

La forêt

Primaire et collège

Résumé

La forêt a toujours joué un rôle important dans le réel et l'imaginaire de l'homme. Tour à tour lieu sacré ou lieu maudit, source de vie ou de perdition, réserve de nourriture ou espace à défricher, elle ne laisse jamais indifférent. Le scientifique lui aussi s'intéresse à la forêt, sa composition, son rôle, son histoire...

la forêt

Bruno Fady

La forêt a toujours joué un rôle important dans le réel et l'imaginaire de l'homme. Tour à tour lieu sacré ou lieu maudit, source de vie ou de perdition, réserve de nourriture ou espace à défricher, elle ne laisse jamais indifférent. Demandez autour de vous une description simple de la forêt et, dans la liste des mots que vous obtiendrez, il y aura probablement ÉCOSYSTÈME, « poumon de la Terre », « champignons », « humus », « eau » et « bois » ou encore « chasse », « randonnée », « tronçonneuse »... « Diversité » pourra faire bon ménage avec « parasite », « bien-être », « chevreuil » et « paysage ». Un joyeux mélange de sentiments, de sensations et de termes descriptifs ou explicatifs.

Le scientifique lui aussi s'intéresse à la forêt, sa composition, son rôle, son histoire... Mais parlons-nous tous bien de la même forêt ? Est-ce bien le mot forêt qu'il faut employer pour décrire le paysage arboré que nous voyons ? Ou bien ne faut-il pas plutôt qualifier la forêt de jardin ? d'espace naturel ? d'espace cultivé ? d'espace artificiel ?

La démarche suivie dans ce chapitre consiste à expliciter quelques-uns des concepts scientifiques relatifs à la forêt, depuis leur définition jusqu'à leur rôle dans l'explication de l'histoire évolutive et du fonctionnement de la forêt. On y verra l'importance jouée par les niveaux d'échelle (le « ça dépend de quel point de vue on se place

dans l'espace et le temps ») pour théoriser, modéliser un fait particulier. Les exemples utilisés seront choisis essentiellement dans la forêt méditerranéenne, et notamment une forêt du centre Var, lieu de rencontre de l'Université d'automne *La main à la pâte*.

La forêt et ses constituants : systématique et évolution

Pour expliquer logiquement, scientifiquement ce que l'on observe, ce que l'on ressent, la description constitue la première démarche à accomplir. Forcément réductrice (le nombre d'outils de description choisi n'est pas illimité), mais nécessaire. Il s'agit de fractionner, de classer nos observations en essayant de répondre au « quoi ? » avant de passer au « comment ? ».

Il n'est pas forcément simple de choisir les mots qui répondent à la question « quoi ? ». Par exemple, lorsque l'on dit champignon, cherche-t-on à décrire (forme, COULEUR, appartenance à un groupe systématique...) ou à expliquer (appartenance à un écosystème, indicateur d'un niveau de pollution...) ? Ou encore, quand on parle de l'écosystème, est-ce la description de la composition d'un système naturel ou l'explication du fonctionnement des interactions entre les composants du système qui nous préoccupe ? Nous

pouvons nous interroger sur chacun des mots clés : s'agit-il plutôt d'un descripteur ou d'un analyseur ? Quel que soit le type de définition privilégié (les deux peuvent être bonnes), pouvoir répondre à la deuxième sous-entend d'avoir élucidé la première.

Le besoin de classer les constituants de la forêt est donc une démarche logique. Depuis Carl von Linné (1707-1778), tout être vivant est décrit par deux mots latins, un binôme, comportant le nom du genre et de l'espèce auxquels il appartient. Les unités systématiques de base appartiennent elles-mêmes à des unités supérieures agrégatives, les familles, ordres, classes, règnes notamment. Chaque unité forme un taxon, et la science qui classe les taxons les uns par rapport aux autres selon des critères d'importance différente est la TAXONOMIE. Par exemple, le chêne vert méditerranéen se nomme *Quercus ilex*. Tous les chênes porteront le même nom de genre (*Quercus*) et chaque espèce du genre aura son nom propre, placé après le nom de genre. Si l'on part du sommet de la pyramide systématique pour cette espèce, cela donne : règne : végétal ; embranchement : phanérogames ; sous-embranchement : angiospermes ; classe : dicotylédones ; ordre : apétales ; famille : fagacées ; genre : *Quercus* ; espèce : *ilex*.

Comment fait-on pour différencier un chêne d'un autre, plus généralement une espèce d'une autre ? Alors qu'il est assez facile de reconnaître un chêne (il porte des glands), il est plus difficile de séparer les différentes espèces. Et sur quels critères se fonder pour séparer les espèces ? Cette question a été au centre de la réflexion des taxonomistes pendant très longtemps. Traditionnellement, la morphologie était utilisée pour séparer les taxons (voir la figure page suivante).

Ainsi, les pins se distinguent par la forme de leurs cônes (figure). Le chêne vert, lui, se distingue du chêne-liège (*Quercus suber*) par l'absence de liège sur son tronc, et du chêne pubescent (*Quercus pubescens*) par le fait qu'il ne perd pas ses feuilles en hiver. Nous sommes dans le monde de la description, du « qu'est-ce que c'est ? ». Rapidement, des limitations apparaissent : les caractères morphologiques sont variables entre individus d'une même espèce. Même ceux liés au maintien de l'espèce dans son milieu et qui se rapportent à la reproduction (les fleurs, les graines...) et qui ont *a priori* une valeur taxonomique plus pertinente que d'autres caractères, comme ceux liés, par exemple, à la couleur ou la forme des feuilles, apparaissent très rapidement limitants. C'est en raison de cette limitation qu'est apparue, vers le milieu du XX^e siècle, la notion de définition biologique de l'espèce, notion plus fonctionnelle. Nous passons du « qu'est-ce que c'est ? » au « comment ça marche ? ». En changeant de type de définition dans un même mot, il y a introduction du fonctionnel dans le descriptif. L'espèce devient le groupe d'individus qui peut se reproduire et donner des descendants qui lui ressemblent. *Quercus suber* et *Quercus ilex* appartiennent à deux espèces différentes parce qu'ils ne peuvent pas obtenir de descendants par REPRODUCTION SEXUÉE.

En théorie oui, en pratique non. Les HYBRIDES INTERSPÉCIFIQUES, à l'intérieur d'un même genre, sont bien connus en biologie et très utilisés par l'homme. Par exemple, la grande majorité des peupliers plantés pour la production de bois sont issus de croisements hybrides entre peupliers européens et américains, appartenant pourtant à des espèces différentes. Serions-nous revenus en arrière dans notre démarche

de description ? À peine introduit, ce nouveau concept fait-il preuve de sérieuses limitations ? En fait, tout concept a des limites qu'il s'agit de bien comprendre. Toute explication se situe à un niveau d'échelle dont il s'agit de bien saisir les limites. Le concept biologique d'espèce est plus fonctionnel que le concept morphologique pour décrire le monde vivant, en ce sens

qu'il permet notamment une approche évolutive. Comprendre qu'il présente de sérieuses limites ne le remet pas forcément en cause, cela indique que le monde vivant est en continuelle évolution. Les espèces proches, appartenant au même genre, sont voisines par leur origine, dérivent d'un même ancêtre commun. Il est par exemple probable que toutes les espèces de sapins



Nous pouvons identifier trois espèces de pin différentes à partir de leur cône et de leur graine. Ainsi trouvons-nous, de haut en bas, le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le pin pignon (*Pinus pinea*) et le pin maritime (*Pinus pinaster*) (réduction : 50%).

du monde aient un petit nombre d'ancêtres communs à l'ère tertiaire. Le scientifique qui croise expérimentalement deux espèces différentes de ce genre, habitant maintenant deux milieux écologiques différents en Europe, par exemple, est quasiment assuré d'obtenir une descendance hybride viable. Il n'existe pas de mécanisme d'incompatibilité entre ces espèces. Ces groupes ont sans doute évolué à l'échelle des temps géologiques, sous l'effet de l'isolement géographique, du hasard et de contraintes adaptatives variées, pour donner les espèces que nous connaissons maintenant, occupant des aires de répartition différentes.

Les niveaux d'échelle auxquels il est ici fait référence sont temporels. La proximité taxonomique des espèces (observation contemporaine) nous renseigne sur leur évolution au cours des temps géologiques (observation historique). Ce qui peut apparaître, lors de l'observation contemporaine, comme une exception à la règle de la définition biologique de l'espèce est en fait parfaitement sensé si un autre niveau de perception temporel (temps géologiques) est utilisé. Par l'utilisation de nombreux descripteurs (comme la variabilité des séquences d'ADN d'espèces voisines), la PHYLOGÉNIE tente de reconstituer l'histoire évolutive des espèces par une approche utilisant des observations contemporaines pour comprendre des faits du passé.

La forêt et l'écosystème actuel

Différents niveaux d'échelle sont également perceptibles à un moment donné, sur un plan spatial. La diversité des perceptions de la forêt dans l'espace s'explique aussi par des différences dans les niveaux d'appréciation de chacun d'entre nous : certains voient

le paysage, d'autres l'écosystème, d'autres encore le groupe d'arbres ou l'arbre, d'autres enfin la branche, la feuille ou l'aiguille, la cellule, la chlorophylle, la molécule... Et comme précédemment, il s'agira de savoir bien se situer dans un niveau donné pour espérer formuler les bonnes questions, bâtir les bons protocoles et obtenir des réponses sensées. Qui ne seront que celles obtenues dans ce cadre.

Supposons que dans une forêt donnée nous sachions décrire les individus qui composent l'écosystème et les rattacher à des groupes morphologiques et fonctionnels, les espèces. Nous pouvons en compter les effectifs et repérer la position des individus de chaque espèce dans un milieu donné, faire de la démographie. Ces individus, qu'ils appartiennent à une même espèce ou pas, interagissent entre eux et avec leur milieu et forment une communauté. Leur position dans l'espace et le temps (individus jeunes ou âgés) a donc un sens pour la description fonctionnelle de l'écosystème, par exemple pour étudier la structuration du milieu physique dans l'espace. Les espèces végétales sont immobiles, par définition : on peut raisonnablement penser qu'elles n'ont pu pousser en un endroit donné que si le milieu, notamment physique, leur convient localement, parce qu'elles ont pu arriver là et parce qu'elles s'y sont adaptées. Prenons comme exemple une forêt typique du centre du département du Var. Première constatation : les espèces végétales présentes dans cette forêt, notamment le pin d'Alep (photo page suivante), le chêne pubescent, le chêne kermès (*Quercus coccifera*), la viorne-tin (*Viburnum tinus*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), le thym (*Thymus vulgaris*), le brachypode rameux (*Bachypodium ramosum*) sont des espèces liées au climat



Houppiers de pins d'Alep. © INRA

méditerranéen, qui est caractérisé par une sécheresse estivale marquée. Deuxième constatation : on ne trouve pas d'espèces végétales typiques des milieux siliceux provençaux comme le ciste de Montpellier (*Cistus monspelliensis*) ou la bruyère arborescente (*Erica arborea*) : ces plantes ne supportent pas la présence de CALCAIRE ACTIF dans le sol, qui entraîne, chez elles, des chloroses par déficience d'absorption de certains ions. L'absence de telles espèces laisse donc supposer que le milieu est calcaire. Notre œil de botaniste sera attiré par un buisson portant, à l'automne, des fleurs blanches en clochettes et des fruits rouges, l'arbousier (*Arbutus unedo*), qui lui pousse difficilement si le sol contient du calcaire actif. Il faut donc supposer que la roche mère est généralement calcaire, mais que localement le sol contient peu, ou pas, de calcaire actif (ce qui serait vite confirmé par un test avec de l'acide chlorhydrique, qui a la propriété de devenir effervescent au contact du calcaire). Les végétaux sont utilisés comme indicateurs, comme marqueurs de la diversité et de l'organisation du milieu physique. Tous n'ont

pas la même valeur pour décrire le milieu physique, et la connaissance de leur biologie et de leur écologie est nécessaire pour ce travail d'enquête écosystémique. Il aura fallu aux écologistes experts dans ce domaine sonder le sol par de nombreuses fosses PÉDOLOGIQUES pour établir des relations statistiquement satisfaisantes entre la présence (et la répartition locale) d'un taxon et la structure du sol et de la roche mère. La carte de répartition des végétaux

indicateurs peut alors se superposer à une carte pédologique.

La forêt et l'écosystème passé : impact humain et forêt naturelle

Quelle est la place de l'homme dans cette forêt que nous décrivons et dont nous essayons de comprendre le fonctionnement à plusieurs niveaux ? Livrons-nous à un exercice, dans cette forêt varoise que nous avons prise en exemple, qui consiste à déceler la présence de l'homme dans le paysage. On observe des champs de lavande et d'oliviers au milieu de forêts de pins et de chênes. Nul doute que les champs sont d'origine humaine, créés par ouverture au sein des massifs forestiers. Mais la forêt elle-même dans ce paysage ? L'appréciation varie selon que l'on est rural ou citadin dans l'âme, le citadin associant plus volontiers le végétal au « naturel ». Mais au fond, qu'est-ce que le naturel ? L'homme est-il naturel ? Et nous voici repartis dans une démarche descriptive : l'homme est naturel car il appartient au règne animal. Il est une

Effet multiple de l'impact humain sur le paysage. Exemple pris dans le Péloponnèse, en Grèce. Au premier plan, pelouse issue du pâturage ovin et caprin (noter les buissons en coussinets, typiques de refus de pâturage). Derrière, reboisement en cyprès, exotique dans cette région. Sur la première colline de droite, présence d'une végétation de type « maquis », issue de l'incendie. Au dernier plan enfin, forêt de sapin de Céphalonie, *Abies cephalonica*, espèce autochtone dans la région. Collection personnelle de l'auteur.



composante de très nombreux écosystèmes parce qu'il y joue un rôle majeur dans les flux de matière et d'ÉNERGIE. Est-il plus naturel quand il est cueilleur-chasseur que quand il est agriculteur avec un tracteur, voire bâtisseur de ville ? En fait quand on parle de naturel, on exclut souvent l'homme, en raison de l'intensité de la perturbation qu'il peut exercer sur les écosystèmes. Pour enlever toute connotation culturelle ou tout jugement de valeur, donc pour utiliser des descripteurs aussi peu ambigus que possible, on parlera de l'impact humain. Dans notre forêt varoise modèle, l'impact humain peut, à première vue, sembler faible sur sa composition et sa structure. Il suffit de regarder la répartition des végétaux en fonction de leur classe d'âge (observation spatiale renvoyant à un niveau d'échelle temporel) pour se convaincre du contraire. Un sous-bois ne comportant quasiment aucun arbuste, où l'on peut facilement circuler et où les jeunes arbres et les semis d'arbres sont très peu nombreux, indique une intervention humaine régulière.

Un aspect de jardin dans une forêt est en général l'indication d'une intervention humaine. En région méditerranéenne, la nécessité d'une intervention autour des habitations est réglée par la réalité des

incendies de forêt et par la législation qui impose le débroussaillage autour des habitations sur un rayon d'au moins 50 mètres. Il s'agit de diminuer la biomasse combustible et de créer des discontinuités spatiales afin d'empêcher la propagation du feu du sol vers la strate arborée. L'incendie en région méditerranéenne française est aussi lié à l'activité humaine. Il n'existe quasiment pas d'incendie d'origine « naturelle » : une nouvelle fois ce terme est utilisé pour désigner une cause non humaine. Dans ce que nous avons défini ci-dessus, il faudrait dire qu'il n'existe presque pas d'incendie sans activité humaine en région méditerranéenne. Ce qui n'est pas le cas d'autres écosystèmes sur la PLANÈTE, où les composantes physiques du milieu naturel (la foudre notamment) sont une cause importante de départs de feux. En région méditerranéenne, l'existence d'une causalité quasi exclusivement humaine dans l'origine des incendies a permis l'émergence d'une science de l'histoire des écosystèmes passés fondée sur la présence de charbons de bois dans le sol, la PÉDOANTHRACOLOGIE. Les études qui en découlent montrent l'importance du feu pour l'homme devenu agriculteur : les charbons de bois sont présents dans tous les sols méditerranéens, et cela depuis 8 000 à

10 000 ans. Le feu, plus ou moins apprivoisé par l'homme, est donc aussi un outil agricole et, de plus en plus, SYLVICOLE. Ces charbons de bois, dont l'anatomie est conservée et qui peuvent souvent être rattachés sans ambiguïté à un taxon donné, indiquent aussi que, pour une période où le climat a peu changé, les écosystèmes passés étaient différents des écosystèmes actuels. Cette vision historique est confirmée par l'étude d'autres marqueurs, comme les pollens, les insectes ou les GASTÉROPODES fossilisés dans les sédiments lacustres et les tourbières. L'impact humain est donc ancien et profond en région méditerranéenne, et dans beaucoup de régions du monde (voir la photo page 429). Ce qui semble avoir toujours existé, à l'échelle humaine, n'est en fait qu'une des trajectoires possibles de l'évolution des écosystèmes.

L'observation instantanée de l'écosystème nous permet d'envisager son évolution potentielle ainsi que son histoire. De même que précédemment lorsqu'il était question de phylogénie, une observation synchronique (à un moment donné) nous permet un positionnement diachronique (suivi des changements dans le temps), pour peu que nous ayons acquis une démarche descriptive suffisamment élaborée (ici la connaissance de la taxonomie et de la biologie des espèces) et que nous soyons capables de l'utiliser comme marqueur des phénomènes que nous cherchons à étudier (ici l'évolution dans le temps).

La forêt et les populations : diversité et stabilité

Ainsi, à un moment donné, un espace forestier est composé de divers écosystèmes, eux-mêmes composés de très nombreuses espèces et populations en équilibre instable.

Cette diversité est collectivement appelée la biodiversité. La qualité de l'air, la lutte contre l'érosion, la régulation des régimes hydriques des cours d'eau et la qualité de l'eau... sont tributaires de cette biodiversité, qui est aussi une source de bienfaits directs pour l'homme. De nombreuses biomolécules utiles dans les traitements médicaux sont extraites de plantes et d'animaux. C'est aussi en cela que la destruction d'écosystèmes comme la forêt tropicale, où de très nombreuses espèces n'ont jamais été décrites, est très inquiétante.

L'histoire de la vie sur Terre s'est souvent accompagnée de destructions massives qui ont permis l'apparition de nouvelles formes de vie : ainsi la disparition des dinosaures à la fin du Secondaire, sous l'effet d'un cataclysme majeur (sans doute une gigantesque météorite), a permis l'expansion des mammifères. L'ampleur actuelle de la destruction de la biodiversité sous l'effet des changements climatiques et de la surexploitation des terres et des ressources s'apparente elle aussi à une crise d'extinction majeure. Les concepts de l'écologie scientifique ont permis un début de prise de conscience par l'homme politique et social, qui reconnaît maintenant que les ressources physiques et biologiques de l'environnement ne sont ni illimitées ni infiniment résistantes aux perturbations. Cette prise de conscience s'est, en particulier, manifestée par les engagements pris au cours des conférences ministérielles pour la protection des forêts en Europe (MCPFE (<http://www.mcpfe.org/>) et la conférence des Nations unies sur la diversité biologique (Rio de Janeiro, 1992, <http://www.cbd.int/convention/>). En France et en Europe, la création de réserves intégrales où l'évolution des populations se fait sans l'intervention de l'homme, la création de collections d'espèces,

de banques de graines ou le recours aux études d'impact écologique lors de la mise en place de grands projets d'aménagement sont autant d'actions concrètes qui pourront permettre la conservation de la biodiversité. On peut légitimement se demander si ces actions sont suffisantes. Étudier la biodiversité dans un but de conservation et d'utilisation raisonnée est, actuellement, une des tâches majeures des biologistes et de la société toute entière.

La diversité d'un écosystème forestier ne se limite pas aux différences entre espèces. Les individus d'une même espèce sont, eux aussi, tous différents (photo page 432, à gauche), notamment parce que leurs géniteurs leur ont donné un patrimoine génétique unique. C'est ce que l'on appelle la variabilité génétique, qui est à l'origine de la biodiversité. La génétique quantitative est la science qui s'intéresse, pour un caractère

donné chez un individu donné, à la répartition des effets héréditaires et des effets de milieu. La génétique des populations est la science qui s'occupe de la répartition des fréquences des différentes formes d'un caractère donné d'une population à une autre. Dans le cas de notre forêt varoise modèle, l'existence d'une variabilité génétique n'est pas forcément évidente. Prenons par exemple les pins d'Alep adultes de la strate dominante. Il faudra en effet arriver à déterminer si le tronc plus ou moins tortueux de certains arbres est dû au milieu physique (sol par exemple), au milieu biotique (compétition avec d'autres individus de la même espèce), ou au patrimoine génétique hérité des deux parents. Les modèles statistiques et génétiques développés par la génétique quantitative permettent de résoudre ces problèmes et montrent que tous les caractères adaptatifs sont sous le double déterminisme du milieu et de l'hérédité, à

Sentier de découverte de la diversité en forêt

Choisir un site forestier connu de l'enseignant, qui possède les caractéristiques suivantes :

- 1) Présence d'au moins une alternance entre boisement et clairière : insister sur la nécessité d'une telle variété de paysage, notamment pour la régénération des espèces forestières (chercher les semis : sont-ils identiques dans les deux endroits ?) ; pour la diversité spécifique (comparer les espèces de plantes et d'animaux sous couvert et dans la clairière : sont-elles identiques ?)
 - 2) Présence de plusieurs espèces forestières, feuillus et conifères : comparer la forme des feuilles, des organes reproducteurs, leur odeur, le type de litière formée par chacune. Donner des noms latins de genre et d'espèce. Donner des caractéristiques botaniques pour distinguer les espèces.
 - 3) Présence de l'homme comme gestionnaire, comme utilisateur de la forêt. Les espèces de cette forêt sont-elles introduites par l'homme ou *a priori* autochtones ? Le sous-bois est-il entretenu ou pas ? Évaluer l'intensité de l'impact humain.
 - 4) Présence d'éventuels dégâts d'insectes ou de pathogènes, voire de gibier : la forêt est aussi une maison et une source de nourriture pour les animaux et les parasites. Écouter si l'on entend des oiseaux.
 - 5) Connaître l'âge des arbres d'une même espèce. Tous n'ont pas toujours le même âge dans une forêt (notion de génération, de reproduction). S'ils ont le même âge, ils n'ont pas forcément la même hauteur ou circonférence (notion de diversité individuelle), en fonction du patrimoine génétique hérité de leurs parents ou de leur situation dans la forêt (endroits plus ou moins fertiles).
- Faire cette promenade en forêt au moment où l'observation est la plus diversifiée, à la fin du printemps pour la floraison ou à l'automne pour les champignons et les fruits. Laisser, si possible, les enfants ramasser des échantillons, pour qu'ensuite ils les présentent et donnent une interprétation de leur nom, de leur rôle dans l'écosystème. Les concepts clés qui surgiront seront en rapport avec la diversité, l'adaptation, les interactions entre un individu et son milieu.



Exemple de diversité génétique s'exprimant au niveau individuel : les formes très différentes de deux clones de cyprès (*Cupressus sempervirens*) en plantation dans le sud de la France. L'arbre de gauche présente une forme étalée, typique des individus présents en peuplement naturel. L'arbre de droite présente une forme pyramidale ou fastigiée, sans doute issue d'une évolution horticole millénaire, recherchée pour la création de parcs et jardins.
© Christian Pichot/INRA

dose variable (photo ci-dessus, à droite). Ainsi, la différence de croissance en hauteur entre deux arbres d'une même espèce dans une même population est surtout liée au milieu environnant (compétition entre arbres, disponibilité en nutriments) alors que la différence de date de débourrement (ouverture des bourgeons) entre ces deux



La forme des branches chez le cyprès vert (*Cupressus sempervirens*) est un caractère héritable, transmis par descendance. Les trois arbres du premier plan sont des descendants de la même mère et présentent tous une forme fastigiée. Les arbres du second plan, descendants d'une autre mère, présentent une forme différente, plus étalée.
© Christian Pichot/INRA

mêmes arbres sera surtout liée à leur génotype, c'est-à-dire à l'arrangement génétique hérité de leurs parents.

La variabilité génétique est source de potentiel adaptatif pour les populations, elle leur permet de répondre à des variations de l'environnement physique, dans le temps et dans l'espace. Par exemple, une forêt de

sapins (*Abies alba*) du sud des Alpes ne subit pas les mêmes contraintes de milieu qu'une forêt de sapins des Vosges : les populations de ces forêts présenteront donc des adaptations différentes qui pourront être mesurées dans des tests expérimentaux. C'est un des objectifs des scientifiques de l'INRA qui entretiennent et mesurent des centaines d'hectares de sites expérimentaux en France pour étudier les potentialités d'adaptation des espèces forestières à différents types de milieu.

Sans potentiel adaptatif, pas de possibilité de faire face aux changements à venir.

L'homme gestionnaire de la forêt

Si la variabilité génétique existe au niveau des populations, elle existe aussi et est parfois encore plus forte entre individus d'une même population.

La variabilité génétique trouve son origine dans les mutations, erreurs de copie de gènes au cours des multiplications cellulaires. Cette variabilité pourra être amplifiée entre individus et populations sous l'effet de la reproduction, du hasard, des transports à plus ou moins longue distance des graines et du pollen, et de la sélection. Par les coupes qu'il effectue pour gérer sa forêt, le forestier pourra influencer sur la quantité et la structure de la diversité génétique.

La variabilité génétique des caractères adaptatifs des populations d'arbres est bien connue des forestiers, qui ont édicté des règles en ce qui concerne le transfert de graines d'une région à l'autre, pour le reboisement. Le principe de base en est la nécessité d'une utilisation de graines issues de peuplements connus et situés dans la même région « adaptative » pour tout reboisement. La reconnaissance de la

variabilité génétique des populations locales a aussi conduit la France et l'Europe à se doter de réseaux conservatoires où certaines populations forestières sont conservées en l'état, en l'absence de reboisements artificiels et avec un système de gestion préservant leur potentiel adaptatif.

La tâche du gestionnaire est difficile dans le cas de notre forêt varoise. Comment concilier l'évolution du potentiel adaptatif avec la règle de gestion primordiale aux abords des maisons dans le sud de la France et la prévention contre l'incendie ? L'intervention de l'homme a ici pour effet de bloquer toute possibilité d'évolution du peuplement. Les semis naturels de pins sont éliminés au cours d'opérations d'entretien nécessitant l'usage du tracteur. Par ailleurs, les coupes de pins d'Alep pour ouvrir le milieu (raisons paysagères et de prévention, les HOUPPIERS des arbres n'étant plus jointifs, le feu se propage moins facilement) réduisent encore le nombre de semenciers, et donc le potentiel évolutif de l'espèce. L'existence de jeunes chênes pourra donner une évolution possible à la forêt, par un changement d'espèce dominante (rôle de la biodiversité) et la création d'un écosystème dominé par le chêne pubescent. Cette espèce constitue des écosystèmes résistant mieux aux incendies mais plus exigeants en eau que l'écosystème dominé par le pin d'Alep. En cas d'augmentation de la sécheresse en région méditerranéenne, scénario probable du changement climatique planétaire lié à l'augmentation des gaz à effet de serre, ce changement d'écosystème peut ne pas être bénéfique. Une solution, pour combiner adaptabilité, production et protection contre l'incendie, peut venir d'une gestion à l'échelle du paysage dans lequel les peuplements peuvent avoir des objectifs forestiers différents. Le gestionnaire forestier est ainsi toujours

confronté à des objectifs contradictoires, la valorisation socio-économique d'une parcelle, d'une forêt, et le maintien de sa capacité d'évolution et d'adaptation.

L'arbre dans la forêt : mécanismes individuels de croissance

Les écosystèmes sont composés d'espèces et de populations en interaction ; les espèces, de populations qui se reproduisent ; et les populations, d'individus qui naissent, grandissent et se reproduisent, sur lesquels agit la sélection naturelle. Dans la forêt, ce sont les arbres, les individus, qui sont le plus directement accessibles à notre perception. Notre niveau d'échelle a jusqu'à présent été plutôt dirigé vers les populations et les écosystèmes. Nous pouvons changer de direction et observer ce qui se passe au niveau de l'arbre lui-même, et des mécanismes de son élaboration. Entre sa naissance à partir d'une graine et sa mort, les différents événements qui se succèdent dans la vie d'un arbre et le milieu dans lequel il vit sont responsables – avec son génotype, patrimoine génétique – de la forme de cet arbre, de son phénotype. Le

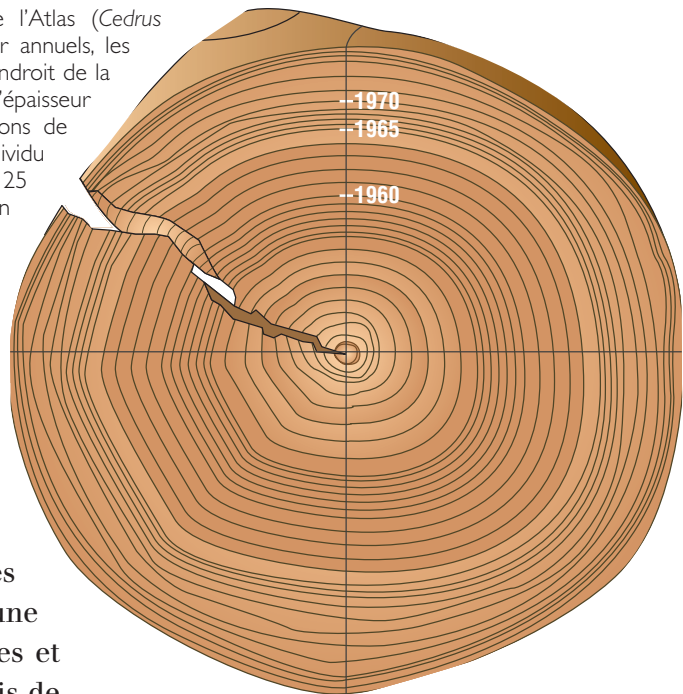
rythme de croissance annuel d'un arbre peut se décomposer entre une pousse en hauteur et une pousse en largeur, dont l'origine et la phénologie sont différentes. La pousse en hauteur est initiée dans les bourgeons, en général au printemps après un repos hivernal chez les espèces tempérées (photo ci-dessous). Le début de la pousse de printemps, le débourrement, varie dans le temps en fonction de l'espèce et des populations. La croissance en largeur a son siège dans une zone cellulaire située en dessous de l'écorce, le CAMBIUM. L'activité printanière de cette assise de cellules produit le bois de printemps (ou bois initial) alors que l'activité estivale et automnale produit le bois d'été (ou bois final, plus dense). Le terme « bois », choisi pour l'ensemble des cellules produites, indique que, en évoluant, celles-ci voient leur paroi durcir, se lignifier, et leur contenu se vider. En mourant, elles forment la « carcasse » ligneuse de l'arbre, qui lui donne son port toujours érigé lorsque sa taille augmente, mais aussi son système de vaisseaux qui permet le transport de la sève brute des racines vers les feuilles. Le transport de la sève élaborée contenant les produits de la photosynthèse se fait, lui, dans les vaisseaux situés sous l'écorce. L'activité

du cambium est bien évidente sur les souches d'arbres coupés et il est facile de déterminer le nombre de cycles de formation de bois sur une rondelle



Les organes reproducteurs et végétatifs ne sont pas issus des mêmes bourgeons. Exemple photographié au mois d'avril, dans le sud de la France, sur un sapin méditerranéen, *Abies cephalonica*. Les bourgeons végétatifs, de couleur verte, en cours de débourrement, donneront les rameaux feuillés. Les sacs polliniques, organes reproducteurs mâles de couleur rouge, situés à la face inférieure des rameaux, seront à l'origine de la libération des grains de pollen dans l'atmosphère à maturité. Collection personnelle de l'auteur.

Coupe transversale dans un tronc de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*). Les limites des accroissements en largeur annuels, les cernes, apparaissent nettement. L'âge de l'arbre à l'endroit de la coupe (1 m du sol) est de 33 ans. L'irrégularité de l'épaisseur des cernes traduit des variations dans les conditions de croissance de l'arbre. Dans le cas précis de cet individu récolté sur la commune d'Avignon, les cernes 25 à 29 (années 1965 à 1969) correspondent à un abaissement très important de la nappe phréatique. Il apparaît aussi que la croissance n'est pas régulière dans toutes les directions du plan de coupe.



d'arbre. Un cycle comprenant le bois initial et le bois final forme un cerne et représente une année dans la vie d'un arbre (figure ci-contre). L'observation de rondelles de même âge (même nombre de cernes) mais de diamètres très différents, prises sur des arbres d'une même espèce, génétiquement proches et issus d'une même plantation, a permis de mettre en évidence l'importance du facteur milieu (notamment la concurrence entre arbres) dans la croissance en diamètre.

Une nouvelle fois nous changeons insensiblement de sujet d'étude. Ce n'est plus la croissance en largeur en tant que phénomène physiologique qui nous intéresse maintenant, mais c'est le cerne en tant que marqueur d'un effet du milieu qui est notre sujet d'étude. Le phénomène lui-même devient le marqueur d'un autre phénomène. Les cernes, et leurs largeurs différentielles, sont ainsi utilisés par les DENDROLOGUES pour étudier le milieu naturel. En partant du principe que les mêmes causes provoquent les mêmes effets sur les individus d'une même espèce dans un même peuplement, l'effet du climat sur la croissance en largeur peut être étudié sur les populations actuelles. Une fois les relations entre climat et production de cernes connues, la dendroclimatologie peut aussi être appliquée aux populations fossiles pour reconstituer les climats passés.

L'arbre dans la forêt : mécanismes individuels de reproduction sexuée

De même que les bourgeons qui produisent les pousses végétatives ont une phénologie particulière, les bourgeons qui produisent les fleurs n'apparaissent pas à n'importe quel moment de l'année. Parler de fleurs chez un arbre forestier suscite toujours un doute : on voit bien des fleurs chez les plantes annuelles, chez les arbres fruitiers, mais chez les arbres forestiers ? Les arbres forestiers ont souvent des organes reproducteurs peu visibles, mais les résultats de la fécondation (et de la transformation des fleurs femelles) sont souvent bien évidents : les cônes des résineux, les samares (les « hélicoptères ») des érables, les glands des chênes... Tous ces fruits ou ces cônes sont apparus suite à la fécondation, donc à la rencontre de cellules reproductrices mâles et femelles, les gamètes. Nous avons parlé de la fécondation dans le cadre de la diversité

et de la biodiversité, comme moteur de cette diversité, mais « comment est-ce que ça marche ? ». La formation d'une graine nécessite la rencontre d'un gamète mâle, porté par le grain de pollen, et d'un gamète femelle, contenu dans l'ovule. Chez de très nombreux arbres forestiers, même s'ils portent sur un même pied fleurs mâles et femelles, le gamète mâle et le gamète femelle qui fusionnent pour donner un nouvel individu sont issus de deux arbres différents : c'est l'allogamie. C'est notamment par ce mode de reproduction que la diversité se maintient dans les nouvelles générations.

En cherchant bien, les fleurs mâles se révèlent assez clairement elles aussi, notamment au printemps, par exemple sous forme de grappes pendantes chez les chênes, ou sous forme de petits amas passant du rouge au jaune, sur la face inférieure des



rameaux des pins ou des sapins (photo ci-dessous). Chez les pins, le résultat de la maturation des sacs polliniques est bien visible et chacun se rappelle les pluies de granules jaunes et les flaques d'eau jaunies par le pollen de ces espèces au printemps. Ce qui peut apparaître, à court terme, comme un immense gaspillage d'un point de vue allocation des ressources est en fait un investissement reproducteur, une stratégie biologique, pour assurer un maintien de la possibilité d'adaptation des populations. En effet, statistiquement parlant, le hasard sera responsable de l'arrivée à bon port d'un grain de pollen parmi des millions contenus dans un nuage pollinique. Cette probabilité infime de chaque grain de pollen, combinaison génétique originale, de participer à la reproduction assure un brassage des gènes d'une génération à l'autre. Ce brassage au hasard sera régulé par l'effet de la sélection naturelle, adaptative, qui fera disparaître la plupart des jeunes semis issus de cette reproduction.

La quantité de pollen ou de graines produite varie selon les espèces et reflète leur stratégie adaptative. Le nombre de graines portées par un pin d'Alep, environ 100 par cône, multiplié par le nombre de cônes, est bien supérieur à celui porté par le chêne pubescent, par exemple. Le pin, espèce pionnière, va avoir tendance à coloniser

Les organes reproducteurs mâles et femelles ne sont pas toujours ni portés par les mêmes fleurs, ni situés au même endroit dans l'arbre. Exemple photographié au mois d'avril, dans le sud de la France, sur un sapin méditerranéen, *Abies cephalonica*. Les organes reproducteurs femelles, de couleur verte, les cônelets en cours de maturation, sont portés sur la face supérieure des rameaux, dans la partie la plus apicale de l'arbre. Les organes reproducteurs mâles, de couleur rouge, sont portés sur la face inférieure des rameaux, dans la partie médiane de l'arbre. Noter la présence d'axes dressés, qui sont les restes des cônes femelles de l'année précédente. Les cônes femelles se désarticulent à maturité, en septembre ou octobre. Collection personnelle de l'auteur.

les espaces ouverts par ses très nombreux descendants. Le chêne, qui ne peut que très difficilement pousser dans les milieux ouverts, va privilégier la longévité (il vit bien plus vieux que le pin). Ses graines vont s'installer sous milieu déjà colonisé et ombragé, remplaçant petit à petit le pin au fur et à mesure de la maturation de l'écosystème. Le mode de dissémination des graines de ces deux espèces est aussi très différent. Le pin, dont les graines sont ailées, voit, comme pour son pollen, sa dissémination assurée par le vent. C'est le cas général des conifères. La dissémination des glands fait, elle, intervenir les animaux, notamment le geai. Les oiseaux et les petits mammifères sont des vecteurs de dissémination importants pour les feuillus.

Quelques mots de conclusion

La description et la compréhension de l'objet forêt ne se résume, bien entendu, pas à ces quelques thèmes d'étude. La biologie des animaux forestiers, des champignons symbiotiques (qui vivent en association avec un ou plusieurs autres organismes)

et des parasites, l'étude des sols, des cycles des minéraux et de l'eau, la gestion des récoltes de bois, la législation et les droits d'usage, etc., sont des thèmes d'étude qui, parmi d'autres encore, sont pris en compte dans le champ des disciplines scientifiques forestières de nombreux organismes de recherche en France et dans le monde.

Plutôt que de tenter une impossible approche exhaustive, ce chapitre a abordé quelques-uns de ces objets d'étude, et insisté sur la démarche scientifique qui présente une certaine constance : observation de l'objet d'étude, apparition de questions, cadrage des questions à un niveau d'échelle spatial et temporel donné, utilisation d'outils pour formaliser les questions et tenter d'apporter des réponses. En espérant que la mise en application pédagogique de cette démarche puisse favoriser une meilleure compréhension de l'écosystème forêt par les enfants et ainsi les amener, futurs citoyens, à apprécier et protéger l'environnement dans lequel ils vivent. C'est une nécessité à l'heure où l'impact de l'homme sur son milieu de vie n'a jamais été aussi fort

Et pour aller plus loin, quelques questions d'enseignants

Quelles sont les relations existant entre animaux et végétaux ?

On peut envisager au moins trois types de relations :

- Habitat : les plantes servent de support, cachette, maison, etc., pour les animaux.
- Trophique : les plantes sont la source d'énergie des herbivores.
- Parasitisme : le parasite a besoin de la plante hôte aussi bien pour se nourrir que pour se reproduire.

Quelles différences y a-t-il entre bois vert, bois vivant et bois mort ?

Les couches de cellules de bois situées sous l'écorce sont vivantes et contiennent des canaux conducteurs de la sève élaborée et des réserves (amidon). Ces cellules de bois vivantes constituent l'aubier. Sous l'aubier, après une zone de transition, et jusqu'au centre de l'arbre, se trouve une zone contenant des cellules mortes, souvent colorées, ayant un rôle mécanique

dans le maintien de l'arbre et un rôle conducteur, vers les feuilles, de l'eau et des sels minéraux pompés dans le sol par les racines : c'est le bois de cœur, ou duramen. Les épaisseurs respectives de l'aubier et du bois de cœur varient selon l'espèce. En cas de sécheresse ou de maladie, les cellules sous l'écorce peuvent mourir et donner du bois mort, sec.

Y a-t-il une différence entre la sève et la résine ?

Oui. La sève conduit l'eau, les sels minéraux et les molécules élaborées à partir de la PHOTOSYNTHESE. Elle se déplace dans les canaux conducteurs. La résine, qui contient de nombreux hydrocarbures, souvent toxiques pour la plante elle-même, est sécrétée et contenue par un réseau de cellules particulier, les canaux résinifères. La résine n'est présente que chez certains conifères. Elle joue un rôle dans leur résistance aux maladies et à la sécheresse.

Comment peut-on différencier les bourgeons à fleur des bourgeons à feuille ?

Il n'y a pas de réponse simple à cette question. C'est une opération qui peut se révéler très difficile, et qui varie beaucoup selon les espèces. Le déterminisme du bourgeon est à la fois génétique et lié aux conditions du milieu. Le bourgeon se met en place parfois plus d'une année avant son débourrement. Le plus simple est de suivre l'évolution des bourgeons avant le débourrement, lorsque leur description est aisée, et de travailler espèce par espèce. *A priori*, les différents types de bourgeons (végétatifs, sexués mâles et sexués femelles) sont facilement visibles chez les conifères (voir la photographie dans le texte)

Qu'est-ce qui détermine la durée de vie d'un arbre ?

Il est vraisemblable que de très nombreux facteurs agissent ensemble pour déterminer la durée de vie d'un arbre. Comme chez tous les êtres vivants, ces facteurs sont d'ordre génétique et environnemental dans leur déterminisme. C'est leur interaction chez un individu donné qui produira une réponse particulière, et donc une durée de vie particulière.

Pour les facteurs d'origine génétique, on peut citer tous les phénomènes physiologiques, comme la conduction de la sève, les dosages hormonaux, la précocité et l'intensité de la reproduction, l'accumulation de substances toxiques responsables de la coloration, etc. Parmi les facteurs du milieu prédisposant à la dégénérescence ou la favorisant, on peut citer tous les accidents climatiques pouvant causer un stress à l'arbre, l'apparition de parasites et/ou de maladies, etc.

Existe-t-il un déterminisme génétique ?

Oui, bien sûr. C'est la part de variabilité d'un caractère qui est transmis par descendance. Certains caractères sont entièrement déterminés génétiquement (la présence de résine chez les conifères par exemple), d'autres voient leur expression soumise à la fois au contrôle génétique et à l'effet du milieu (la quantité de résine chez les conifères pour poursuivre l'exemple ci-dessus). La part de « responsabilité » du contrôle génétique et de l'effet du milieu dans l'expression d'un caractère donné est très difficile à estimer, même avec un dispositif expérimental approprié.

Pourquoi les hybrides ne durent-ils pas dans le temps ?

Les hybrides interspécifiques sont souvent incapables de se reproduire. Ils ne peuvent donc dans ce cas pas former de populations. Par ailleurs, l'apparition d'hybrides interspécifiques est souvent liée à des modifications du milieu environnant. Si ces modifications sont temporaires, l'intérêt de l'hybride, en termes d'adaptation, par rapport aux espèces parentales adaptées au milieu d'origine, sera lui aussi temporaire et les populations hybrides ne se maintiendront pas.

Mais il ne faut pas oublier que de très nombreux taxons actuels sont issus de phénomènes d'hybridation passés, leur ayant permis de coloniser de nouveaux milieux.

Qu'est-ce que la transgénèse ?

C'est la technique qui permet d'obtenir un organisme génétiquement modifié (OGM), dont le patrimoine génétique a subi une transformation, soit par l'introduction d'un gène qu'il ne possédait pas, soit par la modification de l'expression d'un de ses gènes. Un OGM transmet cette modification à sa descendance. La transgénèse est un outil scientifique couramment utilisé pour l'étude de nombreux mécanismes physiologiques.

La forêt est-elle nécessaire à la vie sur notre planète ?

La forêt couvre environ 4 milliards d'hectares dans le monde, soit environ 30 % de la surface terrestre émergée. La forêt abrite de très nombreuses espèces végétales et animales, elle produit de l'oxygène, fixe le carbone, recycle l'eau, protège de l'érosion, produit des biomolécules et des matériaux, etc. Mettre en place une expérimentation à l'échelle du globe qui consisterait à couper l'ensemble des forêts pour répondre de façon exhaustive à cette question est bien entendu impensable ! C'est la conviction que la réponse « oui » doit être la bonne qui guide les approches politiques actuelles de « développement durable » face à la disparition de certaines ressources naturelles.

Les arbres à feuilles persistantes ont-ils un rôle identique dans l'atmosphère à celui des arbres à feuilles caduques ?

La présence de feuilles caducifoliées est *a priori* une adaptation d'origine tertiaire à l'apparition de conditions défavorables : à l'approche de la saison froide en région tempérée ou de la saison sèche en climat tropical, certaines espèces perdent leurs feuilles. Ces arbres ne peuvent alors plus assurer la fonction chlorophyllienne, mais ils sont protégés contre le gel ou la sécheresse. Pendant le même temps, les espèces sempervirentes peuvent continuer à assurer la synthèse chlorophyllienne et doivent mettre en place d'autres stratégies pour ne pas subir les dégâts du froid ou de la sécheresse. Ces stratégies, en relation avec la disponibilité des milieux physiques en eau et nutriments, contribuent différemment aux échanges gazeux entre l'atmosphère et le sol. Par ailleurs, les espèces sempervirentes seraient mieux adaptées que les caducifoliées sur des milieux pauvres en nutriments.

Bibliographie

Comment pousse un arbre ?, Bernard THIEBAUT, « Les Petites Pommes du savoir », n°87, 2006.

Pourquoi les forêts brûlent-elles ?, Michel VENNETIER, « Les Petites Pommes du savoir », n°85, 2006.

Pourquoi les plantes ont-elles des fleurs ?, Bernard THIEBAUT, « Les Petites Pommes du savoir », n°93, 2007.

Cette ressource est issue de l'ouvrage *29 notions clés pour savourer et faire savourer la science*, paru aux Éditions Le Pommier.



Le meilleur des Graines de sciences

Vous êtes enseignant, parent, éducateur... et vous manquez parfois de « munitions » pour répondre aux questions des enfants...

Or, en classe, à la maison, au centre de loisirs, celles-ci fusent : « Le Soleil va-t-il s'éteindre ? » « Est-ce qu'il y a des tremblements de terre sous la mer ? » « Où va l'eau qui tombe du ciel ? » « Pourquoi le ciel est-il bleu le jour ? » « Qu'est-ce que l'effet de serre ? » « Pourquoi les animaux migrent-ils ? » « C'est quoi le clonage ? »

Cet ouvrage de référence va vous aider à répondre à ce bombardement de curiosité... en toute connaissance de cause !

Fruit d'une rencontre entre des scientifiques et des enseignants, désireux de partager savoir et expérience, il est précisément conçu pour vous permettre d'acquérir ou d'approfondir une culture scientifique, si précieuse pour appréhender le monde qui nous entoure... et pour l'expliquer !

Du Soleil à la cellule, du cycle de l'eau aux énergies renouvelables, de l'origine de l'homme au nanomonde, les 29 notions réunies dans ce volume constituent le bagage indispensable pour pérégriner, avec les enfants, en sciences, et ce, de la maternelle au collège. On les retrouve d'ailleurs dans le Socle commun de connaissances et de compétences, qui définit ce que l'école puis le collège doivent, en France, s'imposer de transmettre à tous les enfants.



Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE