

## Section 2 “Forêts et filière bois”

### Synthèse de la séance publique du 3 octobre 2018

#### « Comment favoriser les processus d’adaptation des espèces forestières au changement climatique ? »

#### Introduction :

Mme Catherine BASTIEN, membre correspondant de l’Académie, membre correspondant de la section 2 « Forêts et filière bois », qui a co-organisé cette séance avec M François LEFEVRE, membre correspondant de la section 6 « Sciences de la vie », l’introduit.

L’adaptation des espèces forestières à leur environnement, que l’on peut constater en un lieu et à un instant donnés, est un processus dynamique permanent où se combinent la sélection darwinienne, la dérive aléatoire et les flux de gènes, dont le carburant est la variabilité génétique. Le potentiel adaptatif des populations d’arbres, qui associe leur plasticité phénotypique, leur variabilité génétique et les flux de gènes, détermine leur capacité à répondre aux changements, lents ou brutaux, de leur environnement. La présente séance a traité de l’exploration de ce potentiel adaptatif grâce à trois exposés de chercheurs et a débouché, en conclusion, sur une synthèse de possibles leviers d’action par la responsable du service RD&I de l’ONF : choix des espèces, conduite des peuplements, amélioration génétique, conservation des ressources génétiques.

#### *Changements évolutifs chez les chênes au cours de changements environnementaux*

par Monsieur Antoine KREMER, directeur de recherche INRA (UMR Biogeco, Bordeaux)

M KREMER expose une série de résultats obtenus par l’UMR Biogeco et ses partenaires, qui permettent d’examiner la réponse adaptative de populations européennes de chênes à différentes échelles de temps.

A l’échelle des quelques millénaires de la recolonisation post glaciaire, l’analyse des haplotypes chloroplastiques montre que l’ADN ancien correspond à l’ADN actuel. Les premiers arbres arrivés ont donc constitué la base de la population actuelle.

A l'échelle de quelques siècles, en forêt de Tronçais, les descendants de la cohorte d'individus ayant subi le « petit âge glaciaire » ( ~ 1500 – 1850) débourrent 10 jours plus tard que les descendants de cohortes postérieures, ce qui traduit l'adaptation au froid de leur population. (Il est cependant plus difficile de confirmer ce même patron d'adaptation en forêt de Bercé).

A l'échelle d'une génération, en forêt de la Petite Charnie et en régime de régénération naturelle, le chêne rouvre progresse au détriment du chêne pédonculé, en nombre d'individus et en surface occupée. Un gradient de sélection (coefficient de régression du nombre de descendants survivants sur la valeur du caractère chez le parent) positif peut être mis en évidence pour la croissance et pour la précocité du débourrement végétatif au printemps.

M KREMER conclut que des changements évolutifs sont mesurables à différentes échelles, et qu'ils diffèrent selon qu'il s'agit du chêne rouvre ou du chêne pédonculé. Quoique faibles apparemment en valeur absolue, ces changements peuvent avoir une valeur adaptative élevée. Le fait que de tels changements se manifestent en l'espace d'une seule génération conduit à penser que l'abaissement de l'âge auquel les peuplements sont renouvelés pourrait en pratique présenter un intérêt face aux changements globaux.

### ***Différentes échelles de structuration dans l'espace des adaptations locales.***

**Par Madame Caroline SCOTTI-SAINTAGNE, ingénieure de recherches INRA, (Unité de recherche Ecologie des forêts méditerranéennes – Avignon) :**

Mme SCOTTI-SAINTAGNE présente tout d'abord des exemples de structuration de la diversité génétique dans l'espace à trois échelles.

A l'échelle de l'aire naturelle du pin maritime, en tests de comparaison de provenances, un effet de sélection divergente peut être mis en évidence pour la croissance en hauteur, tandis que pour la vulnérabilité à la cavitation (réponse à la sécheresse) on constate une sélection stabilisatrice.

A l'échelle d'un versant de montagne au mont Ventoux, 1000 à 1400 m d'altitude, pour le hêtre, les gradients de débourrement *in situ* (tardiveté croissant avec l'altitude) et en plantation comparative en milieu commun (tardiveté diminuant avec l'altitude) sont inversés.

A l'échelle micro-topographique, en Guyane, on trouve l'espèce *Symphonia globulifera* soit en bas -fond inondé soit sur versant de « terre ferme ». Les flux de gènes sont intenses entre les arbres de ces deux groupes, très proches les uns des autres. Pourtant, 39 locus semblent indiquer qu'une sélection divergente serait à l'œuvre entre ces groupes.

La sélection divergente entre populations éloignées géographiquement existe donc souvent, mais pas toujours. Elle peut également s'exercer à très courte distance même en présence d'échanges de gènes intenses.

Mme SCOTTI-SAINTAGNE illustre ensuite les avantages que peut apporter l'hybridation : supériorité des hybrides pour la croissance chez les pins *Brutia* x *Alep* , et chez les Mélèzes Europe x Japon, et chez les mélèzes stabilité macro environnementale de cette supériorité. Au sein des peuplements de Cèdre de l'Atlas et de Sapin pectiné, on observe une augmentation du pourcentage d'individus hétérozygotes au fil du temps. Le Cyprès du Tassili présente un cas extrême d'hétérozygotie élevée et fixée par le mode de reproduction par apomixie paternelle. Ces observations tendent à montrer l'intérêt de croisements maximisant la diversité génétique des individus et des populations, qu'ils soient intra- ou inter- spécifiques.

## ***Vers une gestion efficace et explicite de la variabilité génétique en populations artificielles et naturelles : une stratégie nécessaire pour maintenir les capacités d'adaptation des espèces forestières.***

**Par Monsieur Leopoldo SANCHEZ-RODRIGUEZ, INRA (UMR BioForA, Orléans) :**

M SANCHEZ-RODRIGUEZ rappelle que la diversité génétique d'une population dépend de facteurs constitutifs (architecture génétique, pléiotropie) et de facteurs conjoncturels, dynamiques (dérive, flux de gènes, sélection, recombinaison). Des outils de plus en plus divers, phénotypiques, génotypiques et mixtes, permettent d'approcher et de caractériser cette diversité.

Cette dynamique de la diversité génétique peut se gérer, *ex situ* ou être pilotée *in situ*.

En forêt, en raison des inconvénients des stratégies de migrations forcées d'espèces (populations de faible taille, dispersion inadéquate, soit trop réduite soit invasive, potentiel adaptatif faible, absence de cohortes d'interaction), de nombreux auteurs préconisent des stratégies intégrées associant restauration des habitats, assistance aux flux de gènes des espèces natives et conservation des ressources génétiques.

Dans les schémas de sélection, des compromis entre gains génétiques sur une sélection de traits et niveau de diversité génétique sont possibles car ce sont des fonctions de la même variable décisionnelle. Lors des étapes de sélection s'appuyant sur la théorie de la génétique quantitative, la diversité peut être accrue, à gain génétique identique, en sur-représentant des individus à valeur génotypique soit très forte soit faible. La disponibilité d'outils permettant d'accéder à une lecture de plus en plus complète des génomes individuels permet de réaliser des sélections qui maintiennent la diversité allélique dans différentes régions du génome. Ces dernières peuvent cibler des caractères d'intérêt mais aussi des réservoirs de diversité non encore explorés. On voit aussi émerger des schémas de sélection qui maintiennent ou augmentent la fréquence des allèles rares, ou qui augmentent le taux d'hétérozygotie.

Dans le domaine des pratiques sylvicoles prenant en compte la diversité génétique, des recherches ont été lancées en France à l'initiative du RMT AFORCE. Elles développent un module spatialisé, centré sur l'individu, de gestion forestière d'un peuplement à l'échelle de quelques cycles de régénération naturelle intégrant différentes compositions génétiques et structures (*LUBERON 2* dans *CAPSIS*). Ce type de modèles permet de simuler les effets combinés de traitements sylvicoles et de perturbations (incendies, tempêtes, sécheresse,...) sur la production de bois et sur la diversité génétique futures. Deux importants programmes communautaires abordent ces sujets : GENTREE et B4EST.

## **Principaux sujets abordés lors du débat avec la salle**

*Que peut on dire de la variabilité génétique de la sensibilité des arbres aux insectes et maladies ?*

Eléments apportés en réponse : Le séquençage du génome des chênes autochtones révèle en comparaison d'autres espèces végétales annuelles un très fort enrichissement en gènes de résistances à des contraintes biotiques. Cet enrichissement est le fruit de nombreuses réplifications en tandem dans certaines régions du génome. Ces réplifications sont une potentielle source de polymorphisme qui favorise le maintien d'une résistance suffisante pour des organismes très longévifs.

*Les aptitudes reproductrices des arbres sont-elles prises en compte dans les prédictions de réponse au changement climatique ?*

Eléments apportés en réponse : Chez les chênes, la production de glands augmente linéairement avec la température moyenne annuelle observée ces dernières décennies. Chez plusieurs résineux l'augmentation des températures moyennes est associée à une augmentation de la production de pollen, mais se traduit sur plusieurs années par une diminution du pourcentage de graines pleines.

Il a été montré que la température induit des changements d'ordre épigénétique lors de la formation des embryons et que ces derniers transmis à la descendance peuvent conduire à modifier les performances phénotypiques pendant les 15 premières années de la vie des arbres. Ces effets peuvent amener à mieux prendre en compte l'environnement dans lequel se place la reproduction pour optimiser les approvisionnements en graines.

*Comment un propriétaire forestier peut-il être aidé à choisir entre plantation et régénération naturelle ?*

Eléments apportés en réponse : Idéalement, il faudrait pouvoir évaluer le potentiel d'adaptation du peuplement en place au climat attendu.

*Comment prendre en compte les relations des arbres avec leur environnement (réseaux mycorhiziens par exemple) ?*

Eléments apportés en réponse : Certaines recherches s'intéressent aux trajectoires évolutives d'écosystèmes forestiers entiers, habitats inclus. Cependant il est actuellement impossible de maîtriser les interactions entre toutes les espèces vivant dans un écosystème. Il faut accepter de ne pas avoir de certitudes en ce domaine.

*Quelles sont les principales différences entre gymnospermes et angiospermes ?*

Eléments apportés en réponse : Très globalement, les angiospermes semblent faire preuve d'une plus grande plasticité face au milieu/climat pour la survie et la croissance que les gymnospermes. A noter chez ces derniers les cas de Pinus pinea (pin parasol) et Thuja plicata qui associent de bonnes performances écologiques et diversité génétique intraspécifique réduite

*Faut-il créer de nouveaux arboretums pour explorer le potentiel de davantage d'espèces ?*

Eléments apportés en réponse : De nouveaux arboretums sont en cours d'installation depuis une dizaine d'années. Il faut veiller à bien les concevoir. Il faut aussi bien « lire » les résultats des arboretums anciens : le potentiel adaptatif d'une espèce sur plusieurs sites s'apprécie par l'analyse de la variance observée et non par celle du comportement moyen. Les arboretums jouent par ailleurs un rôle très utile de sentinelles vis-à-vis de différents risques naturels.

## **Conclusion**

**par Madame Myriam LEGAY, chef du département recherche Développement et Innovation de l'Office National des Forêts**

Les changements globaux attendus apporteront des perturbations diverses (climatiques, biotiques, ...) et imprévisibles. Les espèces forestières, qui sont encore « très peu domestiquées », réagiront avec leur diversité génétique, inconnue pour l'essentiel, en modifiant des assemblages complexes de caractères.

Pour s'adapter à ces changements, deux groupes de leviers sont à la disposition des forestiers.

#### Augmenter et utiliser la diversité

Déplacer des espèces est une réponse, comme cela s'est fait depuis le XVIIIe siècle, avec des échecs (eucalyptus en Aquitaine, pin Weymouth), des résultats erratiques, et aussi quelques beaux succès (Douglas, Cèdre de l'Atlas). Il convient de focaliser les recherches sur les zones à climats chauds et secs, en recherchant un bon compromis entre croissance et résistance à la sécheresse. Cette stratégie pose des problèmes écologiques (biodiversité associée), génétiques (diversité génétique des populations introduites, nombreuses petites populations isolées) et sociétaux (intervention humaine sur des espaces « naturels »).

Jouer sur l'hybridation permettrait d'explorer une diversité génétique nouvelle, de conserver les services écosystémiques de l'espèce native, d'éviter l'isolement des hybrides. On pense aux sapins, aux frênes, aux chênes. Il faudra faire évoluer les esprits (publics, professionnels forestiers) qui n'y sont pas prêts. La réglementation actuelle sur les semences et plants ne favorise pas cette voie, mais ne l'interdit pas.

Déplacer des provenances a déjà été pratiqué, même si ce ne fut pas toujours à bon escient (pin maritime du Portugal dans les Landes, chênes slaves à Compiègne). Cette solution a le mérite d'assurer une transition « en douceur » par diffusion de nouveaux gènes dans la ressource native à partir d'îlots de provenances introduites. Elle a aussi un intérêt pédagogique. C'est le but du projet « Giono » conduit par l'ONF. Cependant cette stratégie pourra conduire à des réductions de la croissance.

Conduire des programmes d'amélioration en donnant priorité aux caractères d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques et à une certaine plasticité phénotypique s'impose pour les espèces aux aires d'utilisation les plus affectées (pin maritime, ...).

#### Mettre en œuvre des outils sylvicoles

Les éclaircies permettent de faire évoluer la composition des peuplements ; pour anticiper un climat plus chaud et plus sec on fera évoluer les mélanges actuels au bénéfice des espèces les plus résilientes connues, par exemple :

Chênes sessile et pédonculé → chêne sessile  
Hêtre et Chêne → Chêne  
Sapin et Epicéa → Sapin

Le sylviculteur peut valoriser la diversité initiale installée, en favorisant des micro-adaptations locales (écotypes, notamment adaptés à des biotopes plus secs), en laissant une forte compétition s'exercer au cours des jeunes stades des peuplements (sélection des individus les plus résistants à la sécheresse), en gérant les survivants à un « accident » climatique ou biotique même s'ils sont peu nombreux, plutôt que de les éliminer.

On peut penser à d'autres voies plus spéculatives : utiliser les effets épigénétiques en créant des vergers-à-graines en zones sèches, augmenter par plantation la diversité au sein des régénérations naturelles, poursuivre les efforts de compromis entre gain génétique et diversité en optimisant l'introduction d'une diversité adaptative originale dans les générations avancées de sélection.

Globalement, les forestiers évoluent vers des solutions adaptées aux caractéristiques de chaque espèce, tenant par exemple compte des modalités et de l'ampleur des flux de gènes, et intégrées, c'est à dire

diverses et qui dialoguent entre elles (exemple : provenances transférées et traitements sylvicoles adaptés).

En conclusion, il convient d'agir et de multiplier les expérimentations, de préférence dans un cadre conceptuel commun, en intégrant les réflexions génétiques et sylvicoles. La mise au point de modèles à utilisation stratégique et explicitant la diversité génétique doit se poursuivre, accompagnée de la récolte des données qui permettront de les nourrir et de les tester. Enfin, il faut faire œuvre de pédagogie avec beaucoup de persévérance car, en matière de génétique, le niveau des connaissances des forestiers et du grand public est plutôt bas.

version définitive  
Novembre 2018