

Le sapin pectiné en peuplement mélangé est moins sensible à la sécheresse qu'en peuplement pur (une étude dans le Massif vosgien)

par F. Lebourgeois¹⁾, N. Gomez²⁾, P. Pinto¹⁾, S. Daviller¹⁾, F. Spicher¹⁾, P. Mérian¹⁾

1) AgroParisTech, Centre de Nancy, Inra-UMR1092, Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt Bois (LERFoB), 14 rue Girardet, F-54000 Nancy.

2) Office national des forêts, Département Recherche et Développement, 11 rue Île de Corse, F-54000 Nancy.

L'adaptation des essences est-elle différente en peuplement mélangé qu'en peuplement pur ? Dans le massif vosgien, la complémentarité de la ressource est étudiée pour 151 peuplements purs et mélangés de sapin pectiné.

Le mélange, une question de complémentarité de l'utilisation des ressources

Les changements environnementaux affectent déjà non seulement la distribution de certaines espèces végétales, mais également la croissance et la vitalité de la forêt européenne. Dans le futur, ces changements se traduisent pour la majorité des projections par une augmentation de la sécheresse pendant la saison de végétation. Même si des incertitudes demeurent, le gestionnaire forestier dispose de trois leviers pour anticiper les effets de ces changements :

- **améliorer le diagnostic pédologique** pour mieux appréhender la capacité des sols à stocker l'eau ;
- **choisir des essences** (ou des variétés) plus **thermophiles** et/ou **xérophiles** permettant de mieux résister à des sécheresses plus fortes et plus fréquentes ;
- **adapter sa gestion** de façon à minimiser les contraintes hydriques pendant la saison de végétation.

Concernant l'adaptation de la gestion, la réduction du nombre de tiges, de la surface terrière ou encore le maintien ou l'augmentation des mélanges dans les peuplements, sont les voies les plus fréquemment évoquées. Concernant ce dernier point, différents auteurs ont montré qu'un **mélange de deux ou plusieurs espèces avec des stratégies variées d'utilisation des ressources peut se traduire par des croissances et des réponses des essences aux contraintes environnementales différentes de si ces espèces avaient été en peuplements purs¹⁾.**

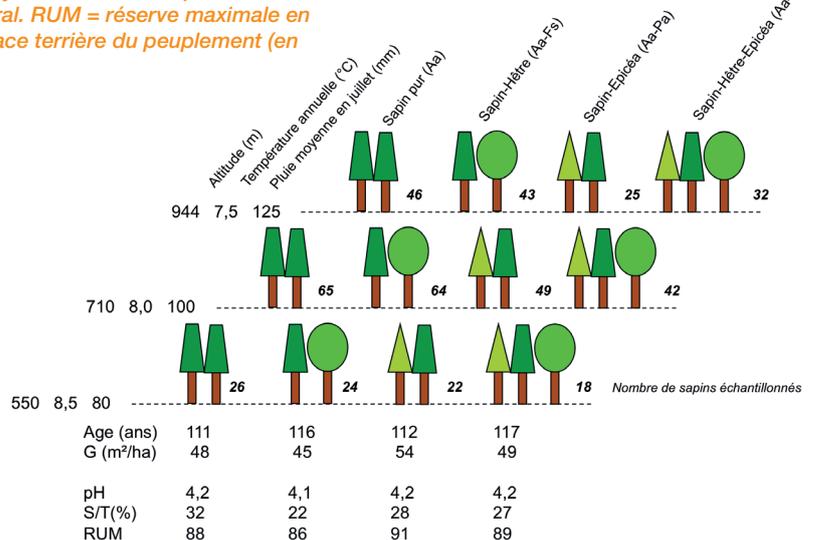
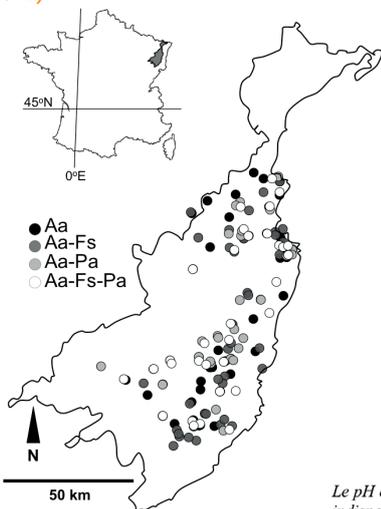
D'autres études menées essentiellement sur les communautés herbacées ont également montré que ces « complémentarités des niches écologiques » variaient fortement le long des gradients écologiques²⁾ dans le sens où des espèces aux stratégies différentes d'utilisation de la ressource cohabitent d'autant plus « facilement » que les ressources sont limitées.

1) Hooper *et al.*, 2005 ; Pérot *et al.*, 2011 ; Pinto *et al.*, 2008.

2) Callaway *et al.*, 2002.

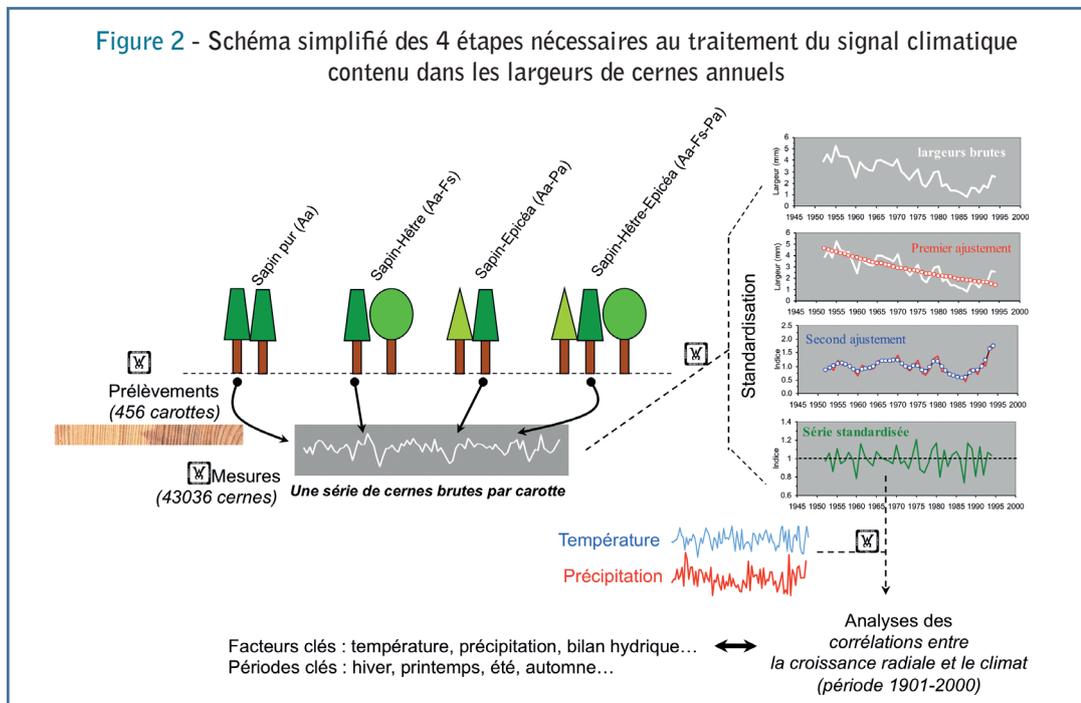
Figure 1 - Localisation géographique et caractéristiques des 151 sapinières pures et mélangées étudiées (456 sapins)

Pour le climat, les données correspondent à la moyenne 1961-1990. pH et taux de saturation (S/T en %) du premier horizon minéral. RUM = réserve maximale en eau du sol calculée sur 1 mètre (en mm). G = surface terrière du peuplement (en m²/ha).



Le pH et le taux de saturation (S/T en %) d'un sol donnent des indications sur le niveau trophique et la disponibilité en éléments minéraux indispensables à la croissance des arbres. Plus les valeurs sont faibles, plus le sol est acide (ici pH autour de 4) et peu pourvu en éléments minéraux (ici S/T autour de 30%).

Figure 2 - Schéma simplifié des 4 étapes nécessaires au traitement du signal climatique contenu dans les largeurs de cernes annuels



Les mesures (étape 2) sont faites avec une précision du centième de mm. La standardisation (étape 3) permet d'éliminer les signaux « non climatiques » contenus dans les largeurs de cernes.

151 peuplements purs et mélangés à base de sapin pectiné dans les Vosges

Dans cette étude, nous avons cherché à savoir si le sapin pectiné, poussant en mélange dans le contexte climatique des Vosges, présente les mêmes variations de croissance radiale et la même sensibilité au climat qu'en peuplement pur et si les différences de sensibilité varient aussi selon les conditions de sécheresse.

Pour ce travail, 151 peuplements et 456 sapins sont échantillonnés dans les Vosges cristallines (Figure 1). La réponse des peuplements purs est comparée à celle de **trois mélanges** : avec l'épicéa (Aa-Pa), avec le hêtre (Aa-Fs) et avec le hêtre et l'épicéa (As-Fs-Pa). **Trois contextes climatiques** sont pris en compte :

- un contexte « sec » caractérisé par des pluies moyennes en juillet de 80 mm et une température annuelle de 8,5 °C (moyenne 1961-1990) (altitude moyenne des peuplements échantillonnés : 550 m).

- un contexte « mésophile » avec des pluies estivales de 100 mm et une température annuelle de 8 °C (altitude : 710 m).

- un contexte « humide » avec un régime pluviométrique de 125 mm et une température de 7,5 °C (altitude : 944 m).

Au total, **12 modalités** (3 strates climatiques x 4 types de peuplements) avec entre 18 et 65 sapins par modalité (Figure 1) sont étudiées.

L'effet du climat sur la croissance radiale des sapins est analysé à partir des séries de cernes établies après des mesures de « carottes » de sondage (Figure 2). Ces carottes sont des petits « bâtonnets » de bois prélevés à hauteur d'homme sur chaque arbre à l'aide d'une tarière de Pressler, à partir desquelles les cernes d'accroissement peuvent être mesurés.

Ces séries de croissance sont ensuite « standardisées » de façon à ne conserver que le signal climatique. Les variations inter-annuelles de ces indices de croissance sont alors mises en relation avec les variations des conditions climatiques. Cette analyse corrélative qui couvre, pour cette étude, la période 1901-2000 permet de **mettre en évidence les facteurs et les périodes clés expliquant le mieux la croissance radiale des arbres**.

Les données climatiques utilisées sont issues des stations du réseau Météo-France les plus proches possibles des sites étudiés. Ici, nous avons considéré des températures et des bilans hydriques pour expliquer la croissance. Les bilans hydriques prennent en compte à la fois les apports d'eau par les pluies, l'évapotranspiration potentielle et la capacité du sol à stocker de l'eau³⁾. Des bilans positifs traduisent un « excès » d'apport en eau par rapport aux besoins des arbres et les valeurs négatives un déficit et donc une sécheresse.

Le mélange minimise les effets des sécheresses dans les situations les plus sèches

Sur la période 1901-2000, les **sécheresses exceptionnelles** (Figure 3) ou les **gels hivernaux** extrêmes (1956, 1986) se sont traduits par des **réductions d'accroissement de 20 à 40 %** par rapport à la croissance des années précédentes. Concernant la sécheresse, les pertes de croissance sont d'autant plus élevées que les conditions sont sèches. Par exemple, pour les peuplements purs, la croissance en 1976 est réduite de 37 % dans le contexte sec, 33 % dans le contexte mésophile et 30 % dans le contexte humide.

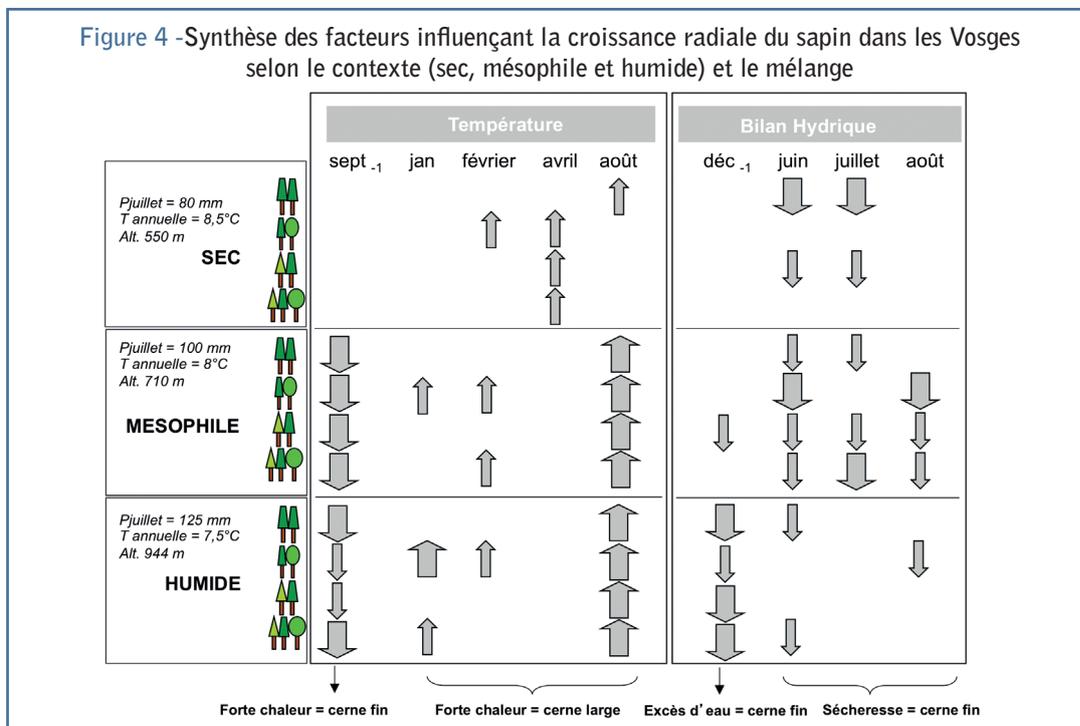
3) Lebourgeois et al., 2013.

Légende :

-1 : année précédente la mise en place du cerne.

⇒ Effet fort (corrélation élevée et significatif au seuil statistique de 5 %).

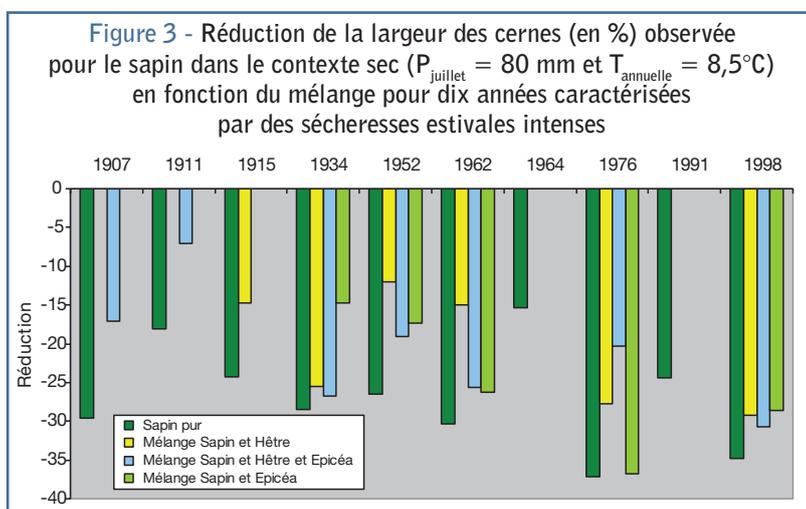
⇒ Effet modéré (corrélation faible et significative au seuil statistique de 10 %). Dans chaque cas, le sens d'action du facteur (flèche montante ou descendante) est précisé.



Si l'on considère les 10 années particulièrement sèches, on constate que la présence d'autres espèces permet au sapin de minimiser les effets négatifs de fortes sécheresses et ceci essentiellement dans les conditions les plus sèches (Figure 3). Dans ce contexte, deux cas de figure sont observés : aucun effet de la sécheresse pour les sapins en mélange (pour les années 1964 et 1991 par exemple) ou croissance moins affectée (1952, 1962).

L'analyse sur le long terme montre que la réponse du sapin à la sécheresse diminue quand l'altitude augmente, c'est-à-dire avec l'amélioration du régime hydrique, mais que sa sensibilité aux températures hivernales augmente (Figure 4). Il apparaît également que le mois d'août joue un rôle central avec un cerne

d'autant plus large que la température est élevée. En revanche, des fortes chaleurs en septembre réduisent la croissance l'année suivante, ainsi que des hivers trop pluvieux dans les altitudes les plus élevées. Pour expliquer ces résultats, on évoque souvent des perturbations dans la mise en place des réserves carbonées utilisées l'année suivante pour le redémarrage de la croissance. Concernant l'effet des mélanges, les différences les plus fortes apparaissent dans le **contexte le plus sec** avec une moindre réponse voire **une perte de réponse du sapin à la sécheresse estivale quand il est associé à d'autres essences**. Ceci suggère que, malgré un régime pluviométrique plus défavorable, la disponibilité en eau est « suffisante » pour répondre à la demande de ce conifère et ceci particulièrement quand il est associé avec le hêtre.



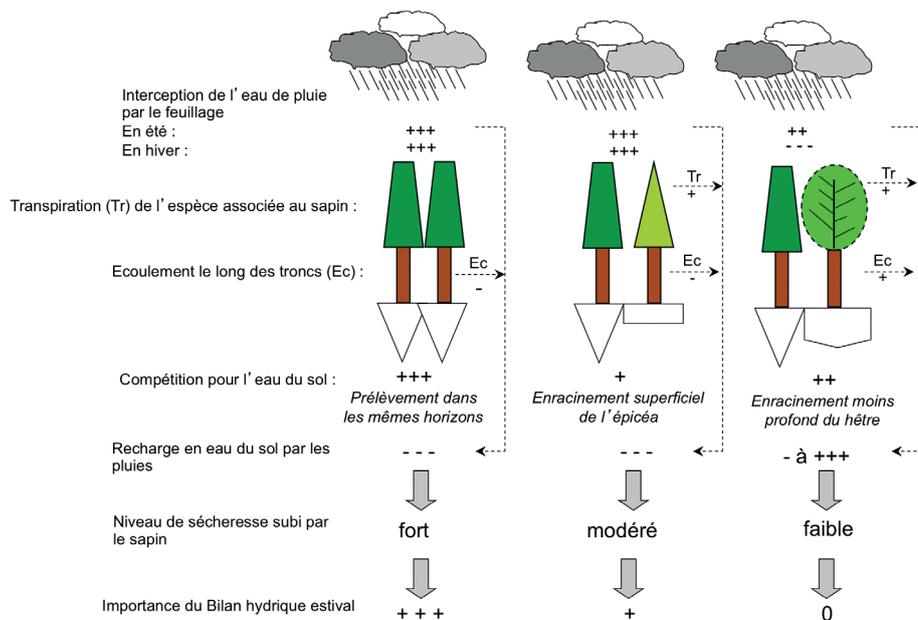
La réduction correspond à l'écart relatif (en %) entre la croissance de l'année considérée et celle de l'année précédente. Par exemple, pour le sapin pur, la croissance de 1907 a été réduite de près de 30 % par rapport à son niveau de 1906. L'absence de barre indique une croissance non affectée par la sécheresse.

Comment expliquer la moindre sensibilité du sapin en mélange ?

Différentes études montrent qu'un système racinaire important favorise les prélèvements en eau (et en éléments minéraux) tout au long de la saison de végétation et plus particulièrement lors d'années sèches. Le sapin pectiné a un enracinement plus profond que le hêtre et l'épicéa, ainsi le mélange permet aux sapins de mieux utiliser les ressources en eau du sol (Figure 5).

Des études menées notamment en forêt européenne tempérée (sur le hêtre en mélange avec le douglas, l'épicéa ou le chêne sessile) montrent que le mélange favorise la production de racines fines et améliore fortement la prospection dans les différents horizons du sol rendant ainsi les essences moins sensibles à

Figure 5 - Essai de synthèse des interactions biologiques entre espèces dans les mélanges étudiés



des épisodes secs. En ce qui concerne le sapin, les mélanges avec le hêtre et l'épicéa sont très peu étudiés jusqu'à présent d'un point de vue fonctionnel. Cependant, une étude récente menée en Pologne montre que la présence de hêtre avec le sapin permet au sol de se maintenir « humide » plus longtemps alors qu'avec l'épicéa, les horizons supérieurs du sol sont plus secs. Pour le mélange hêtre-sapin, les auteurs expliquent ces observations par une plus faible interception des pluies par le feuillage du hêtre (par rapport aux résineux), un écoulement de l'eau le long des troncs plus fort ce qui rapporte de l'eau dans le sol (écorce lisse du hêtre *versus* écorce « écailleuse » du sapin) et des niveaux de transpiration moindre du feuillage.

L'effet positif des températures de fin d'hiver et de début du printemps observable avec le hêtre pourrait être l'expression de l'effet positif de l'hétérogénéité de la structure des houpiers ou des différences de développement foliaire. Ainsi, on peut imaginer qu'avec le hêtre, le sapin tire avantage d'une augmentation de la température ou de rayonnement en fin d'hiver alors que le hêtre est défeuillé. Dans ces conditions, le résineux accumulerait plus rapidement des « températures chaudes » ; accumulation, dont de nombreux travaux montrent qu'elle joue un rôle central dans les processus physiologiques de mise en place

des nouvelles feuilles et de fonctionnement du cambium.

Quelles conséquences pour le gestionnaire ?

Notre étude suggère une **sensibilité moindre du sapin à la sécheresse, quand il est mélangé avec d'autres essences (notamment le hêtre) et ceci particulièrement dans les situations hydriques les plus contraignantes**. Même si ces résultats doivent être confirmés dans d'autres contextes et pour d'autres espèces, on peut penser que le mélange est un des moyens dont dispose le gestionnaire pour atténuer les effets du changement climatique sur le sapin pectiné. Ceci pourrait être particulièrement important dans l'avenir car on sait que l'accumulation de stress hydrique est très souvent à l'origine des dépérissements forestiers et de la mortalité des arbres. Actuellement, même si les sapinières des altitudes plus élevées ne semblent pas être soumises à des contraintes hydriques fortes, on peut imaginer que les sapins subiront également dans un avenir plus ou moins proche des sécheresses plus fréquentes et plus intenses. D'un point de vue de la « gestion de l'eau », il semble donc que le maintien des mélanges soit souhaitable, voire à développer dans des contextes plus larges que ceux étudiés. ■

Résumé

Une étude comparative de 151 peuplements purs et mélangés de sapin pectiné dans le massif vosgien détermine la complémentarité d'utilisation des ressources face aux contraintes environnementales, sécheresse notamment. Certaines espèces adaptent leur usage de la ressource différemment suivant la compétition ou l'accès aux ressources d'eau. Le sapin pectiné est moins sensible à la sécheresse en peuplement mélangé qu'en peuplement pur.

Mots-clés : sapin pectiné, peuplement pur, peuplement mélangé, résistance à la sécheresse.

Remerciements

Les auteurs remercient Daniel Rittié et Nicolas Foy pour leur aide technique. L'étude a été financée par l'Office national des forêts, le ministère de l'Agriculture, le réseau mixte technologique Aforce et la Société forestière de la Caisse des Dépôts.

Bibliographie

- Callaway R.M., Brooker R.W., Choler P., Kikvidze Z., Lortie C.J., Michalet R., Paolini L., Pugnaire F.I., Newingham B., Aschehoug E.T., Armas C., Kikodze D., Cook B.J., 2002. *Positive interactions among alpine plants increase with stress*. Nature, vol. 417, n° 6891, 2002, pp. 844-848.
- Hooper D.U., Chapin F.S., Ewel J.J., Hector A., Inchausti P., Lavorel S., Lawton J.H., Lodge D.M., Loreau M., Naeem S., Schmid B., Setälä H., Symstad A.J., Vandermeer J., Wardle D.A., 2005. *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge*. Ecological Monographs, vol. 75, n° 1, 2005, pp. 3-35.
- Lebourgeois F., Gomez N., Pinto P., Mériani P., 2013. *Mixed stands reduce Abies alba tree-ring sensitivity to summer drought in the Vosges mountains, western Europe*. Forest Ecology and Management, vol. 303, n° 9, 2013, pp. 61-71.
- Pérot T., Deleuze C., Jarret P., Morneau F., 2011. *Mélanges d'essences et productivité : application au mélange chêne sessile - pin sylvestre en forêt domaniale d'Orléans*. Rendez-Vous Techniques, vol. 33-34, n° 2-3, 2011, pp. 11-17.
- Pinto P.E., Gegout J.C., Herve J.C., Dhote J.F., 2008. *Respective importance of ecological conditions and stand composition on Abies alba Mill. dominant height growth*. Forest Ecology and Management, vol. 255, n° 3-4, 2008, pp. 619-629.