

Chapitre2 : Naturalité et biodiversité des écosystèmes forestiers.

1. Définition de la naturalité d'un écosystème.

La naturalité renvoie un caractère sauvage d'un écosystème. Elle qualifie un milieu naturel dont l'évolution n'est pas entravée par l'homme et où l'homme lui-même n'est qu'un visiteur de passage.

La naturalité est une notion complexe et multiple, mais qui fait écho à un sentiment spontané évident, elle renvoie à une image sauvage, primaire, brute, inaltérée de la nature, avec ce qu'elle offre ainsi d'émerveillements mais aussi de craintes. Elle se surimpose à la notion de cette « nature au sens large », qui comprend de plus en plus d'espaces dominés par l'homme et où son aspect et ses caractéristiques sont le produit d'une action humaine. Elle renferme une charge symbolique mais n'est pas exempte de règles et conditions : la naturalité peut s'évaluer sur bases de critères objectifs. Un haut degré de naturalité, surtout en ce qui concerne les forêts, sera souvent associé à une forte diversité biologique.

L'originalité d'un écosystème forestier naturel est à mettre en relation avec quatre caractéristiques principales :

- **La forte biodiversité** : Une forêt naturelle européenne compte en général plus de 10 000 espèces pour des surfaces de l'ordre de quelques dizaines de milliers d'hectares ou plus de 5 000 sur quelques centaines seulement. Cette richesse est principalement le fait d'espèces ou de groupes fonctionnels peu connus (invertébrés, champignons...);
- **Son organisation spécifique** : Un écosystème forestier est un ensemble d'habitats mais aussi un ensemble de micro-habitats d'une diversité aussi grande que celle des espèces qui la compose. L'organisation de l'écosystème forestier est indissociable de sa désorganisation : ce point est bien illustré dans le rôle des tempêtes ou du bois mort par exemple ;
- **La complexité fonctionnelle** : Celle-ci découle en grande partie des deux caractéristiques précédentes. Comme le rappelle Morin (1980), « la complexité vivante, c'est bien de la diversité organisée ». C'est également des flux de gènes, de matières, des relations trophiques et biogéochimiques ;
- **La spontanéité écologique** : Un écosystème forestier présente la capacité de s'auto-produire, s'auto-régénérer, s'auto-réguler, s'auto-désorganiser. Cette capacité découle des processus et des fonctionnements dynamiques de l'écosystème (résilience, succession et trajectoire écologique, régénération...), mais aussi de l'évolution de la diversité. Car la spontanéité écologique ne s'improvise pas à partir de rien, elle est le fruit d'une très longue histoire (naturelle) évolutive.

Ce sont bien principalement ces deux dernières notions que le concept de naturalité réintroduit aujourd'hui dans les discussions sur la biodiversité. Il apporte également un éclairage clé sur les relations en ces quatre caractéristiques.

En termes de structure, la forêt naturelle est caractérisée par un haut niveau de complexité, source variée d'habitats et de ressources. Si l'on considère la communauté des arbres de la forêt naturelle, la structure verticale (strates), horizontale (mosaïque).

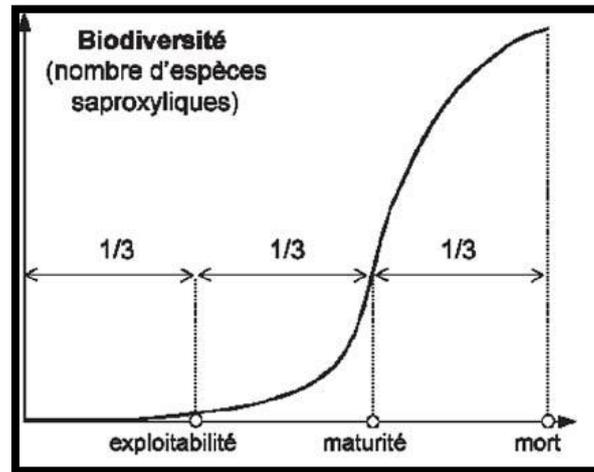


Figure 1 : Espèces saproxyliques inféodés aux vieux arbres. Relation entre la richesse spécifique et l'âge des arbres (Branquart et *al.*, 2005). Reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur.

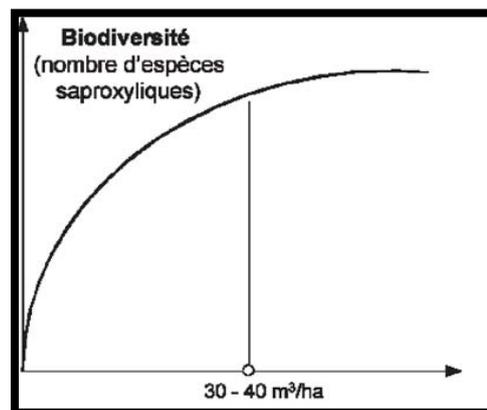


Figure2 : Espèces saproxyliques vivant dans le bois mort. Relation entre la richesse spécifique et le volume de bois mort disponible localement (Branquart et *al.*, 2005).

et démographique (âges), la quantité importante d'arbres vétérans et de bois mort de grande dimension présentant des stades de décomposition différents, créent une kyrielle de niches écologiques favorables à l'accueil d'une riche biodiversité. Branquart et al. (2005) ont résumé

la relation entre la biodiversité saproxylique et la maturité de la structure forestière (figure 1), de même que la relation entre la biodiversité saproxylique et le volume de bois mort (figure 2). Ces deux figures illustrent le lien très fort qui existe entre la maturité et la biodiversité dans les écosystèmes forestiers.

En terme de fonctionnement, l'analyse des forêts naturelles souligne toute l'importance dans l'écosystème :

- des perturbations naturelles, ensemble de processus fonctionnels clés, complexes et précis dans leurs manifestations dans les écosystèmes forestiers, au titre desquelles on compte par exemple les chablis en forêt, les incendies naturels.

- Du bouclage des cycles biogéochimiques (Figure 3).

Ces deux processus sont également l'une des clés soutenant le renouvellement de l'écosystème et la conservation de sa biodiversité dans une perspective évolutive. Ils sont indispensables à la persistance de la forêt naturelle sur le très long terme. L'analyse de la forêt naturelle illustre également les liens étroits entre biodiversité et fonctionnalité, au travers de la notion de résilience.

Tout ce qui modifie ces fonctionnements naturels (réduction de la biodiversité ou de certaines guildes, rajeunissement excessif de la forêt, simplification exagérée de la structure du boisement, réduction significative du bois mort, modification du régime des perturbations,...) est suspecté de modifier plus ou moins fortement la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème forestier. Comprendre la biodiversité, la structure et le fonctionnement des forêts à haute naturalité, est donc une référence très instructive pour révéler, intégrer, calibrer puis pondérer au mieux l'impact des activités du gestionnaire dans l'écosystème.

2. Critères et indicateurs de naturalité :

L'analyse de la naturalité repose sur la recherche, avec une approche multiscalaire, d'un ensemble cohérent de critères et d'indicateurs permettant :

- De décrire et comprendre l'expression de la biodiversité et de l'écosystème au travers de ses attributs vitaux ;

- De rechercher les déterminants de son fonctionnement, de sa résilience (capacité dynamique autonome) et de ses perspectives évolutives ;

- De tester l'hypothèse de facteurs potentiels de blocage ou de présomptions de modifications de l'écosystème étudié.

Ces dernières sont très largement confirmées par les résultats de l'évaluation de l'empreinte d'une culture.

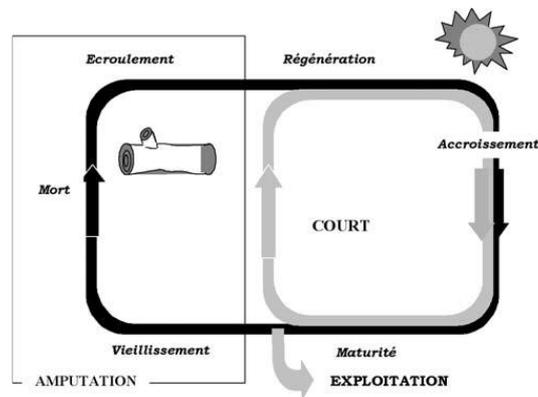


Figure 3: La sylvigénèse de l'écosystème forestier naturel ou exploité. La gestion, qui récolte du bois (cycle grisé), court-circuite le cycle naturel (cycle noir). Les phases de vieillissement et d'écrolements sont dès lors exceptionnelles ou absentes (André, 2005).

La diversité : Cela inclut des réflexions sur l'indigénat des espèces, mais également la composition spécifique et les espèces présentes, disparues ou potentielles. Par ailleurs, des espèces indicatrices des forêts anciennes peuvent aider à évaluer les écosystèmes (voir Hermy et al. 1999, Dupouey et al., 2002 pour la flore, Muller et al., 2005 pour les coléoptères, Kuusinen 1996 pour les lichens, Daillant 1996 pour les champignons...). Cela demande toutefois à ce que le domaine d'indication soit précisé et validé, ce qui est pour l'instant peu le cas ;

- La maturité : sylvigénétique et structurale (majorité des publications forestières). L'étude de l'architecture des peuplements et de la mosaïque paysagère est aujourd'hui quelque chose de classique, de même que l'analyse de la distribution des âges (classe d'âges) et la distribution de la matière ligneuse vivante et morte ;

Les continuités : spatiales et/ou temporelles La notion de continuité est primordiale dans les écosystèmes forestiers dont la vie se réalise sur des pas de temps très longs et des échelles spatiales larges, qui ne sont pas toujours faciles à analyser à l'échelle humaine. Les recherches sur la relation entre histoire et écologie confirment aujourd'hui que c'est un domaine clé explicatif de bien des réalités des écosystèmes forestiers. Cela inclut la continuité des cycles

sylvigénétiques et biogéochimiques, des habitats, des chaînes trophiques et des processus évolutifs.

3. Dynamique et structure des peuplements en réponse aux incendies et autres perturbations

3.1. Définition de la dynamique de la végétation

C'est l'évolution de la végétation avec le temps, en un lieu particulier (= station), correspondant à l'apparition et à la disparition d'espèce, de manière continue (stades pionniers) jusqu'à un stade ultime stable, le climax : c'est en parallèle l'évolution des facteurs du milieu, en particulier du sol, mais aussi la lumière, l'eau, l'organisation spatial...etc.

C'est une évolution naturelle unidirectionnelle :

Roche mère → Pelouse → Lande → Forêt

Espèces pionnières qui disparaissent

/ Espèces de climax qui restent

Le tapis végétal est en mouvance générale et permanente. Plusieurs phénomènes sont à l'origine de cette mouvance :

* Des processus progressifs, lents, qui interviennent sans arrêt au sein du tapis végétal : la croissance et la mortalité des individus, la concurrence intra et surtout interspécifique (pour l'espace, la lumière, la nourriture) ;

* Des perturbations ou catastrophes, phénomènes brutaux, imprévisibles, aléatoires, pouvant concerner de vastes espaces (tempêtes, incendies, éruptions volcaniques, crues brutales, attaques d'insectes), à l'origine de phénomènes régressifs qui réactivent de nouveaux processus progressifs.

* Les actions anthropiques développées depuis des millénaires marquent profondément de leur empreinte les paysages actuels ; elles sont ainsi à l'origine de la diversification des trajectoires dynamiques observées. Certaines activités (agropastorales) se traduisent par contre par des blocages de la dynamique. Des mutations récentes (déprise agricole) provoquent la levée de ces blocages, entraînant la transformation des paysages dans de nombreuses régions.

* Ces phénomènes dynamiques induisent des modifications des populations (dynamique démographique des populations d'espèces végétales, par exemple), des communautés végétales (transformation progressive d'une communauté en une autre), de certaines conditions stationnelles (sols, conditions micro climatiques), des peuplements animaux.

4.2. Succession écologique

Une succession écologique est un processus d'évolution libre d'un milieu naturel au cours du temps. Cela consiste en une série d'étapes devant se succéder dans un ordre adéquat : différentes communautés végétales et animales, sols, etc... se remplacent.

- La première communauté à s'installer sur un sol nu est dite pionnière
- Les communautés subséquentes sont les séries
- La communauté finale est un état d'équilibre stable atteint par le complexe climat-sol-flore-faune en un lieu donné.

Cet état d'équilibre est appelé **climax**.

Exemple de succession écologique : Terrain nu => végétation pionnière => prairie => arbustes => forêt

On distingue deux types principaux de successions :

3.2.1. Les successions primaires

Les successions primaires correspondent à l'installation des êtres vivants dans un milieu comme un sol nu qui n'a jamais été peuplé. Les organismes qui s'installent en premier sont qualifiés de pionniers. Les biocénoses qui se succèdent sont des séries. La fin de l'évolution de la série est représentée par une biocénose stable, en équilibre avec le milieu qui est qualifié de climax.

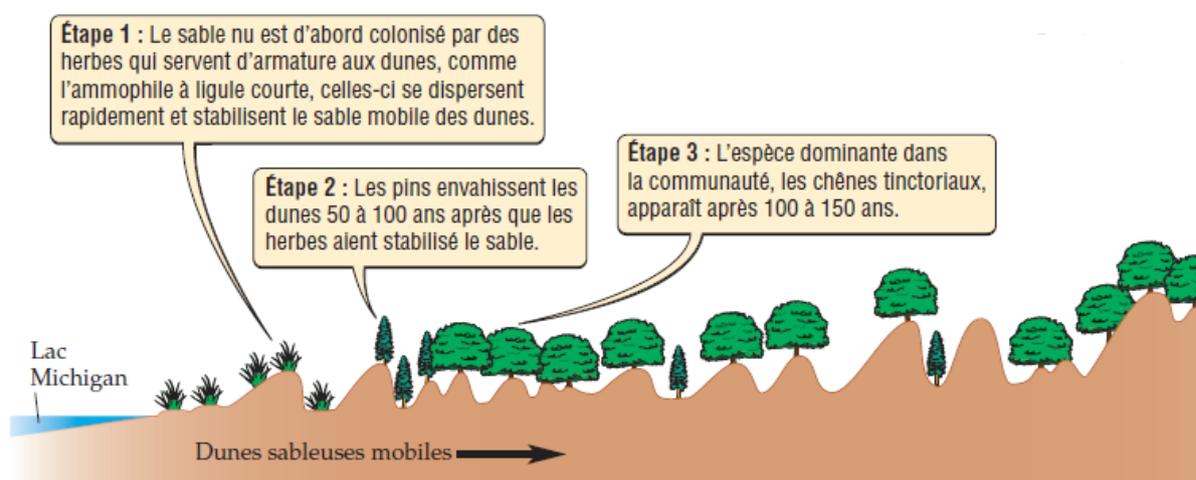


Figure4: Les étapes de la succession primaire.

3.2.2. Les successions secondaires

Correspondent au processus de reconstitution de la végétation dans un milieu qui a déjà été peuplé mais dont les êtres vivants ont été éliminés totalement ou partiellement par des modifications climatiques (glaciations, incendies), géologiques (érosion), ou par l'intervention

de l'homme. Une succession secondaire conduit souvent à la formation d'un disclimax différent du climax primitif.

Les séries évolutives régressives aboutissent non à un stade climax mais à un groupement simple souvent analogue à un stade pionnier.

La notion de climax a été très critiquée. Pour rester valable et mériter d'être conservée cette notion doit prendre un aspect dynamique. Une forêt parvenue au stade climax n'est pas un système uniforme et immuable. C'est un ensemble hétérogène de parcelles d'âges différents qui ont été créés par des perturbations telles que le vent ou le feu. Dans la forêt climax coexistent, à côté de parcelles réellement arrivées au stade climax, un mélange de parcelles d'âge divers dont la végétation est celle ou rappelle celle des stades précédents. Cette hétérogénéité du climax explique la biodiversité élevée que l'on y rencontre. On peut donner le nom de métaclimax à cette structure hétérogène qui se renouvelle constamment tout en restant identique à elle-même.



(a) Peu de temps après l'incendie. Comme le montre cette photo prise peu de temps après l'incendie, le feu a laissé un paysage parcellisé. Remarquez les arbres intacts en arrière-plan.



(b) Un an après l'incendie. Cette photo de la région incendiée prise l'année suivante montre la rapidité avec laquelle la communauté a commencé à se régénérer. Des plantes herbacées, différentes des espèces qui occupaient le tapis de l'ancienne forêt, recouvrent le sol.

Figure5 : Exemples sur la succession secondaire.

3.3. La résilience

La résilience écologique est la capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement, un développement et un équilibre dynamique normal après avoir une phase d'instabilité engendrée par une perturbation environnementale. L'écosystème forestier a par exemple la capacité de se reconstituer après un incendie ou une tempête grâce à une banque de graines contenues dans le sol ou à des propagules transportées par le vent, l'air, l'eau ou les animaux. C'est le cas également de la recolonisation d'un champ cultivé par des espèces sauvages après arrêt de la culture et de la recolonisation des friches urbaines ou industrielles polluées.

Les perturbations naturelles sont partie intégrante de la dynamique de la forêt: les épidémies d'insectes, les chablis et les incendies forestiers contribuent au maintien et au renouvellement des structures et fonctions de cet écosystème.

Le feu est un facteur écologique majeur et constant qui affecte la composition, la structure et la dynamique des écosystèmes méditerranéens. Il était perçu comme une perturbation menant vers des formations végétales de plus en plus basses et de plus en plus ouvertes (successions régressives). Le feu n'apparaît plus comme un phénomène totalement négatif, mais comme une perturbation ayant un impact fugace sur les composantes des écosystèmes (Bekdouche, 2010). Les effets du feu sont évalués en fonction du régime des incendies : type, intensité, fréquence et saison, ainsi que la structure du combustible, les caractéristiques du milieu et les conditions météorologiques (Bekdouche, 2010). Toutes les forêts présentent des risques d'éclosion d'incendies en fonction des caractéristiques de la végétation qui les composent et du climat local. Les causes des incendies se répartissent en deux catégories : les causes naturelles qui représentent un faible pourcentage dans le bassin méditerranéen et les causes humaines, les plus importantes.

Les incendies sont récurrents et les végétaux en place sont adaptés à cette perturbation qu'ils subissent depuis des millénaires. Pour se régénérer, les végétaux pérennes utilisent deux stratégies: la voie végétative, en émettant des rejets et la voie sexuée à partir de graines portées par la plante mère ou enfouies dans le sol.

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est l'un des arbres méditerranéens les plus étudiés. C'est une espèce qui ne survit pas aux feux, mais qui se régénère facilement à partir de la banque de graines du sol et des graines portées par les cônes sur les arbres calcinés (Trabaud, 1995). Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est abondant dans les habitats du bassin méditerranéen exposés au feu, en raison de son opportunisme et de ses capacités à envahir les milieux dénudés et vierges. C'est une espèce pionnière des successions forestières après perturbations et plus particulièrement après incendie.

La concurrence exercée par les espèces qui reprennent juste après le passage du feu est importante. Dans ce sens, de multiples travaux focalisés sur la germination des cistes et des légumineuses signalent une possible entrave à l'évolution des plantules du pin d'Alep en raison de la concurrence qu'elles leur infligent. Dans les pinèdes, les incendies ouvrent les milieux et cela favorise la régénération. Les plantules du pin peuvent se développer en sous

bois pourvu qu'elles aient une luminosité suffisante. L'influence de sous bois sur la régénération dépend de sa densité. Un couvert dense empêche la régénération du pin, de même un couvert trop faible ne peut pas assurer la couverture des plantules encore fragiles et vulnérables contre la forte insolation estivale.

Le passage du feu influence non seulement la composition floristique des communautés, mais il modifie aussi l'agencement des végétaux et leur phytomasse. L'agencement correspond à la répartition spatiale, aussi bien sur le plan vertical que sur le plan horizontal, des différentes plantes qui constituent les communautés. Assez rapidement après un incendie, la végétation réapparaît et recouvre la surface du sol. En effet, généralement, quinze jours à un mois après le feu, commencent à apparaître les premiers rejets ; puis progressivement la végétation devient de plus en plus dense (Trabaud, 1983). La végétation se réinstalle rapidement après le passage de la flamme. Dans un (01) an après le feu pour les taillis denses de chêne vert et les garrigues denses de chêne kermès du sud de la France. Divers auteurs, dont Raunkiaer (1905) et Godron et al. (1968) notent qu'il est préférable de suivre l'évolution du recouvrement en tenant compte des principales formes biologiques des végétaux qui composent les communautés d'après les formes qu'ils atteindraient normalement en absence de feu ou de tout autre traumatisme.

Chapitre3. Dynamique et structure des peuplements en réponse aux incendies et autres

perturbations.

1. Structure des peuplements

1.1. Etude de peuplement

Un peuplement est un ensemble d'arbres ayant une uniformité jugée suffisante quant à sa composition, sa structure, son âge, sa répartition, son état sanitaire, etc., pour se distinguer des peuplements voisins, et pouvant ainsi former une unité élémentaire sylvicole ou d'aménagement (D.G.F, 2005).

- Peuplements purs ou mélangés

Un peuplement constitué par une seule essence est dit pur. Il peut être pur feuillu (chêne-liège, chêne zeen, etc.) ou pur résineux (Pin d'Alep, Pin Maritime, etc.).

Un peuplement de chêne-liège est dit mélangé si la densité en chêne-liège est insuffisante ou si la dynamique naturelle des autres essences entrave les possibilités de régénération du chêne-liège (Gaudin., 1996).

- Peuplements réguliers ou irréguliers

Les peuplements réguliers sont composés d'arbres d'une même espèce et de même âge. Ils peuvent être issus de plantation ou de régénération naturelle menée sur l'ensemble d'une parcelle et constituant la méthode sylvicole de référence pour les essences sociales en plaine (Jarret, 2004).

Pour Turckheim et al. (2005), les peuplements irréguliers sont composés d'arbres d'âges et de tailles différents et ont une dynamique plus complexe que les peuplements purs réguliers et sont plus difficiles à gérer.

D'après Goureaud et al. (2005), ces peuplements très fréyyents dans les forêts de montagne, moins faciles d'accès et moins rentables, ont joué surtout un rôle de protection contre l'érosion. Dans ces peuplements, la régénération naturelle est exprimée de façon hétérogène,

notamment en fonction de la lumière disponible au sol et entraîne une grande hétérogénéité des structures forestières.

1.2. Etude de la structure

La structure d'un peuplement, par définition, est une caractéristique complexe associant le régime et la distribution verticale. Elle est déterminée indépendamment du mode de traitement appliqué par l'administration forestière (D.G.F, 2005).

D'après Walter (1979), cette structure explique le mode d'organisation d'un écosystème ou de ses composants.

Bourlière et Lamote (1978) ont suggéré que la structure permet la connaissance, dans l'espace et dans le temps de la position des individus de toutes tailles et tous âges constituant la communauté, ce qui conduit à la compréhension des interactions entre ses différents composants et le contrôle du fonctionnement de l'écosystème.

D'après ces mêmes auteurs, cette structure peut être élémentaire ou globale. Elle est caractérisée par la diversité floristique, la densité, la surface terrière, les répartitions horizontale, verticale et diamétrique des tiges.

1.2.1. Structure élémentaire

La structure élémentaire est représentée par trois groupes :

- Structure élémentaire régulière

Selon Franclet (1972), cette structure est représentée par une courbe en cloche (courbe de Gauss), elle caractérise la structure des peuplements équiennes (âges voisins et réguliers), au niveau de laquelle tous les arbres ont tous des âges voisins et ont donc des diamètres peu différents (figure 1).

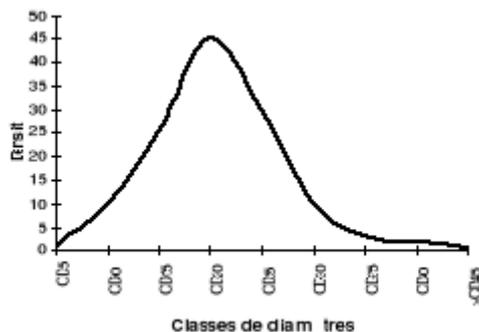


Figure 1 : Répartition de la structure élémentaire régulière (Gaudin, 1996)

- **Structure élémentaire jardinée** Selon Gaudin (1996), cette structure est représentée sous forme d'une fonction sensiblement exponentielle, au niveau de laquelle tous les âges ou tous les diamètres sont représentés. On a une décroissance régulière du nombre de tiges quand on passe d'une classe de diamètre à la suivante (figure 2).

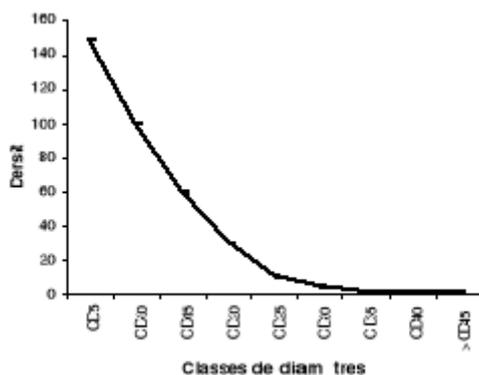


Figure 2 : Représentation de la structure élémentaire jardinée (Gaudin, 1996)

- **Structure élémentaire irrégulière** : Franclet (1972) a montré que cette structure n'est pas reconnue comme une structure naturelle, elle est en effet très artificielle et provient d'exploitation ou de conditions très particulières.

Letocart (2002) a révélé que la structure irrégulière offre de nombreux avantages d'ordre écologique et économique et elle a rendu les peuplements plus résistants aux divers dangers; elle a garanti une couverture permanente du sol et favorise la régénération.

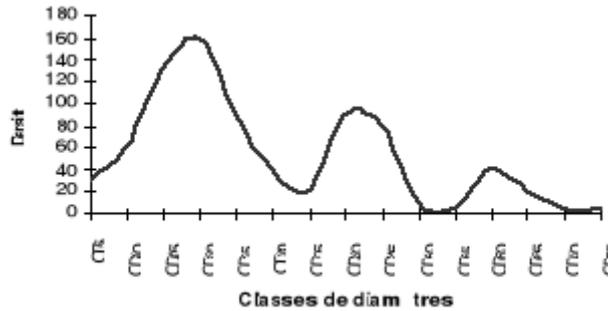


Figure 3 : Représentation de la structure élémentaire irrégulière (Gaudin, 1996)

1.2.2. Composition floristique

La composition floristique a permis de décrire la forêt sous un aspect écologique et fonctionnel. Sa liaison éventuelle avec la dynamique du peuplement, la stabilité de l'écosystème et sa productivité, influe évidemment sur la dynamique moyenne du peuplement et elle peut être indicatrice de l'intensité de perturbations (Vincent et al, 1998). Le peuplement de chêne-liège a montré une composition beaucoup plus homogène du point de vue floristique, car il évite les stations trop humides, les endroits trop froids et les sols non acides (le chêne-liège est intimement lié aux formations gréseuses de l'Oligocène Numidien et au Trias non calcaire) (Saoudi, 1994).

Selon Amandier (2002), le feuillage du chêne-liège est assez léger, transparent et la subéraie, dans son état optimal, est un peuplement forestier relativement clair où les arbres ne couvrent que 60% du terrain. De même, Saoudi (1994) a signalé que, en altitude et le long des vallons frais, le chêne-liège est en contact avec le chêne zeen. Sur les dunes, le chêne-liège a beaucoup de peine à supplanter le chêne kermès.

1.2.3. La densité

La densité du peuplement est l'effectif par unité de surface, c'est une caractéristique intensive discrétisée en classe de densité de peuplement (D.G.F, 2005). Selon Franclet (1972), le nombre de tiges augmente pendant la période de construction du peuplement, puis il diminue très rapidement et d'une façon continue sous l'effet de plusieurs facteurs tels que l'influence de l'homme, la concurrence vitale entre les espèces et les sujets d'une même espèce et les facteurs accidentels comme la neige collante, les vents violents et les invasions d'insectes.

1.2.4. Structures verticale, horizontale et diamétrique des tiges

- **Structure verticale** : Elle exprime le type d'occupation de l'espace aérien par les végétaux et l'agencement des différentes strates constituées par des espèces différentes ou par une même espèce mais à différents stades de croissance (Hasnaoui, 1992).

Pour Collinet (1997), la structure verticale représente la distribution des individus par classes de hauteur, elle offre l'intérêt de pouvoir fournir un indicateur de richesse du site.

Selon M'Hirit (1982), la structure verticale de la végétation correspond au recouvrement du sol par les différentes strates arborescente, arbustive, sous arbustive et herbacée, elle peut renseigner sur les potentialités de la station et sur le dynamisme du peuplement forestier.

- **Structure horizontale** : Elle rend compte de la répartition des individus dans le plan. L'étude de la structure horizontale est importante car cette répartition résulte des mécanismes de fonctionnement des espèces (mode de régénération, sensibilité aux facteurs du milieu, compétition, etc.).

On distingue souvent l'étude des répartitions individu - individu et celle des répartitions individu - milieu (Dérout, 1994).

Dauglas et al (2007) ont signalé que la variabilité horizontale dans la structure du peuplement a été proposée comme un mécanisme qui contribue à la diversité des espèces dans les forêts anciennes.

- **Structure diamétrique** : Selon Vincent et al (1988) la structure diamétrique est la répartition des tiges par classes de diamètres, elle peut être établie en prenant en compte tous les individus et toutes espèces confondues. Elle est porteuse d'informations sur la stabilité du peuplement, elle peut être également établie par espèce et l'on parle de structure spécifique.

2. Régime et stade de développement du peuplement

On a distingué trois régimes caractérisés principalement par le mode de régénération.

Selon Bourdru (1989), le peuplement est un taillis et est soumis au régime du taillis lorsqu'il est rajeuni par des rejets de souche ou par des drageons.

Pour Schütz (1989), le peuplement est un taillis sous futaie et est soumis au régime du taillis sous futaie quand les arbres se reproduisant par graines surplombent d'autres végétaux rajeunis par rejets ou drageons. Il comprend, au-dessus, la futaie ou réserve et au-dessous, le taillis.

Selon Franclet (1972) le régime de la futaie est basé sur la régénération à l'aide de semences. Cette régénération se poursuit, sans discontinuité, pendant des générations dans les forêts cultivées et modifie la structure et la composition botanique des peuplements primitifs.

Goreaud et al. (2005) distinguent, quant à eux, Futaie régulière (équienne) et futaie jardinée (inéquienne). Une futaie est régulière lorsqu'elle est composée de peuplements réguliers élémentaires, d'âges convenablement gradués pour qu'elle puisse être parcourue à intervalles réguliers par des coupes principalement dans les peuplements les plus vieux. Une futaie est inéquienne lorsqu'elle est constituée d'arbres d'âges divers ou multiples, dont les dimensions en grosseur et en hauteur sont assez différentes pour qu'elles ne puissent se régulariser avec le temps.

Certains auteurs comme Boudru (1973), Schütz (1989) et Franclet (1972) ont classé la futaie jardinée en plusieurs classes :

La futaie est dite jardinée par pieds d'arbres et les surfaces élémentaires du jardinage par pied couvrent l'étendue de toute la forêt. Dans ce type de peuplement, les arbres de tous les âges et de toutes les dimensions sont intimement mélangés.

Graphiquement, les fréquences décroissantes par catégorie de grosseur sont représentées par une courbe à concavité tournée vers le haut.

La futaie est dite par groupes ou par bouquets, lorsqu'elle comprend des groupes étendus, variables, confusément mélangés.

Les âges et les dimensions d'arbres varient de groupe en groupe de telle sorte que, sur une surface suffisante on rencontre tous les âges ou toutes les dimensions. Chaque groupe est considéré comme un peuplement régulier.

La futaie jardinée par quartier est un type intermédiaire, par sa structure, son traitement et même son aménagement. La forêt se répartit en plusieurs quartiers, trois par exemple,

respectivement occupés par les vieilles tiges, par les bois d'âge moyen et par les jeunes plantes. Ces peuplements sont d'âges multiples, chaque quartier est formé de groupes équiennes.

Il est préférable de délimiter les états de développement par les dimensions des arbres, plus précisément par leur diamètre. Certains chercheurs comme Bourdru (1973) et Schütz (1989) ont utilisé la notion de diamètre dominant (Do).

Les états de développement des peuplements se répartissent en classes de diamètre dominant de 10 cm.

Ces mêmes auteurs, ont distingué les stades de développements de taillis et de futaie suivants :

- Les stades de développements du taillis sont les suivants :

- **Le jeune recru** : Après la coupe, les rejets apparaissent sensiblement à la même époque. Les cépées de rejets sont séparées par des espaces qui se garnissent d'un tapis herbacé et de quelques bois - morts.

- **Le jeune taillis** : Les cépées se développent en hauteur, elles s'étalent en largeur, les branches s'entrecroisent.

- **Le vieux taillis** : Rappelle un peu du bas - perchis passant au haut - perchis de la futaie régulière.

- Les états de développement de la futaie sont les suivants :

- **L'état de semis** : il est constitué par de jeunes sujets issus de graines (hauteur inférieure à 40 cm). Il s'agit des tiges non ou peu ramifiées.

- **L'état de fourré** : il est formé par des tiges ligneuses issues de graines, ramifiées (40 ou 50 cm à 1 à 3 m de haut).

- **L'état gaulis** : comprend de jeunes tiges de faibles hauteurs (3 à 8 m) et de diamètres (1 à 5 cm).

- **Le bas - perchis** : comprend les arbres de diamètre 10 à 20 cm (circonférence de 30 à 60 cm) et de hauteur supérieure à 8 m.

- **Le haut - perchis** : comprend les arbres de diamètre 20 à 30 cm (circonférence 60 à 90 cm) et de hauteur 15 m.

- **L'état de futaie** : caractérisé par des arbres de diamètres supérieurs à 30 cm et de hauteur entre 15 à 20 m.

3. Devenir d'un écosystème forestier

2.1. Evolution de la structure d'un peuplement forestier

La structure de la forêt naturelle est considérée, sur une grande surface, comme une forêt jardinée avec un certain excès de gros bois. Elle peut varier d'allure de place en place mais reste généralement étagée. La régénération est due au hasard, l'élimination des arbres, le plus souvent les plus gros, se fait isolément (sénilité, foudre, champignons, insectes), par groupes plus ou moins étendus, ou encore par grands blocs (accidents météorologiques) (Boudru, 1989).

Ce même auteur suggérait que les semis et les arbres nés dans ces trouées (ou grands vides) forment des peuplements de structures très diverses depuis les groupes mélangés jardinés par pieds jusqu'aux parcelles équiennes mixtes ou pures.

Zukrigl et al (1963) ont montré que dans la forêt naturelle existe un cycle d'évolution de longue durée avec des stades différents et successifs (phases) répartis localement : l'ensemble de la forêt conserve toujours sa composition botanique générale et sa structure jardinée.

D'après Greaud et al (2005), pour comprendre la dynamique des peuplements forestiers et prédire leur évolution pour mieux les gérer, il est important de prendre en compte les processus de régénération à l'échelle du petit massif forestier, car ce sont eux qui sont à l'origine de la colonisation de ces espaces, et qui continuent à modifier la composition spécifique des peuplements, dans le cadre d'une succession écologique des espèces. Ces mêmes auteurs, ont montré que la croissance et la mortalité sont toutes deux fonctions de la compétition entre arbres (qu'ils soient ou non de la même espèce, et quels que soient leur âge et leurs dimensions).

Zukrigl et al (1963) ont montré également que le cycle d'évolution de la structure des peuplements forestiers présente des stades successifs qui sont :

- ✓ Une phase optimale (A) ou le peuplement fermé, régularisé, de hauteur uniformisée, très vigoureux, renferme peu d'arbres dépérissants et de rares jeunes bois. Il est constitué par les espèces de grandes tailles du milieu, d'autres étant ravalées dans les étages subordonnés.
- ✓ Une phase de vieillissement (B), ou de sénilité, à structure étagée avec arbres géants. La jeunesse naît timidement dans quelques trouées formées par disparition d'individus surâgés.
- ✓ Une phase de destruction (C) temporaire de la forêt très vieille. Les sujets disparus, morts ou dépérissants, sont nombreux. De multiples trouées se garnissent abondamment de recrues jeunes.
- ✓ Une phase jardinée initiale (D) ou phase de régénération avec jeunesse abondante et persistante des derniers vieux bois de l'ancienne forêt dont les cadavres jonchent le sol.
- ✓ Une jardinée typique (O) composée d'individus d'essences dominantes de toutes dimensions. Les espèces accessoires sont également présentes à tous les niveaux. Les chablis de vieillesse sont absents ou exceptionnels.

2.2. Facteurs d'évolution de la structure du peuplement.

De nombreux facteurs, tels que la productivité des semences et la dispersion, la concurrence, les facteurs environnementaux, les agents pathogènes et la perturbation anthropique, pourraient influencer sur la structure du peuplement (Block et Treter, 2001).

1. Facteurs topographiques

- **Altitude** : les facteurs environnementaux, par exemple la température et l'humidité du sol, changent généralement avec un gradient d'altitude (Block & Treter, 2001).

Carles et al. (2001) ont pu montrer que le climat varie essentiellement selon l'altitude et selon l'éloignement de la mer. Les températures baissent quand l'altitude augmente. Le nombre de jours de gel varie entre Novembre et Mars selon l'altitude. De même, la pluviosité annuelle augmente avec la proximité de la mer. Le déficit hydrique estival, fortement marqué en zone basse, s'atténue avec l'altitude et avec l'éloignement de la mer.

Ben Brahim et al (2004) ont noté l'action du vent sur le relief et sur la croissance végétale.

- **L'exposition** : Hasnaoui (2008) a souligné que la Kroumirie est caractérisée par des chaînons de montagne et des collines qui sont orientés de Sud-Ouest vers Nord-Est, ce qui leur confère une position perpendiculaire au sens des vents dominants (Nord-Ouest vers Sud - Est), qui amènent les pluies, d'où une humidité nettement plus élevée en exposition Nord qu'en celle Sud.

Selon Aussenac (2000), Les expositions fortement ensoleillées, les sols minéraux bruts, peu évolués et superficiels et les terrains pentus accentuent les conditions hydriques. Ce stress réduit la croissance en diamètre et en hauteur et affaiblit la capacité des arbres à résister aux stress.

- **La pente** : Les bas de versant qui ne sont pas trop abrupts et les replats sont constitués de sols d'accumulation profonds et riches.

Les versants exposés au Sud sont plus secs que ceux exposés au Nord. Les incendies y sont plus fréquents et la végétation a plus de mal à se réinstaller. L'érosion est donc plus forte et les sols sont généralement superficiels (Carles et al, 2001). D'après ces mêmes auteurs, sur les versants exposés au Nord les sols sont généralement profonds et frais, sur schistes notamment, la profondeur du sol est également fortement influencée par les différences de pentes : les sols sont superficiels et pierreux sur les pentes fortes, plus frais et meubles sur les pentes faibles.

Bergers (2004) a prouvé que la position de la plantation sur les pentes semble également exercer une influence sur la hauteur et le diamètre, soit une meilleure croissance de bas en haut.

2. Le dépérissement

Hasnaoui (2008) a montré que le dépérissement a touché environ 20 % des individus des différentes subéraies tunisiennes. Les subéraies de basse altitude, sur des versants exposés au Sud et sur des pentes fortes sont les plus exposées au dépérissement. L'anthropisation de la subéraie augmente encore ce phénomène.

Abdendi (2003) a révélé que l'impact d'origine anthropique de plus en plus croissant (pâturage excessif, écimage des arbres, coupes, cueillettes), qui se traduit dans la plupart des cas, par

une dégradation très avancée des structures des groupements des végétaux et des sols, a rendu les arbres très vulnérables aux processus de dépérissement.

Aussenac (2000) a souligné que la sécheresse semble être le facteur le plus associé au dépérissement des forêts.

3 : Le surpâturage

Le surpâturage contribue à la dégradation des potentialités pastorales, la disparition de la couverture végétale, l'absence de la régénération naturelle par semis des forêts de chêne, l'apparition de l'érosion hydrique sous ces différentes formes et par conséquent le déséquilibre de tout l'écosystème Sylvo - pastoral (Hasnaoui, 2008).

D'après Boussaidi (2005), la dégradation des pâturages, d'une façon générale, est due plutôt à leur surexploitation lorsque la charge animale est excessive (la quantité de matière végétale prélevée chaque année devient supérieure à la quantité de matière consommable produite et prise sur le capital végétal). Beltrain (2002) a suggéré que les autres actions humaines qui provoquent la dégradation des subéraies sont : le tourisme (excursions, zones très visitées (les Week-end), l'urbanisation et la pollution (pluies acides, rejets toxiques)).

Dans le même sens, Bendaanoun (1998) a trouvé que les facteurs de dégradation et de destruction de la subéraie sont nombreux et leurs impacts néfastes sur le recul et la régression des écosystèmes de chêne-liège.

Ben Tiba (1980) montrait que ces défrichements sont le résultat de deux facteurs différents, mais agissant de pair, qui sont l'explosion démographique et la perte de fertilité des sols les plus soumis à l'érosion.

