

En Provence calcaire, la régénération du cèdre est beaucoup plus facile que sur les sols acides du fait du moindre développement de la végétation concurrente. Les observations concernent essentiellement des situations de fermeture de peuplements de cèdres clairsemés ou d'extension. Ainsi, grâce au mistral, il envahit progressivement les taillis clairiérés de chêne pubescent (photo 35). Le taillis favorise la venue du cèdre en lui fournissant un abri léger et régulièrement exploité, satisfaisant ainsi son besoin de lumière et lui permettant de passer progressivement dans l'étage dominant.

Comme les plants, **les semis sont extrêmement sensibles à la concurrence herbacée et à la sécheresse** pendant toute la phase d'installation.



35 - Colonisation des taillis de chêne par le cèdre dans le Luberon.

MEGASTIGMUS SP.: UN PARASITE DES GRAINES DE CÈDRE



36 - *Megastigmus schimitscheki* (à gauche) et *Megastigmus pinsapinis* (à droite) sur un cône de cèdre.

Cette petite guêpe pond dans les cônes (photo 36). Les larves se nourrissent des graines en formation. Les dégâts peuvent toucher jusqu'à 80 % des graines. Il n'y a pas pour l'instant de menace particulière représentée par l'espèce résidente (*Megastigmus pinsapinis*) sur les perspectives de régénération naturelle. *Megastigmus schimitscheki*, une espèce arrivée récemment du Moyen-Orient dans les cédrailles du mont Ventoux, pourrait en revanche être plus menaçante. Des études sont en cours pour surveiller la présence de ces deux parasites et évaluer les risques, notamment pour les peuplements classés et sur les sites potentiels de vergers à graines.

CARACTÉRISTIQUES ET USAGES DU BOIS

Le cèdre produit un bois de qualité, stable et durable, adapté à la plupart des usages. Celui-ci est cependant cassant et souvent noueux.

La **grande durabilité naturelle du bois de cœur**, riche en huiles essentielles¹⁴, est le principal atout du cèdre (photo 37). Grâce à elle, il excelle dans les **emplois extérieurs** sans contact avec le sol, pour lesquels il ne nécessite pas de traitements: menuiserie extérieure, bardage (photo 38), volets, mobilier urbain... Du fait de sa forte odeur, il est employé pour éloigner les mites mais ne peut être utilisé pour l'emballage alimentaire.

Réputé **cassant**, il présente en effet de faibles valeurs de modules d'élasticité et de rupture. Il est pourtant utilisé en structure pour des charpentes à condition de surdimensionner les débits (photo 39).

Les arbres ayant poussé à faible densité ou n'ayant pas été élagués ont de **grosses branches** (photo 43 p. 23). Ils produisent un bois de moins bonne qualité, beaucoup plus **noueux** et hétérogène dans ses caractéristiques¹⁵ (photo 40).

Comparé aux autres essences, le bois de cèdre présente une **densité élevée** et un **faible retrait** [45] (figure 42). Il se déforme peu au séchage. La largeur de cerne n'est pas un facteur qui affecte la densité du bois de manière rédhibitoire. La vitesse de croissance influe donc *a priori* peu sur la qualité du bois.

Il est **employé pour la plupart des usages**, des plus communs (papier, palette, coffrage...) jusqu'aux plus nobles pour les vieux arbres de son aire d'origine (ébénisterie fine, sculpture, tranchage...). Son odeur agréable et sa couleur en font un bois apprécié.



37 - Le bois de cœur ou duramen, plus sombre, est la partie la plus durable de l'arbre. Sa proportion augmente avec l'âge (cèdres du Ventoux de 1^{re} génération, âgés de 130 ans).



38 - Le cèdre est particulièrement adapté aux usages extérieurs (ici des lames de bardage).



39 - Charpente en cèdre récolté au mont Ventoux.

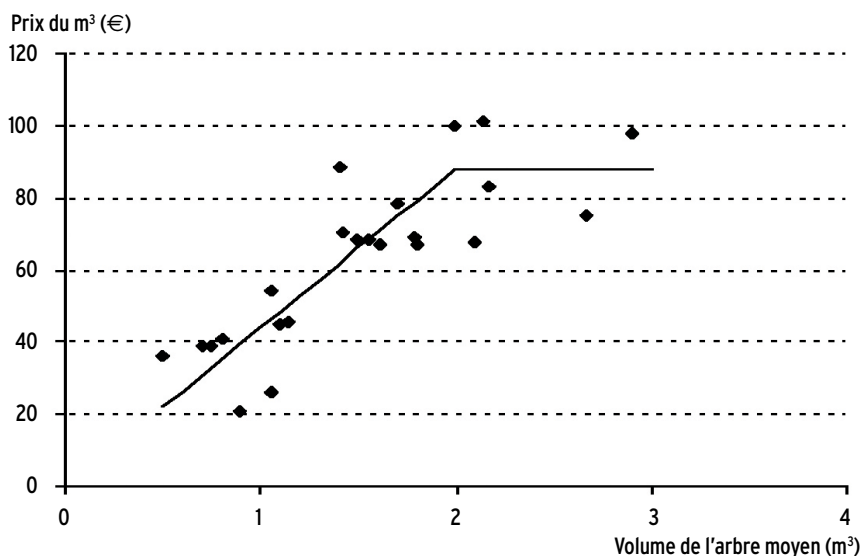


40 - L'absence d'élagage laisse des nœuds qui déprécient la qualité du bois (ici une branche ayant donné un nœud non adhérent dans les plateaux les plus externes).

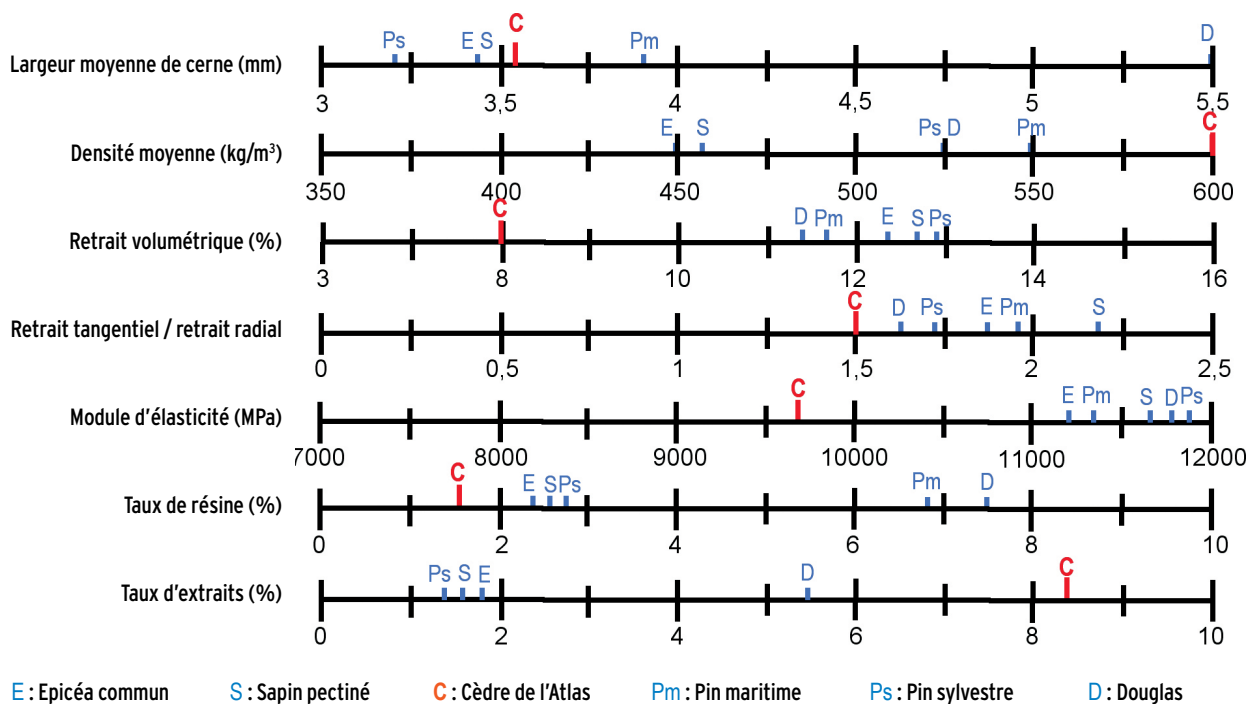
¹⁴ Le bois de cèdre ne contient pas de canaux résinifères normaux mais uniquement traumatiques formés, par exemple, suite à une blessure, une attaque d'ips ou une nécrose cambiale.

¹⁵ Une enquête réalisée en 2009 auprès des scieries du Sud-Est de la France précise que le principal défaut reproché au cèdre est la fréquence de gros nœuds. Ces derniers limitent les emplois en charpente et en menuiserie [46].

Le prix de vente du bois de cèdre est proche de celui du douglas (graphique 41).



41 - Prix de vente sur pied en fonction du volume de l'arbre moyen (ONF 2007). Il semble stagner au delà de 2 m³ environ. Les données présentées ici sont toutefois en nombre insuffisant pour conclure définitivement.



42 - Propriétés technologiques du bois de cèdre comparées à celles des principaux résineux utilisés en France (d'après [45]).

CÈDRE ET CEDAR

Sous le terme « cèdre » est souvent vendu du bois d'autres espèces n'appartenant pas au genre *Cedrus* et qui sont en général des Cupressacées (*Chamaecyparis*, *Thuja*, *Juniperus*, *Calocedrus*, *Austrocedrus*). Cela vient de la traduction abusive en « cèdre » du mot « cedar », terme générique commun à la plupart de ces taxons. Ils ont, comme le cèdre, un bois très odorant. Plus rarement, ce peut être aussi du *Cryptomeria japonica* (cèdre du Japon) ou du *Pinus sibirica* (cèdre de Sibérie).

QUEL ITINÉRAIRE SYLVICOLE ADOPTER ?

La conduite des peuplements de cèdre doit tenir compte d'un certain nombre de particularités liées à l'espèce : la croissance importante des branches, l'hétérogénéité des peuplements, le développement du bois de cœur. Ces caractéristiques spécifiques ont des conséquences sur la sylviculture qui doit aussi intégrer les contraintes liées au changement climatique et au contexte économique.

PRINCIPAUX CRITÈRES PRIS EN COMPTE POUR UNE SYLVICULTURE ADAPTÉE

■ LA CROISSANCE IMPORTANTE DES BRANCHES NÉCESSITE UN ÉLAGAGE

Le cèdre a plus de branches que les pins. Elles sont aussi plus grosses que celles des sapins, épicéas et douglas. Le nombre et la taille des nœuds dans le bois s'en trouvent augmentés. Conjuguée à l'absence d'élagage naturel, cette caractéristique milite fortement pour l'élagage artificiel ou le maintien d'une densité suffisante pour limiter la croissance des branches (photo 43).

■ DES PEUPELEMENTS HÉTÉROGÈNES

La taille des arbres est beaucoup plus variable que celle d'autres espèces placées dans les mêmes conditions (photo 44). L'explication probable est que le cèdre, par son enracinement pivotant, traduit rapidement la variabilité

des conditions locales de croissance¹⁶. Surtout sensible sur calcaire, ce phénomène, conjugué à l'hétérogénéité de forme constatée, impose :

- une **densité de plantation assez importante** pour permettre une possibilité de sélection suffisante lors des éclaircies successives,
- des **éclaircies sélectives**.

■ LA DURABILITÉ DU BOIS DE CŒUR

L'intérêt du bois de cèdre réside notamment dans la durabilité. Cette qualité est associée à la partie duraminisée du tronc, réputée imputrescible. Le maintien à forte densité et le vieillissement des peuplements limiteront l'aubier.

■ LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les modèles climatiques prédisent une diminution sensible des ressources en eau pendant la durée de vie d'un peuplement dont les besoins vont en outre s'accroître avec son



43 - Le cèdre a tendance à faire de grosses branches, surtout lorsqu'il est isolé ou laissé à large espacement. Il supporte très bien l'élagage artificiel (arbre de droite).



44 - Les peuplements de cèdre sont souvent hétérogènes comme dans ce reboisement sur sol calcaire dans le Gard, malgré le sous-solage.

¹⁶ La variabilité génétique, ou dans certains cas la plantation en conteneurs avec maintien des sachets polyéthylène, pratique prohibée, sont d'autres hypothèses non exclusives les unes des autres.

développement. Des résultats récents, obtenus dans des dispositifs expérimentaux, ont montré que les **éclaircies fortes et précoces** rendraient, au moins pendant quelques années, les peuplements plus tolérants au stress hydrique. L'**élagage de branches vertes**, en diminuant la consommation en eau des arbres, améliore leur résistance aux épisodes de sécheresse surtout lorsqu'il est associé à des éclaircies fortes.

L'augmentation prédite de la température et de la fréquence des événements climatiques exceptionnels (sécheresse, tempête) milite, en futaie régulière, pour un **raccourcissement des révolutions**.

L'augmentation associée du risque d'incendie pousse également à l'élagage artificiel qui freine la propagation du feu en provoquant une discontinuité verticale dans la répartition du combustible.

■ LE CONTEXTE ÉCONOMIQUE

Devant la difficulté de commercialiser les premières éclaircies, le choix est le plus souvent fait de diminuer un peu la densité de plantation et de privilégier une première

éclaircie forte, tardive et mécanisée avec cloisonnement.

L'existence de subventions à l'élagage et au dépressage permet de diminuer les coûts en produisant du bois de meilleure qualité. L'élagage du cèdre est assez coûteux du fait de la taille et du nombre élevé des branches (compter en 2012, en prix hors taxes par tige : 4 à 5 € pour un élagage à 6 m en une fois ou 1,2 € de 0 à 3 m puis 2,8 à 3 € de 3 à 6 m).

■ LE RISQUE DE CHABLIS

En région méditerranéenne, l'enracinement profond du cèdre, bien que dépendant du type et de la profondeur du sol, le rend plutôt moins sujet aux chablis que les autres résineux. Le cèdre est, par contre, plus sensible au risque de volis à cause de son bois cassant. En région tempérée, le risque de dégâts liés au vent pourrait être plus fort, notamment si les hauteurs atteintes sont élevées. Il est donc conseillé de **mener des premières éclaircies intensives suivies d'éclaircies moins fortes afin de favoriser la stabilité du peuplement par « effet bloc »**.

ITINÉRAIRES SYLVICOLES PROPOSÉS

Le choix d'une sylviculture adaptée doit donc prendre en compte des contraintes aux conséquences parfois contradictoires. Associée à un objectif, elle est le résultat d'un compromis. Compte tenu des particularités du cèdre ci-dessus, deux itinéraires tranchés sont présentés en futaie régulière, avec leurs avantages et inconvénients respectifs. Ils sont uniquement fonction de la hauteur dominante atteinte et indépendants de l'âge. Ces deux itinéraires techniques constituent des repères. Selon les objectifs et les moyens, des sylvicultures intermédiaires sont également possibles. Des traitements en futaie irrégulière ou mélangée sont aussi envisageables.

■ SYLVICULTURE DE PRÉCISION POUR DU BOIS DE QUALITÉ :

> **Objectif :** production de bois de qualité avec un diamètre d'exploitabilité variant de 45 à 55 cm selon la fertilité du milieu et l'âge d'exploitation choisi.

> **Caractéristiques :** densité assez élevée, éclaircies sélectives mixtes, élagage en deux passages, coupe rase plus tardive.

| Hauteur dominante ¹ | Nature de l'intervention | Nombre de tiges avant intervention ² | Nombre de tiges après intervention ² | Taux de prélèvement |
|--|---|---|--|---------------------|
| - | Plantation à 2,5 m x 2,5 m de préférence ou 2 m x 3 m (1,8 m x 3,5 m) si entretiens mécanisés | - | 1600-1660 | - |
| 6 - 8 m | Élagage à 3 m de 250 à 300 tiges/ha à désigner juste avant dépressage. Éviter d'élaguer des tiges situées sur les futurs cloisonnements éventuels | - | - | - |
| | Dépressage sélectif au profit des arbres désignés | 1450 - 1500 ³ | 950 | 35 % |
| 12 - 15 m (dès que la 1 ^{re} éclaircie est réalisable) | Élagage à 6 m de 150 à 200 tiges/ha à désigner juste avant éclaircie parmi celles précédemment élaguées | - | - | - |
| | 1 ^{re} éclaircie : uniquement sélective ⁴ ou à la fois systématique (une ligne sur cinq pour créer des cloisonnements) et sélective (un arbre sur trois entre les cloisonnements) | 950 | 600 si sélective ⁴ , 500 avec cloisonnement | 35 - 45 % |
| 16 - 19 m | 2 ^e éclaircie : sélective | 600 - 500 | 450 - 370 | 25 % |
| 20 - 23 m | 3 ^e éclaircie : sélective | 450 - 370 | 350 - 280 | 25 % |
| 24 - 27 m | 4 ^e éclaircie : sélective | 350 - 280 | 260 - 210 | 25 % |
| 28 - 31 m | 5 ^e éclaircie : sélective | 260 - 210 | 200 - 160 | 25 % |
| 32 - 35 m | 6 ^e éclaircie : sélective | 200 - 160 | 150 - 160 | 0 - 25 % |
| 35 m | Coupe rase ⁵ (ou coupe d'ensemencement) | 160 - 150 | 0 (50-90) | 100 % (40-65 %) |

¹ On prendra la valeur basse ou haute de la fourchette selon la hauteur à laquelle interviendra la 1^{re} éclaircie.

² Le nombre de tiges est donné à titre indicatif. On aura tendance à éclaircir un peu plus pour les fertilités faibles.

³ Suite à une mortalité probable de 10% après plantation.

⁴ Si éclaircie non mécanisée, sélective seule ou sélective entre cloisonnements très espacés, dans ce cas non pris en compte pour la densité.

⁵ La coupe rase interviendra pour des hauteurs plus faibles pour les fertilités faibles ou quand les arbres auront atteint le diamètre objectif visé.

■ SYLVICULTURE INTENSIVE À INVESTISSEMENTS LIMITÉS :

➤ **Objectif :** produire rapidement du bois d'œuvre en limitant les investissements avec un diamètre d'exploitabilité variant de 45 à 60 cm selon la fertilité du milieu et l'âge d'exploitation choisi.

➤ **Caractéristiques :** densité plus faible, cloisonnement, élagage en un seul passage, coupe rase plus précoce.

| Hauteur dominante | Nature de l'intervention | Nombre de tiges avant intervention ¹ | Nombre de tiges après intervention ¹ | Taux de prélèvement |
|---|--|---|---|---------------------|
| - | Plantation à 3 m x 3 m de préférence ou 3,5 m x 2,5 m si nécessaire pour entretiens mécanisés | - | 1 110 | - |
| 12-15 m (dès que la 1 ^{re} éclaircie est réalisable) | Élagage à 6 m de 150 à 200 tiges/ha à désigner juste avant éclaircie. Éviter d'élaguer des tiges situées sur les futurs cloisonnements | - | - | - |
| | 1^{re} éclaircie : à la fois systématique (une ligne sur cinq pour créer des cloisonnements) et sélective (un arbre sur trois entre les cloisonnements) | 1000 ² | 500 | 50 % |
| 18 m | 2^e éclaircie : sélective au profit des arbres élagués | 500 | 350 | 30 % |
| 22 m | 3^e éclaircie : sélective | 350 | 250 | 30 % |
| 27 m | 4^e éclaircie : sélective | 250 | 170 | 30 % |
| 31 m | Coupe rase³ (ou coupe d'ensemencement) | 170 | 0 (60-100) | 100 % (40-65 %) |

SPÉCIFICITÉS EN CAS DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE

➤ Une coupe d'ensemencement sera réalisée. Son intensité est à adapter au risque de développement de la concurrence herbacée et arbustive.

➤ La coupe définitive sera réalisée sur régénération installée (semis de 50 cm à 2 m de haut).

➤ En cas de densité supérieure à 2500 semis/ha, avec une faible différenciation des semis, il est conseillé d'effectuer un dépressage unique ramenant la densité aux environs de 1000 tiges/ha quand la hauteur dominante avoisine 3 m. En cas de régénération non acquise sur au moins 50% de la surface avec des vides de 200 m² minimum, un complément en régénération artificielle peut être envisagé.



45 - Régénération naturelle vue en photo 34 et ramenée ici à 1100 tiges/ha par dépressage sélectif à 6 m de hauteur dominante.

| Critère | Sylviculture de précision | Sylviculture intensive | Remarque |
|--|---------------------------|------------------------|---|
| Rapidité de croissance en diamètre | ☹️ | 😊 | Les diamètres d'exploitabilité sont atteints plus tôt avec des densités plus faibles. |
| Taille des branches | 😊 | ☹️ | Une plus forte densité de plantation permet un meilleur contrôle de la taille des branches. |
| Efficacité de l'élagage | 😊 | ☹️ | Un passage en deux fois donne plus de bois sans nœud. |
| Proportion de duramen | 😊 | ☹️ | Les éclaircies moins intenses et une révolution plus longue favorisent la proportion de duramen. |
| Rectitude du fût | 😊 | ☹️ | Une plus forte densité de plantation permet plus de choix dans la sélection d'arbres de bonne conformation. |
| Coûts | ☹️ | 😊 | La sylviculture de précision conduit néanmoins à un bois de meilleure qualité susceptible d'être vendu plus cher. |
| Probabilité d'échapper aux « accidents climatiques » | ☹️ | 😊 | Une révolution plus courte limite le risque d'être confronté à une sécheresse, une tempête, etc. |
| Risque de chablis et volis | ☹️ | 😊 | Les arbres en sylviculture intensive seront plus résistants individuellement. |

¹ Le nombre de tiges est donné à titre indicatif. On aura tendance à éclaircir un peu plus pour les fertilités faibles.

² Suite à une mortalité probable de 10% après plantation.

³ La coupe rase interviendra pour des hauteurs plus faibles pour les fertilités faibles ou quand les arbres auront atteint le diamètre objectif visé.

NÉCESSITÉ ET PRATIQUE DE L'ÉLAGAGE

Le cèdre a tendance à faire de grosses branches et il ne s'élague pas naturellement. L'élagage artificiel est donc indispensable pour obtenir un bois de qualité. De plus, l'élagage de branches vertes entraîne une réduction du houppier, ce qui diminue la consommation en eau des arbres et améliore leur résistance aux épisodes de sécheresse.

Un passage en deux fois et assez tôt (12 m de hauteur dominante de préférence) est préconisé pour ne pas avoir à couper de trop grosses branches et augmenter la proportion de bois sans nœud :

➤ **1^{er} élagage à 3 m** quand les arbres atteignent **8 m de haut**, en sélectionnant **250 à 300 tiges/ha**¹.

➤ **2^e élagage à 6 m** lors de la **première éclaircie** à 12 m de hauteur dominante de préférence, en sélectionnant **150 à 200 tiges/ha** parmi celles précédemment élaguées. Réaliser l'éclaircie et l'élagage simultanément permet d'accélérer le recouvrement des nœuds et d'éviter aux arbres élagués de se faire dominer par leur voisin.

Les arbres choisis seront les plus vigoureux et les mieux conformés. Les éclaircies sélectives seront faites à leur profit. Le premier élagage concernera davantage de tiges que le second afin de permettre une plus forte possibilité de sélection. Le cèdre supporte sans dommage un élagage intensif et précoce, jusqu'à 50% de sa hauteur au moins.

¹ Les arbres élagués de faible diamètre (10-15 cm) sont plus sujets au risque d'écorçage par le cerf. Si sa présence est avérée, poser des protections individuelles après l'opération.

LUTTE CONTRE LE FOMÈS

Au moment des éclaircies, le badigeonnage des souches doit être systématique pour empêcher ou limiter la progression de ce champignon.

GESTION EN PEUPEMENT IRRÉGULIER OU MÉLANGÉ

Essence de demi-ombre, le cèdre doit pouvoir être conduit en futaie irrégulière (photo 48), ou mélangée avec d'autres espèces dont les exigences écologiques sont proches telles que le chêne pubescent, le pin noir ou le pin laricio. Ces peuplements sont réputés être plus résilients face au réchauffement climatique, et aux tempêtes pour les peuplements irréguliers. Mais ils nécessitent une gestion précise et un suivi fin pour être maintenus. En peuplement irrégulier, il y a peu de données disponibles sur le cèdre. On préconise pour l'instant de maintenir la surface terrière du peuplement entre 28 et 32 m²/ha. Les coupes, réalisées tous les 6 à 12 ans, prélèvent 15 à 25 % de la surface terrière à chaque passage, selon le stock sur pied, la proportion de gros bois et les contraintes de vente (taille des lots).

Pour pallier le manque de référence, une parcelle expérimentale traitée en futaie irrégulière a été installée au Luberon.

La création de peuplements mélangés peut se faire par enrichissement sous forme de lignes espacées, placées perpendiculairement aux vents dominants, ou de deux à trois bouquets par hectare d'au moins une dizaine d'individus chacun pour garantir une diversité génétique minimale. On veillera à contrôler les autres essences pour favoriser l'accès du cèdre à la pleine lumière.

Dans les mélanges avec les pins, il convient de se méfier de la **chenille processionnaire du pin** (*Thaumetopoea pityocampa*) qui attaque préférentiellement les pins mais peut se porter secondairement sur le cèdre. Son aire s'étend vers le nord du fait du changement climatique.



46 - Exploitation d'une éclaircie dans le Luberon abaissant la densité de 750 à 500 tiges/ha. Hauteur dominante 17,60 m à 74 ans. Volume moyen de l'arbre enlevé : 0,4 m³. Le bois sera valorisé en trituration et en petits sciages.



47 - Élagage à 6 m réalisé 15 ans auparavant.



48 - Un peuplement irrégulier de cèdre au Luberon.

ASPECTS PHYTOSANITAIRES COMPLÉMENTAIRES

Les principaux problèmes sanitaires ont été successivement traités dans les domaines avec lesquels ils étaient en rapport. Ce chapitre aborde quelques problèmes complémentaires qui méritent d'être signalés.

QUELQUES RAVAGEURS SPÉCIFIQUES DU CÈDRE

Ceux-ci ne posent pas de problème sanitaire majeur.

La **tordeuse du cèdre** (*Epinotia cedricida*) fait des dégâts au stade larvaire en consommant les aiguilles de l'automne à l'hiver. À partir du mois de décembre, la chenille se tient dans un fourreau constitué de quelques aiguilles rassemblées par de la soie et tapissées de déjections (photo 49). La défoliation peut être importante avant débourrement mais ne conduit pas à la mort de l'arbre.

Deux espèces de **pucerons** s'attaquent spécifiquement au cèdre. Leurs colonies se développent à l'extrémité des branches et rameaux:

➤ ***Cedrobium laportei*** peut entraîner la chute de toutes les aiguilles. L'introduction d'un **parasite spécifique** (*Pauesia cedrobiti*), bien acclimaté, a heureusement permis de réguler efficacement les populations.

➤ ***Cinara cedri*** se développe en colonies de taille importante et visibles à l'œil nu (photo 50). Produisant beaucoup de miellat se recouvrant d'une pellicule noire de fumagine (champignon), il est une source de nuisance dans les endroits fréquentés. Grâce à de nombreux régulateurs naturels, la santé des arbres est rarement menacée.



49 - Larve âgée de tordeuse du cèdre dans son fourreau.



50 - Colonie de *Cinara cedri*.

Un certain nombre de parasites de faiblesse peuvent aussi aggraver une situation sanitaire mal engagée du fait d'une inadaptation du cèdre à son environnement (sol ou climat). On peut citer:

➤ l'**armillaire** signalé sur cèdre en France hors région méditerranéenne;

➤ les **scolytes** qui posent surtout des problèmes dans les peuplements dépérissants de son aire d'origine;

➤ le champignon ***Sphaeropsis sapinea*** qui peut infecter l'arbre par les jeunes pousses ou plus souvent par une blessure ou une nécrose d'origine variable.

En outre, des **champignons lignivores**, responsables de pourritures de cœur importantes en Afrique du Nord, ne posent pour l'instant pas de problèmes en France.

POUR EN SAVOIR PLUS

GÉNÉRALITÉS

- [1] Cemagref. 1988. Les Cèdres. Fiche du Guide forestier méditerranéen. Cemagref Aix-en-Provence. 4 p.
- [2] Courbet F., Lagacherie M., Marty P., Ladier J., Ripert C., Amandier L., Paillassa E., Guillemot J. 2012. Le cèdre en France face au changement climatique: un projet pour un bilan et un transfert des connaissances. *Forêt Entreprise* 204, 41-45.
- [3] M'Hirit O., Benziane M. 2006. Le Cèdre de l'Atlas. Mémoire du temps. Éditions La croisée des chemins. 288 p.
- [4] Toth J. 2005. Le cèdre de France. Étude approfondie de l'espèce. Editions L'Harmattan. 207 p.

LE CÈDRE EN RÉGIONS

- [5] Centre Régional de la Propriété Forestière de Poitou-Charentes. 2007. Le Cèdre de l'Atlas. 4 p.
- [6] Centre Régional de la Propriété Forestière Midi-Pyrénées. 2008. Le Cèdre de l'Atlas dans le sud du Massif central (*Cedrus atlantica*). 4 p.
- [7] Gonin P., Delarue A., Thévenet Ph. 2007. L'avenir du cèdre de l'Atlas en Midi-Pyrénées. *Forêt Entreprise* 174, 45-50.
- [8] Hainry D., Colombet M. 2009. Bilan des introductions et perspectives d'utilisation du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Bretagne. CRPF de Bretagne. 10 p.
- [9] Lecomte B. 2007. Le cèdre de l'Atlas en Languedoc-Roussillon. *Forêt Entreprise*. 174, 51-54.
- [10] Lefièvre J., Carmeille J., Mirlyaz W. 2010. Étude sur le potentiel du Cèdre de l'Atlas dans le massif Dordogne-Garonne. CRPF Aquitaine. 16p.
- [11] Salgues D. 2008. Évaluation du risque d'introduction du cèdre de l'Atlas sur les sols acides des Monts de Lacaune et de la Montagne noire. Stage FIF AgroParisTech. CRPF Midi-Pyrénées. 70 p. + annexes.

DISTRIBUTION ET HABITAT, GÉNÉTIQUE ET PROVENANCES

- [12] Bariteau M., Panetsos K. P., M'Hirit O., Scaltsoyiannes A. 1999. Variabilité génétique du Cèdre de l'Atlas en comparaison avec les autres cèdres méditerranéens. *Forêt méditerranéenne* XX (4) 175-190.
- [13] Bariteau M., Vauthier D., Pommery J., Rei F., Royer J. 2007. Les meilleures provenances de cèdres pour le reboisement en France méditerranéenne. *Forêt Entreprise* 174, 21-26.
- [14] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire. Conseils d'utilisation par espèce forestière. Fiche sur le Cèdre de l'Atlas (http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/cedre_atlas_avril05.pdf) 4 p.

[15] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire. Conseils d'utilisation par espèce forestière. Fiche sur le Cèdre du Liban (<http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/CedreLiban-2007.pdf>) 2 p.

[16] Quezel P. 1998. Cèdres et cédraines du pourtour méditerranéen: signification bioclimatique et phytogéographique. *Forêt méditerranéenne* XIX (3), 243-260.

CLIMAT

- [17] Debazac E.-F. 1964. L'arboretum de l'Hort de Dieu. *Ann. Sci. For.* 21, 23-84.
- [18] Demarteau M., François L., Cheddadi R., Roche, E. 2007. Réponses de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. *Geo-Eco-Trop.* 31 105-146.
http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_311_90118.pdf.

REBOISEMENT, DÉVELOPPEMENT RACINAIRE

- [19] Argillier C., Falconnet G., Mousain D., Guehl J.-M. 1994. Technique de production hors-sol du Cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le Cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc) 7-11 juin 1993. *Ann. Rech. For. Maroc.* 27 (spécial) (2) 488-497.
- [20] Belvaux E., Tron G. 1996. Expérimentation d'arrosage de boisements en forêt méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne*. XVII (4) 287-303.
- [21] Guehl J.-M., Falconnet G., Gruez J. 1989. Caractéristiques physiologiques et survie après plantation de plants de *Cedrus atlantica* élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture. *Ann. Sci. For.* , 46 1-14.
- [22] Le Tacon F., Mousain D., Garbaye J. Bouchard D., Churin J.-L., Argillier C., Amirault J.-M., Généré B. 1997. Mycorhizes, pépinières et plantations forestières en France. *Revue Forestière Française* XLIX n° spécial 131-154.
- [23] Van Lerberghe P. 2007. Réussir un boisement en cèdre de l'Atlas. *Forêt Entreprise* 174, 32-38.

ÉCOPHYSIOLOGIE

- [24] Aussenac G., Valette J.-C. 1982. Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le mont Ventoux. *Ann. Sci. For.* 39 (1) 41-62.
- [25] Aussenac G., Finkelstein D. 1983. Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du cèdre. *Ann. Sci. For.* 40 (1) 67-77.

[26] Ducrey M. 1988. Réactions à la sécheresse de quelques espèces forestières méditerranéennes. *Revue Forestière Française* XL 5 359-370.

[27] Ducrey M. 1994. Adaptation du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) au climat méditerranéen ; aspects écophysologiques de sa réaction à la sécheresse. Actes du séminaire international sur le Cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc) 7-11 juin 1993. *Ann. Rech. For. Maroc*. 27 (spécial) (1) 140-153.

[28] Ducrey M., Huc R., Ladjal M., Guehl J.-M. 2008. Variability in growth, carbon isotope composition, leaf gas exchange and hydraulic traits in the eastern Mediterranean cedars *Cedrus libani* and *C. brevifolia*. *Tree physiol.* 28. 689-701.

[29] Finkelstein D. 1981. Influence des conditions d'alimentation hydrique sur le débourrement et la croissance de jeunes plants de Cèdres (*Cedrus atlantica* Manetti) cultivés en serre. *Ann. Sci. For.* 38 513-530.

ALIMENTATION MINÉRALE

[30] Bonneau M. 2002. Alimentation minérale du Cèdre de l'Atlas. *Forêt méditerranéenne*, XXIII, 1, 3-10.

[31] Legrand P. 2003. Carence en bore de jeunes plantations de Cèdre de l'Atlas dans le Massif central. *Revue Forestière Française* 55 (2) 123-128.

[32] Legrand P. 2006. Fertilisation de jeunes Cèdres de l'Atlas carencés en bore dans le Massif central. *Revue Forestière Française* 58 (6) 509-520.

[33] Lepoutre B. 1963. Recherches sur les conditions édaphiques de régénération des cédraies marocaines. *Ann. Rech. For. Maroc*. Rapport 1957-1961 6 (2) 211 p.

AUTÉCOLOGIE

[34] Brêthes A., Demarcq P. 1992. Mortalité du cèdre sur dolomie dans l'Aveyron. *ONF Bulletin technique* 23, 73-82.

[35] Ripert Ch., Boisseau B. 1993. Écologie et croissance du Cèdre en Provence. Principaux résultats. Cemagref Aix en Provence. 17 p.

[36] Ripert Ch., Boisseau B. 1994. Écologie et croissance du Cèdre de l'Atlas en Provence. Actes du séminaire international sur le Cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc) 7-11 juin 1993. *Ann. Rech. For. Maroc*. 27 (spécial) (1) 156-171.

[37] Ripert Ch. 2007. Autécologie du Cèdre de l'Atlas. *Forêt Entreprise* 174, 17-20.

[38] Toth J., Turrel M. 1981. Croissance radiale et longitudinale de quelques résineux en fonction de l'alimentation en eau. INRA. Mitteilungen des forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien. Symposium IUFRO La croissance des arbres en diamètre. Innsbruck 9-12/09/1980 177-192.

REPRODUCTION, ARCHITECTURE

[39] Toth J. 1984. La prévision des possibilités de récolte de cônes de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *ONF. Bulletin technique*, 15, 39-49.

[40] Sabatier S., Baradat P., Barthélémy D. 2003. Intra- and interspecific variations of polycyclism in young trees of *Cedrus atlantica* (Endl.) Manetti ex. Carrière and *Cedrus libani* A. Rich (Pinaceae). *Ann. For. Sci.* 60 19-29.

PROBLÈMES SANITAIRES

[41] Abourouh M., Morelet M. 1999. Les champignons parasites du cèdre de l'Atlas en Afrique du Nord et en France. *Forêt méditerranéenne* XX (4) 198-202.

[42] Fabre J.-P., Mouna M., Du Merle P., Benhalima S. 1999. Le point sur certains ravageurs en Afrique du Nord, en France et en Europe. *Forêt méditerranéenne* XX (4) 203-218.

[43] Nageleisen L.-M. 2007. Les problèmes phytosanitaires du cèdre en France. *Forêt Entreprise* 174, 27-31.

FEU

[44] Valette J.-C. 1990. Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. *Revue Forestière Française* XLII (spécial) 76-92.

BOIS ET UTILISATION

[45] El Azzouzi K., Keller R. 1998. Propriétés technologiques du bois de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). *Forêt méditerranéenne*. XIX (1) 11-33.

[46] Le Courbe A. 2009. Valorisation de certaines essences méditerranéennes dans la filière bois -2009-Mémoire de fin d'études FIF. AgroParisTech. Office National des Forêts. 90 p.

[47] Quiquandon B. 1976. Le bois de Cèdre (*Cedrus atlantica*) provenant des reboisements français. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement. 31 p.

CUBAGE, PRODUCTION, SYLVICULTURE

[48] Courbet F. 1991. Tarif de cubage à deux entrées pour le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en France. *Revue Forestière Française* XLIII (3) 215-226.

[49] Courbet F., Courdier J.-M., Mariotte N., Courdier F. 2007. Croissance, production et conduite des peuplements de cèdre de l'Atlas. *Forêt Entreprise* 174 40-44.

[50] Ladier J., Rey F., Dreyfus P. 2012. Guide des Sylvicultures de Montagne - Alpes du Sud françaises. ONF. Irstea. 301 p.

Ce document a été réalisé dans le cadre du projet « Installation et conduite des peuplements de cèdre face au changement climatique » soutenu par le Réseau Mixte Technologique « Adaptation des forêts au changement climatique » (RMT AFORCE) [2].

Ce projet, d'une durée de 30 mois (juillet 2010-décembre 2012), a rassemblé les partenaires suivants issus de la recherche et du développement :

- Louis Amandier (CRPF Provence-Alpes-Côte-d'Azur)
- François Courbet. Coordonnateur. (INRA. Unité de Recherches Écologie des Forêts méditerranéennes)
- Frédéric Huard (INRA. Unité Agroclim)
- Étienne Klein (INRA. Unité Biostatistique et Processus Spatiaux)
- Jean Ladier (ONF. Département Recherche et Développement)
- Michèle Lagacherie (CRPF Languedoc-Roussillon)
- Pauline Marty (CRPF Languedoc-Roussillon)
- Éric Paillassa (CNPf-IDF)
- Philippe Riou-Nivert (CNPf-IDF)
- Christian Ripert (IRSTEA. Unité de Recherche Écosystèmes méditerranéens et risques)

Remerciements

Les participants remercient le RMT Aforce, les nombreuses personnes et organismes ayant répondu à l'enquête ou fourni des photos, les relecteurs, Christian Pichot (INRA URFM), Didier Betored (INRA URFM) et Marianne Correard (INRA UEFM) pour la réalisation des cartes.

Crédit photos

F. Courbet (INRA-URFM) : 1^{re} et 4^e de couverture en bas à gauche, 5, 8, 9, 10, 14, 15, 17, 31, 35, 37, 39, 40, 43, 44, 45, 47 ; N. Mariotte (INRA-URFM) : 1, page 4, 34, 46 ; H. Oswald (INRA-URFM) : 4, 6 ; J.-N. Candau (INRA-URFM) : 36 ; J.-P. Fabre (INRA-URFM) : 49, 50 ; R. Bentouati (Université de Batna - Algérie) : 3, 13 ; C. Ripert (IRSTEA) : 28 gauche, 29 droite, 4^e de couverture en haut à droite ; C. Ginisty (IRSTEA) : 27 ; R. Schiano (IRSTEA) : 29 gauche ; A. Brethes (ONF) : 25 ; J. Ladier (ONF) : 26 ; P. Marty (CRPF Languedoc-Roussillon) : 2 droite ; P. Mathieu (CRPF Midi-Pyrénées) : 2 gauche, 4^e de couverture en haut à gauche ; J. Royer (DRAAF Languedoc-Roussillon) : 20 ; M. Lagacherie (CRPF Languedoc-Roussillon) : 32, 38 ; J.-C. Devaux (CRPF Normandie) : 33 ; A. Givors (Pro Silva France) : 48 ; P. Legrand (DSF Massif Central) : 16 ; A. Csakvary (CRPF Rhône-Alpes) : 22 ; F. Nonon (CRPF Champagne-Ardenne) : 18 ; P. Castano (CRPF Poitou-Charentes) : 19 ; M. Colombet (CRPF Bretagne) 21, 23 ; L. Amandier (CRPF Provence-Alpes-Côte-d'Azur) : 24 ; G. Bossuet (CRPF Provence-Alpes-Côte-d'Azur) : 30 ; P. Gonin (CNPf-IDF) 28 droite ; S. Gaudin (CRPF Champagne-Ardenne) : 4^e de couverture en bas à droite ; J.-C. Devaux (CRPF Normandie) : 4^e de couverture au milieu à droite ; A. de Lauriston (CRPF Centre) : 4^e de couverture au milieu à gauche.

DÉCEMBRE 2012



Tarn



Ille-et-Vilaine



Eure-et-Loir

Face au changement climatique, le cèdre est souvent présenté comme une des essences potentielles de substitution aux espèces sensibles à la sécheresse.

L'expérience ancienne acquise en région méditerranéenne et les essais plus récents en région tempérée confirment son intérêt. Pour autant, l'utilisation du cèdre doit répondre à des exigences strictes sous peine d'échec.

À partir de l'état des connaissances sur le cèdre de l'Atlas, tirées de la bibliographie et complétées par une enquête nationale des références existantes sur le terrain, ce document rassemble les éléments permettant au gestionnaire d'installer et de conduire ses peuplements en connaissance de cause :

- autécologie, comportement vis-à-vis des facteurs climatiques et des caractéristiques du sol
- recommandations techniques pour l'installation des peuplements
- indications et éléments de choix d'itinéraires sylvicoles
- qualité et utilisations du bois
- risques sanitaires
- références bibliographiques.



Eure



Vaucluse



Marne