

LE CHÊNE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES. 1^{RE} PARTIE: LA CROISSANCE (I/III)

Le chêne, une essence très flexible

Dans le cadre du projet Querco (2006–2012), l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL à Birmensdorf/ZH a analysé le comportement de jeunes chênes sous différentes conditions climatiques.

Par P. Bonfils, M. Arend, T. M. Kuster, P. Junod et M. S. Günthardt-Goerg*



Photo: Madeleine S. Günthardt-Goerg/WSL

Chambres d'écosystème modélisé de l'Institut fédéral de recherches WSL à Birmensdorf/ZH.

Le but de cette expérimentation de grande envergure fut d'étudier les effets de la sécheresse et d'une augmentation de la température de l'air sur le microclimat, le sol et les arbres. 770 jeunes chênes furent observés et mesurés (en chambre d'écosystème modélisé) pendant trois ans. Les résultats de ce projet sont présentés à la pratique forestière dans une série de trois articles, dont ce premier présente la croissance comme indicateur de comportement sous des conditions climatiques modifiées.

Changements climatiques et exploitation forestière

Le réchauffement climatique global est considéré aujourd'hui, par la majorité des

forestiers, comme étant un défi majeur pour les forêts au XXI^e siècle. Les scénarios climatiques pour le futur prévoient des étés plus chauds, caractérisés par de longues périodes de chaleur excessive et par un déficit des précipitations (sécheresses)^[1].

Un des scénarios climatiques jusqu'en 2100 prévoit pour la Suisse une augmentation de la température annuelle moyenne entre 2,7 ° et 4,1 °C, ainsi qu'une diminution des précipitations en été de 18–24%^[2]. Ces changements climatiques ne seront pas sans effets sur la stabilité et la productivité des forêts^[3; 4]. Il est à envisager une augmentation des dégâts dans les forêts composées d'essences sensibles à la sécheresse (hêtre, épicéa, sapin). Les espèces moins sensibles, comme le chêne par exemple, devraient mieux réagir par rapport aux conditions climatiques modifiées^[5; 6]. Il est même vraisemblable que le chêne profite du changement climatique en devenant plus concurrentiel face à d'autres espèces^[7].

Une stratégie forestière ayant pour but de garantir des forêts robustes, performantes et capables de s'adapter à leurs

milieux doit tenir compte de ces faits. C'est pourquoi les services forestiers doivent dès aujourd'hui prendre des décisions sylvicoles (rajeunissement, choix des espèces, forme de régime, etc.) adaptées à la situation (à ce sujet, voir encadré «En échange avec la pratique»). Toutes informations concernant le comportement du chêne – une essence exigeante et demandant beaucoup de suivi sylvicole – sous un climat plus sec et plus chaud sont de ce fait de grande valeur.

L'expérimentation Querco

En 2003, à l'Institut fédéral de recherches WSL à Birmensdorf/ZH, la biologiste Madeleine S. Günthardt-Goerg et son équipe de recherche ont mis en place une expérience de grande envergure. À l'aide des chambres d'écosystème modélisé du WSL (voir photo ci-dessus), le comportement de chênes sous différentes conditions climatiques a été étudié. Pour cela, en automne 2003, des glands de différentes provenances de chênes autochtones ont été ramassés (4

* Patrick Bonfils, Bonfils-Naturavali (www.naturavali.com); Dr Matthias Arend; Dr Thomas M. Kuster; Dr Madeleine S. Günthardt-Goerg, tous Institut fédéral de recherches WSL (www.wsl.ch); Pascal Junod, ingénieur forestier d'arrondissement forestier de Boudry/NE et responsable du centre de compétence en sylviculture Lyss (www.bzwlyss.ch).

Traduction: Laurent Goerg

Provenance	Espèce	Alt. [m]	Temp. [°C]	Précipit. [mm]
Tägerwilen	ch'p	510	8,7	929
Bonfol	ch'p	450	8,9	1035
Hünenberg	ch'p	398	9,1	1147
Magadino	ch'p	199	10,5	1772
Corcelles (p. Concise)	ch'r	550	9,0	893
Magden	ch'r	308	8,9	974
Wädenswil	ch'r	430	8,9	1353
Gordevio	ch'r	450	11,0	1668
Leuk	ch'pub	720	8,1	657
Le Landeron	ch'pub	700	8,0	932
Promontogno	ch'pub	900	6,1	1459
Arezzo (Italie)	ch'pub	296	14,0	410

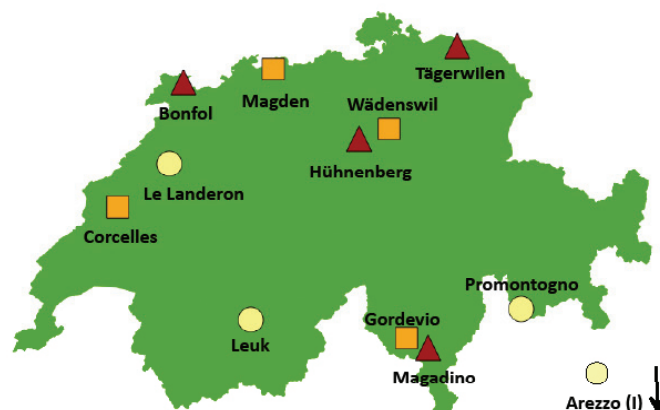


Tableau 1: Les provenances des chênes étudiés ont été choisies de manière à ce qu'elles soient représentatives d'un grand nombre de stations et de leurs spécificités (chêne pédonculé = ch'p Δ; chêne rouvre = ch'r □; chêne pubescent = ch'pub ○).

en provenance de chêne pédonculé, 4 de chêne rouvre et 4 de chêne pubescent, voir tableau 1). Ces glands furent ensuite élevés pendant deux ans dans la pépinière du WSL. Au printemps 2006, les jeunes chênes ont été plantés dans 16 chambres d'écosystème modélisé dans deux sols de types différents (figure 1). Ceux-ci provenaient de forêts de chênes de la région de Brugg/AG (sol calcaire, pH de 7) et de Eiken/AG (sol sur roche mère acide, pH 4).

Pendant trois ans, les jeunes chênes ont été soumis à quatre conditions climatiques différentes: sécheresse (1), réchauffement de l'air (2), combinaison des deux (3), ainsi qu'à un traitement de contrôle, sans mesure particulière (4). Au moyen d'un mécanisme permettant l'ouverture des parois, la température ambiante a été élevée de 1 à 2°C dans huit chambres d'écosystème modélisé. Les précipitations naturelles ont été éliminées à l'aide d'un système de fermeture automatique du toit. L'irrigation des

chênes s'est faite de manière contrôlée avec une installation d'arrosage («sprinkler»).

Les arbres des traitements «réchauffement de l'air» et «contrôle» ont été irrigués régulièrement. Pour les traitements «sécheresse» et la combinaison «sécheresse – réchauffement de l'air», l'irrigation a été coupée deux fois pendant la période de végétation, durant plusieurs semaines (simulation des conditions de sécheresse). Les traitements «réchauffement de l'air» et «sécheresse» correspondent aux changements de climat prévus.

Les chercheurs du WSL, en collaboration avec des collègues suisses, allemands, autrichiens, français et chinois ont étudié, de façon interdisciplinaire, la croissance des chênes et une multitude d'autres paramètres dans le sol, dans les plantes et les organismes associés. Grâce aux données climatiques enregistrées, à l'homogénéité du matériel botanique et du modèle statistique de l'expéri-

mentation (figure 1), il a été possible de considérer des hypothèses de recherche qu'un essai in situ n'aurait pas permis. Les résultats présentés dans cet article se rapportent toujours aux deux types de sol. L'influence du sol sera le sujet de la deuxième publication de cette série.

L'indicateur «croissance»

La croissance est un facteur élémentaire de la vie. C'est pourquoi il est particulièrement indiqué pour observer le développement d'organismes. Afin de pouvoir tirer des conclusions sur le comportement des jeunes chênes, les chercheurs ont analysé les facteurs suivants:

- croissance annuelle en hauteur de la pousse principale, y compris les pousses de la Saint-Jean;
- croissance annuelle du diamètre du tronc 10 cm au-dessus du sol;
- poids de la matière sèche de la masse foliaire, du bois et des racines (mesuré après trois ans de traitement).

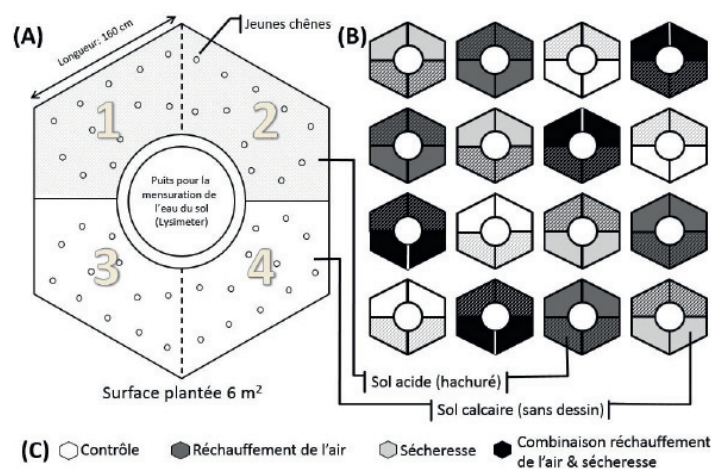


Figure 1: Chênes en chambres d'écosystème modélisé. Dans chaque quart d'une chambre, 12 jeunes chênes (de 2 ans) d'une provenance ont été plantés de façon aléatoire (A). En tout, quatre provenances par espèce ont été plantées (chêne pédonculé, chêne rouvre et chêne pubescent, cf. tableau 1). Chaque une des 16 chambres d'écosystème modélisé ont été pourvues de deux sols de forêt différents (calcaire et acide) et soumises à une des quatre conditions climatiques déterminées (C). Les quatre conditions climatiques ont été répétées quatre fois (B). Photo de droite: chambres d'écosystème modélisé en hiver.

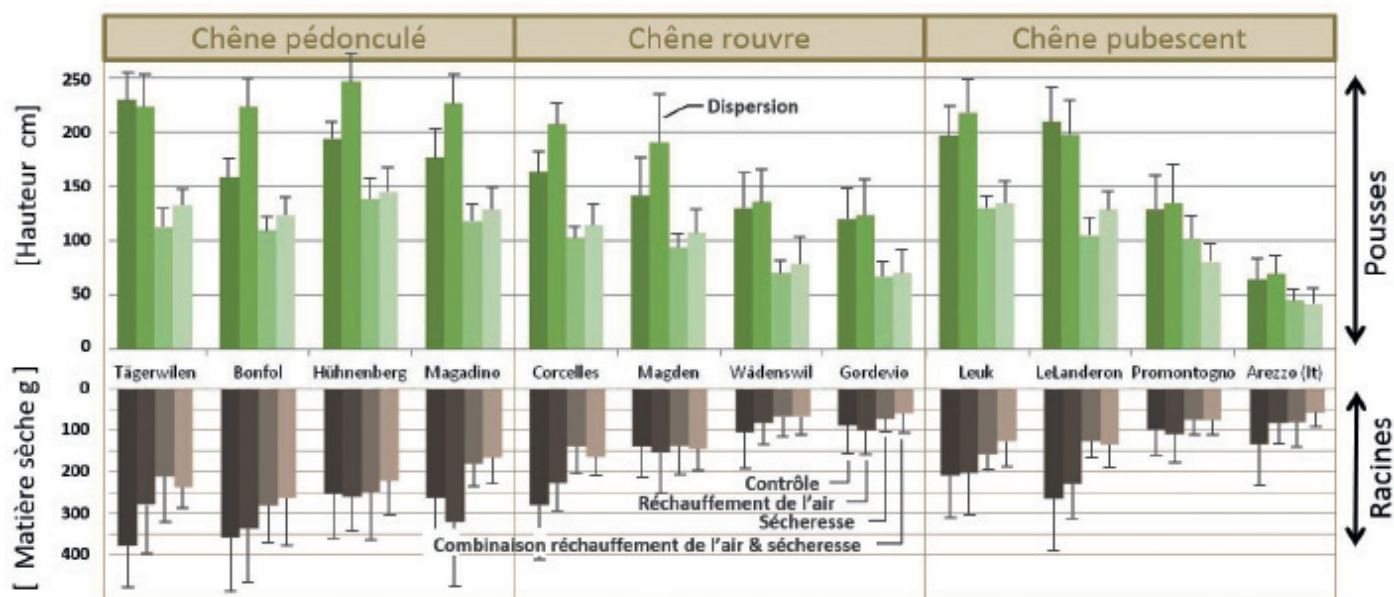


Figure 2: Hauteur totale de la pousse principale (pousses de la Saint-Jean incluses) et masse des racines (matière sèche) pour chaque provenance et pour chaque traitement climatique. Résultats après trois ans de l'expérimentation Querco (valeur moyenne avec dispersion).

Résultats

La température favorise la croissance en hauteur

Les données statistiques montrent que l'augmentation de la température de l'air (réchauffement) influence la croissance d'un arbre, même si quelques relevés ont présenté des résultats contradictoires. Le réchauffement de l'air a une influence positive sur la croissance en hauteur. Par rapport au traitement de contrôle, celle-ci augmente en moyenne de 15%. Curieusement, le diamètre à la base du tronc a lui diminué de 3%, ce qui explique peut-être pourquoi la biomasse aérienne, elle, n'a pratiquement pas changé. La détermination de la masse moyenne des racines de chaque arbre a montré une réduction de 8% par rapport au traitement de contrôle. Les conditions contrôles ont montré que, dans l'expérimentation Querco, le chêne pédonculé a une croissance supérieure à celle du chêne pubescent, lequel devance le chêne rouvre (figure 2).

La sécheresse est un frein puissant

De toute évidence, la sécheresse a freiné la croissance: la longueur des pousses et le diamètre du tronc ont diminué de 40%, resp. de 23%. La biomasse du bois a également diminué de moitié et celle des racines de 30% en moyenne^[8;9] (tableau 2). La comparaison entre les traitements avec irrigation continue et les variantes sous conditions de sécheresse a montré pour toutes les provenances une réduction

	Masse foliaire/arbre (g)		Production bois/arbre (g)	
	Irrigation	Sécheresse	Irrigation	Sécheresse
Ch. pédonculé	66 (33)	48 (25); [-28%]	388 (176)	185 (93); [-52%]
Ch. rouvre	36 (25)	26 (18); [-26%]	157 (130)	74 (61); [-53%]
Ch. pubescent	38 (27)	26 (20); [-31%]	193 (165)	86 (65); [-55%]

Tableau 2: Production moyenne de masse foliaire et de bois par arbre durant trois ans. Comparaison entre les traitements «irrigation» et traitements «sécheresse». Parenthèse () = dispersion, parenthèse [] = différence avec traitement «irrigation».

moyenne de la masse foliaire de 28% (tableau 2). Toutes les espèces subirent statistiquement, sous sécheresse, une réduction semblable de leur production de biomasse (feuillage, bois et racines).

Grandes différences

Même sans aucun traitement spécifique (contrôle), de grandes différences en ce qui concerne la croissance entre les différentes provenances sont apparues. Après trois ans d'expérimentation (2007–2009), la croissance en hauteur totale a varié fortement, tant au sein des mêmes espèces qu'entre les différentes espèces. Alors que par exemple le chêne pédonculé de Tägerwilen a atteint une hauteur moyenne de 230 cm (± 53) cm (dispersion), celui en provenance de Bonfol se retrouvait à 159 cm (± 36) cm seulement. Le chêne pubescent a lui-même montré de grosses différences de croissances selon les provenances: 210 cm (± 67) cm pour Le Landeron et 129 cm (± 67) cm pour Promontogno. Arezzo, la provenance la plus méridionale, a eu une croissance encore plus réduite. Le

diamètre du tronc en fin d'expérimentation a varié, pour les provenances suisses, entre 2,7 mm (Wädenswil) et 5,4 mm (Tägerwilen). La réaction à la sécheresse des 12 provenances a également été très marquée. En effet, le chêne pédonculé de Tägerwilen a montré une croissance en hauteur très affectée (-46% pour la longueur des pousses), tandis que le chêne pédonculé de Hühnenberg n'a montré qu'une diminution de 36% comparative-ment au contrôle.

Conclusions

Indices d'une grande diversité génétique

Les grandes différences de croissance entre les provenances – en relation avec la sécheresse et avec le réchauffement de l'air en particulier – peuvent être considérées comme indices d'une grande variété génétique au sein des populations de chênes. Des projets de recherches sur la génétique du chêne avaient dans le passé déjà démontré une diversité génétique au-dessus de la moyenne des espèces d'arbres^[10].

En échange avec la pratique

Pascal Junod est le responsable du centre de compétence en sylviculture au Centre forestier de formation CEFOR à Lyss. En tant qu'ingénieur forestier de l'arrondissement de Boudry dans le canton de Neuchâtel, il est aussi responsable de la gestion de nombreuses chênaies. Avec Patrick Bonfils, ils se sont entretenus à propos de l'expérimentation Querco du WSL.

Patrick Bonfils: Quelle est l'importance accordée dans la pratique à la discussion «le chêne et le changement climatique»? De quoi est capable cet espèce sous les conditions du futur?

Pascal Junod: Le chêne, ou plutôt les chênes, sont dotés d'une remarquable plasticité face aux nombreuses perturbations qui jalonnent la vie de la communauté forestière. Ils constituent l'ossature physique et biologique de nombreuses forêts de plaine, et sont capables de stabiliser l'écosystème lorsqu'il est sous pression (sécheresses, tempêtes p. ex.). Outre cette force stabilisatrice, les forêts riches en chênes représentent un véritable joyau de multifonctionnalité: elles produisent un bois noble, hébergent un très haut degré de multifonctionnalité et offrent un formidable écrin pour l'accueil et le délassement du public.

Avec le réchauffement climatique, la compétitivité des chênes face aux autres espèces ligneuses va sans doute se renforcer (dans ce contexte, la progression du chêne en Valais par exemple est spectaculaire). Compte tenu des grands enjeux liés au développement de la société (aménagement des ressources, recherche d'un cadre de vie agréable et d'un environnement proche de la nature), les forêts multifonctionnelles, riches en chênes, vont gagner en valeur.

Quelle est l'importance de la recherche en chambre d'écosystème modélisé sur de jeunes chênes pour la pratique forestière? Peut-on extrapoler les résultats de cette recherche?

Il est beaucoup plus facile d'obtenir des résultats statistiquement significatifs en chambre que lors d'un essai réalisé en forêt. Il est ainsi possible de varier les différents facteurs (p. ex. la température et la pluviosité), tout en préservant les autres conditions de croissance. L'expérimentation imite la situation d'un peuplement en rajeunissement (artificiel) et au stade du fourré, deux stades de développement très importants dans la vie d'une forêt de chêne. Les résultats obtenus

doivent être interprétés correctement et avec prudence. Ils ne sont donc pas reproductibles tel quel sur d'autres scénarios.

Que signifie une croissance juvénile accélérée (à la suite d'un réchauffement de l'air) pour le sylviculteur?

Cela pourrait renforcer la compétitivité du chêne par rapport au hêtre et d'autres végétations concurrentielles. Les soins forestiers diminueraient, ce qui ferait baisser les frais. L'action sylvicole sera moins nécessaire pour accompagner le développement juvénile des chênes. Une croissance en hauteur accélérée pendant les premières années, avec un diamètre du tronc identique (ou moindre encore), pourrait par contre conduire à une diminution de la stabilité de la tige. Afin de prévenir les dégâts dus par exemples à la neige lourde, de nouveaux concepts pour les soins à la jeune forêt sont à concevoir. Les questions des peuplements structurés (irréguliers), des soins des couronnes (intensité et moment des interventions) ainsi que de peuplements mélangés doivent être considérées.

En tant que forestier, comment voyez-vous les grandes différences entre les réactions de croissance au sein et entre les provenances?

Cet aspect ne me surprend guère et me réjouit vivement, car en forêt, chaque station est différente, chaque peuplement est différent, chaque espèce est

différente. Dans la même ligne, il n'est pas étonnant que chaque provenance, que chaque individu soit différent. Il est normal, dans un milieu vivant aussi complexe, que la réaction des arbres aux différents stress et aux différentes combinaisons de ceux-ci ne soit pas homogène ou linéaire. Cela me réjouit vivement car: plus grande sera la diversité, plus marquée sera la capacité de différenciation chez les jeunes arbres, et plus vite émergeront les vigoureux. La diversité a aussi l'immense avantage d'offrir plus de possibilités d'adaptation à l'espèce (plus de capacité évolutive).

Dans la situation actuelle (changement climatique), c'est un avantage de pouvoir travailler avec une espèce d'arbre disposant d'une large base génétique et d'une grande palette de réactions. Cela augmente mes possibilités, en tant que sylviculteur, pour maintenir la stabilité et l'adaptabilité de mes peuplements forestiers. Naturellement se pose également la question de savoir comment traiter la diversité constatée. Particulièrement en ce qui concerne le rajeunissement des peuplements, de multiples questions se posent: quelle provenance choisir? Selon quels critères? Utiliser du matériel de reproduction de différentes sources (mélange)?

Cette interview sera poursuivie dans la prochaine édition de LA FORÊT.

Propos recueillis par Patrick Bonfils



Figure 3: Cours de soins aux fourrés. Une croissance juvénile rapide du chêne pourrait augmenter sa compétitivité et diminuer les frais d'entretien. Une pousse élancée favoriserait toutefois l'instabilité. Ici, de nouveaux concepts sont à définir.

Adaptation à la sécheresse

Les différentes réactions en croissance amènent à modifier le rapport entre la hauteur et le diamètre du tronc des plantes, de même que la relation en croissance aérienne et sous-terrine (racines). Les proportions des arbres se trouveraient donc changées. C'est exactement ce qu'indiquent les mensurations après les traitements de sécheresse et du réchauffement de l'air. Ce dernier a poussé les plants à une croissance excessive des organes de surface (tiges et feuillage), tandis que la sécheresse a augmenté la proportion de la masse souterraine (racines). Cette constatation correspond aux expériences dans d'autres projets. Afin d'assurer l'approvisionnement en eau, les plantes investissent lors d'une sécheresse plus d'énergie dans la formation de racines que dans le maintien des organes aériens.

Intérêt pour les pousses proleptiques

Le chêne est capable de former des pousses proleptiques (pousses de la Saint-Jean) si les conditions de croissance s'y prêtent. Une partie des différences de hauteur des arbres étudiés entre les espèces et les provenances sont dues à ce phénomène. Ainsi, l'expérimentation Querco montre que le chêne pédonculé a sur l'ensemble des provenances souvent formé un 2^e jet. Pour les chênes rouvres et pubescents les résultats furent plus hétérogènes. Tandis que le chêne pubescent de Loèche a produit relativement souvent des pousses proleptiques, ce phénomène

fut rare pour le chêne rouvre de Wädenswil. Ces constations ne doivent pas être prises comme critère de sélection. Elles montrent simplement que les différentes espèces de chêne disposent d'un système de croissance très subtil, lequel réagit avec flexibilité aux changements climatiques.

Autres informations:

Expérimentation Querco et projet Querco-Pratique sur www.wsl.ch/querco.

Bibliographie:

[1] SCHAR C. ET AL. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332–336.

[2] CH2011 (2011). Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zürich, Switzerland, 88 pp.

[3] CIAIS P. ET AL. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437: 529–533.

[4] LEUZINGER S. ET AL. (2005). Responses of deciduous forest trees to severe drought in Central Europe. *Tree Physiol.* 25: 641–650.

[5] OHLEMÜLLER R. ET AL. (2006). Quantifying components of risk for European woody species under climate change. *Global Change Biol.* 12: 1788–1799.

[6] GESSLER A. ET AL. 2007. Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21:1–11.

[7] ZIMMERMANN N. E. ET AL. (2006). Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren? In *Wald und Klimawandel. Forum für Wissen* 2006. Ed. T. Wohlgemuth. WSL, Birmensdorf, Switzerland, 71 pp. ISSN 1021–2256.

[8] AREND M., KUSTER T. M., GÜNTHARDT-GOERG M. S., DOBBERTIN M. (2011). Provenance-specific growth responses to drought and air warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea* and *Q. pubescens*). *Tree Physiology*, 31, 287–297.

[9] KUSTER T. M., AREND M., BLEULER P., GÜNTHARDT-GOERG M. S., SCHULIN R. (2013). Water regime and growth of young oak stands subjected to air-warming and drought on two different forest soils in a model ecosystem experiment. *Plant Biology*, 15, suppl. 1, 138–147.

[10] KLEINSCHMIT J. (1993). Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Ann. Sci. For.* 50: 166–185.

Transfert des connaissances

L'échange des connaissances et de l'expérience fait partie intégrante d'un processus de «gestion du savoir» au sein de la société et représente une condition essentielle au développement durable.

Le projet Querco-Pratique a pour but de vulgariser les résultats de l'expérimentation Querco et de les mettre à la disposition du personnel forestier et des services de la protection de la nature. Il doit aussi favoriser l'amélioration de la compréhension réciproque et de la collaboration entre la recherche et la pratique.

Cette série d'articles est partie intégrante du projet de vulgarisation Querco-Pratique financé par: l'Office fédéral de l'environnement OFEV, l'Institut fédéral de recherche WSL et de l'association pro-Quercus.

PB