

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**librairie.foretnature.be**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**foretnature.be**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **foretnature.be**



VULNÉRABILITÉ DES FORÊTS  
AU CHANGEMENT CLIMATIQUE :  
QUELQUES ACQUIS DE LA RECHERCHE

CÉLINE PERRIER – NATHALIE BRÉDA  
JEAN-LUC PEYRON – OLIVIER PICARD

*Les résultats de quatre projets de recherche ont été présentés lors d'un colloque organisé en 2011 par le Réseau Mixte Technologique Aforce, l'Inra, le Gip Ecofor et l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) en France. Ces projets portaient sur la vulnérabilité des forêts au changement climatique. Que doit-on retenir de ces résultats ? Certains éléments peuvent-ils venir guider le gestionnaire dans ses choix de gestion ?*

**Le** réseau Aforce, consacré à l'adaptation des forêts au changement climatique, a la vocation de participer au transfert des connaissances. Il s'intéresse pour cela aux résultats récents de la recherche de manière à identifier les avancées pouvant être utilisables pour la gestion. À cet effet, le Gip Ecofor, l'Inra et le RMT Aforce se sont associés pour organiser le 17 novembre 2011 au FCBA, en collaboration avec l'ANR, un colloque sur le thème : « Que nous apprend la

recherche sur la vulnérabilité des forêts au changement climatique ? ». Cette journée a rassemblé près de deux cents personnes de la recherche, du développement, de la gestion et de l'enseignement.

L'objectif était de faire le point sur les résultats de quatre projets de recherche, Dryade, Drought+, Climator (programme ANR Vulnérabilité, Milieux, Climat et Société) et QDiv (programme ANR Biodiversité), con-

cluant un cycle de programmes consacrés à l'étude de la vulnérabilité des forêts au changement climatique (projets présentés dans les encarts pages suivantes). Les organisateurs ont souhaité présenter conjointement ces quatre projets qui illustrent des démarches scientifiques complémentaires pour éclairer cette thématique complexe, mobilisant tantôt l'observation et l'analyse rétrospective, la manipulation d'écosystèmes instrumentés, ou encore la modélisation sous scénarios de climats futurs.

**LE RECOURS À DES MODÈLES  
EST INDISPENSABLE POUR ÉVALUER  
DES IMPACTS COMPLEXES**

Climator et QDiv, les deux projets de modélisation sous climat futur, enchaînent deux types de modèles : les modèles climatiques et les modèles d'impact. Ces derniers sont alimentés en entrée par les sorties des modèles climatiques :

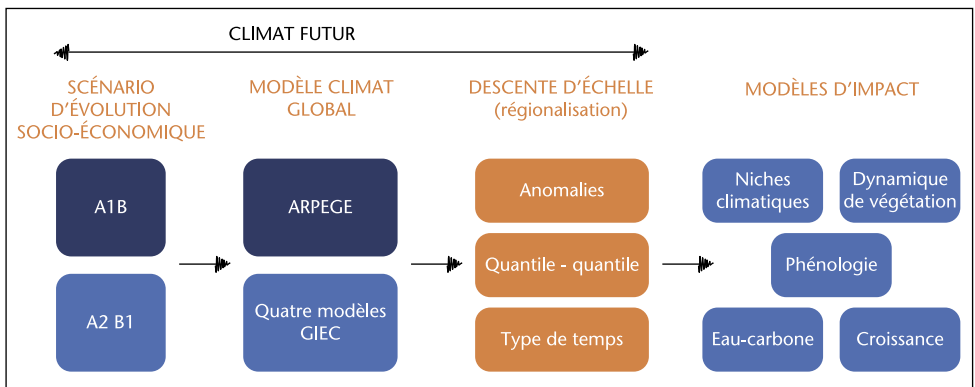
**Les modèles climatiques**

Les modèles climatiques permettent de produire plusieurs réalisations possibles du climat futur. Ils génèrent des don-

nées de pluie, température, rayonnement, vitesse du vent, humidité de l'air jusqu'en 2100. Pour un climat futur, il faut enchaîner : un scénario d'évolution socio-économique (SRES) qui détermine les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, un modèle global de climat (Arpège, par exemple) et enfin, une méthode de descente d'échelle (figure 1).

Les modèles globaux découpent la surface du globe en grandes mailles (250 km<sup>2</sup>), peu adaptées à l'évaluation des impacts sur les écosystèmes à l'échelle du territoire national. C'est pourquoi on procède à cette descente d'échelle à l'aide de méthodes complexes, qui tiennent compte des cohérences entre variables du climat et des configurations atmosphériques. Ces méthodes font encore l'objet de recherches dans la communauté du climat. À ce jour, elles sont plus performantes pour représenter la température que pour la pluviométrie. L'enchaînement : scénario SRES + modèle de climat + méthode de descente d'échelle, permet des combinaisons très nombreuses, d'où l'existence d'une large gamme de possibles du climat futur.

Figure 1 – L'enchaînement des modèles.



## Les modèles d'impact

Les modèles d'impact sont des modèles de niche (basés sur la répartition actuelle des espèces), modèles reproduisant des mécanismes écophysiologiques, qui sont des représentations de processus comme la phénologie, la productivité, les cycles d'eau et de carbone, la démographie... Ils permettent d'évaluer la sensibilité des processus simulés aux forçages climatiques, issus des scénarios climatiques.

Pour la première fois, les projets ont cherché à décomposer les incertitudes associées à chaque étape de l'enchaînement complet (depuis le scénario jusqu'au modèle d'impact). Le projet Climator traitait l'ensemble de la chaîne, tandis que le projet QDiv se focalisait spécifiquement sur les divergences liées aux modèles d'impacts. Ainsi, QDiv a montré que :

- les modèles de niches représentent mieux la distribution actuelle des essences ;
- en climat modifié, la prise en compte de processus supplémentaires de certains modèles écophysiologiques, comme l'effet complexe du CO<sub>2</sub> sur les échanges gazeux, produit une atténuation de la sévérité des impacts.

---

## ÉVOLUTION DES CONTRAINTES POUR LES ARBRES

---

L'évolution de la forêt est très étroitement liée à celle du climat. En effet, contrairement à d'autres systèmes, la forêt doit subir le climat ou s'adapter aux nouvelles contraintes.

---

\* Capacité du couvert à fonctionner sans fermeture stomatique liée à un stress hydrique.

## ÉVOLUTION DU CLIMAT

Les recherches sur l'impact du changement climatique utilisent des sorties de modèles climatiques fournis par les climatologues et sur les scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (SRES) du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Le sens de variation des tendances climatiques fait aujourd'hui consensus : on va vers des conditions bien moins favorables qu'actuellement pour la croissance des arbres et une accélération du processus est déjà perceptible. Seuls l'ampleur, les contours géographiques et la vitesse de ces évolutions restent encore sujets à incertitudes. En ce qui concerne les variables d'importance pour la forêt, la température augmente du sud-ouest vers le nord-est et deux zones de faible pluviométrie se développent dans le sud-ouest et dans le centre-ouest. Les chercheurs mettent aussi en garde sur l'augmentation de la variabilité climatique interannuelle, l'occurrence d'événements extrêmes et la récurrence des épisodes de sécheresse.

Dans Climator, les simulations réalisées indiquent une augmentation progressive du stress hydrique – lorsque la demande en eau dépasse les ressources disponibles –, plus intense pour les conifères à feuillage dense (de type sapin ou douglas), en particulier dans la partie sud-ouest de la France et en remontant sur le nord-est. Elles indiquent également que l'augmentation des besoins en eau des arbres due à l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle, restituera moins d'eau au milieu, et avec une forte variabilité interannuelle. Par ailleurs, les modèles convergent tous vers une diminution du confort hydrique\* des arbres dans le futur, qui se manifeste de manière similaire pour les différentes essences étudiées (feuillues comme résineuses), impactant négativement la croissance. Pour les pins, par exemple, le

rendement est essentiellement piloté par cette variable et diminue avec elle. Ainsi, pour le pin maritime, étudié dans Climator, une baisse de productivité est prévue dès 2050 et s'accroît à long terme. Les travaux de QDiv, quant à eux, mettent en évidence que pour les feuillus tels que le hêtre, l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui a eu, jusqu'à présent, un effet positif sur la croissance, ne sera pas maintenu à terme en raison du manque d'eau. Les marges de manœuvre testées dans Climator (itinéraires sylvicoles, durée de rotation, choix de sol en fonction de la réserve utile) peuvent contribuer à atténuer les effets de changements du climat, mais resteront largement insuffisantes, eut égard à la sévérité des modifications de confort hydrique en futur lointain. Si ces atténuations s'avéraient en effet insuffisantes, il faudra tenir compte de la réduction de production ; l'adaptation pourrait consister aussi à substituer les essences en place par d'autres espèces plus tolérantes à la sécheresse.

---

## ÉLÉMENTS D'UNE CARTOGRAPHIE FUTURE DES ESSENCES

---

Les simulations réalisées dans le cadre des projets permettent de dessiner des tendances d'évolution des aires climatiques potentielles des essences\* (à bien distinguer donc d'une « prédiction »).

### Hêtre

Les résultats de Climator convergent vers la régression de la niche climatique potentielle du hêtre dès 2050, dans la partie sud-ouest et une remontée vers le nord-est des probabilités de présence (scénarios A1B, B1 et A2). Dans QDiv, les modèles projettent une contraction de l'aire poten-

tielle du hêtre en plaine en France après 2050 (A1B). Pour les modèles mécanistes (qui prennent en compte les effets compensateurs de l'augmentation de CO<sub>2</sub> atmosphérique), cette régression est modérée et elle s'accompagne d'une augmentation de la productivité dans le nord et en montagne.

### Pin sylvestre

La distribution de cette essence, étudiée dans QDiv, est actuellement difficile à modéliser, probablement en partie à cause de son implantation en dehors de son aire de répartition naturelle. Les modèles sont, en revanche, beaucoup plus cohérents que pour le hêtre : ils s'accordent vers une régression importante de la limite de l'aire en plaine et un climat qui devient défavorable pour l'essence d'ici 2050 pour le nord-ouest (scénario A1B). Quant à sa productivité, elle diminue à l'ouest.

### Chêne vert

Tant dans Climator que dans QDiv, les modèles convergent dans le sens d'une extension du climat favorable en France à cette essence. Il est important de préciser, cependant, que ces résultats ne sont pas une prévision de l'aire de répartition future, les simulations ne prenant pas ou qu'imparfaitement en compte la migration de l'espèce.

### Groupement d'espèces

Le projet Climator met en évidence à l'horizon 2100 et pour trois scénarios (de B1,

---

\* La lecture des résultats doit tenir compte du fait que plusieurs modèles utilisés dans QDiv sont très sensibles aux températures car tous ne calculent pas explicitement le bilan hydrique. Leur réponse est dans ce cas plus directement pilotée par le réchauffement que par les sécheresses.

## CLIMATOR – ÉLABORATION D'OUTILS DE RÉFÉRENCE POUR L'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DES AGRO-ÉCOSYSTÈMES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (2007-2010)

Coordinatrice : Nadine Brison †, Inra-Agroclim

### Objectif du projet

Améliorer la compréhension des impacts du changement climatique à venir sur l'agriculture et la forêt françaises. Préciser les incertitudes liées à l'utilisation des scénarios climatiques et des modèles d'impact. Croiser des modèles climatiques et des modèles agronomiques et forestiers pour simuler le fonctionnement de peuplements cultivés sous climat modifié.

### Méthodologie

L'approche utilisée a consisté à prospecter, à travers un ensemble de projections climatiques, les champs possibles d'évolution future des systèmes et à évaluer leurs impacts sur les rendements, les besoins en eau, et les évolutions de probabilité de présence de certaines espèces. Pour la forêt, le projet a mobilisé trois modèles d'impact : BILJOU©, pour les besoins en eau de couverts feuillus décidus, conifères à fort indice foliaire, GRAECO, modèle fonctionnel de productivité intégrant la gestion sylvicole pour le pin maritime avec sous-étage herbacé et EVOLFOR, modèle de niche basé sur les probabilités de présence des essences. Cinq types de sols de réserve utile contrastée ont été paramétrés. En entrée des modèles d'impact, le climat, analysé sur trois fenêtres temporelles (passé récent, futur proche et futur lointain), croise deux scénarios d'émission et trois méthodes de descente d'échelle du climat déclinées sur les douze sites métropolitains du projet.

### Résultats majeurs

La démarche mise en œuvre a permis d'analyser, quantifier et hiérarchiser les sources d'incertitudes autour des impacts. La modélisation des niches climatiques potentielles a confirmé

la régression de l'aire climatique potentielle des essences montagnardes ou l'extension de celle des essences méditerranéennes. L'analyse a aussi montré que l'augmentation de l'intensité et de la précocité des déficits hydriques constitue la principale contrainte sur les peuplements forestiers, non compensée par l'augmentation de température ou de teneur en CO atmosphérique. Les propriétés des sols n'atténuent que partiellement l'impact de la réduction de pluviométrie et de l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle. Ainsi, les divers scénarios climatiques testés ont montré des effets adverses sur la productivité du pin maritime, quelle que soit la région étudiée, notables dès le futur proche et amplifiés au futur lointain. L'analyse des sources d'incertitude climatique démontre pour la première fois que les divergences dans l'amplitude des impacts selon les méthodes de régionalisation sont plus importantes que le scénario d'émission retenu.

### Pour en savoir plus

- Livre vert du projet CLIMATOR, édité en 2010 par Nadine Brisson et Frédéric Levraut et publié par l'Ademe. Il est disponible, contre simple remboursement des frais d'envoi, en s'adressant à la Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes ou disponible auprès de l'Ademe ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)).
- Cours en ligne destiné à l'enseignement, disponibles sur le site du projet.



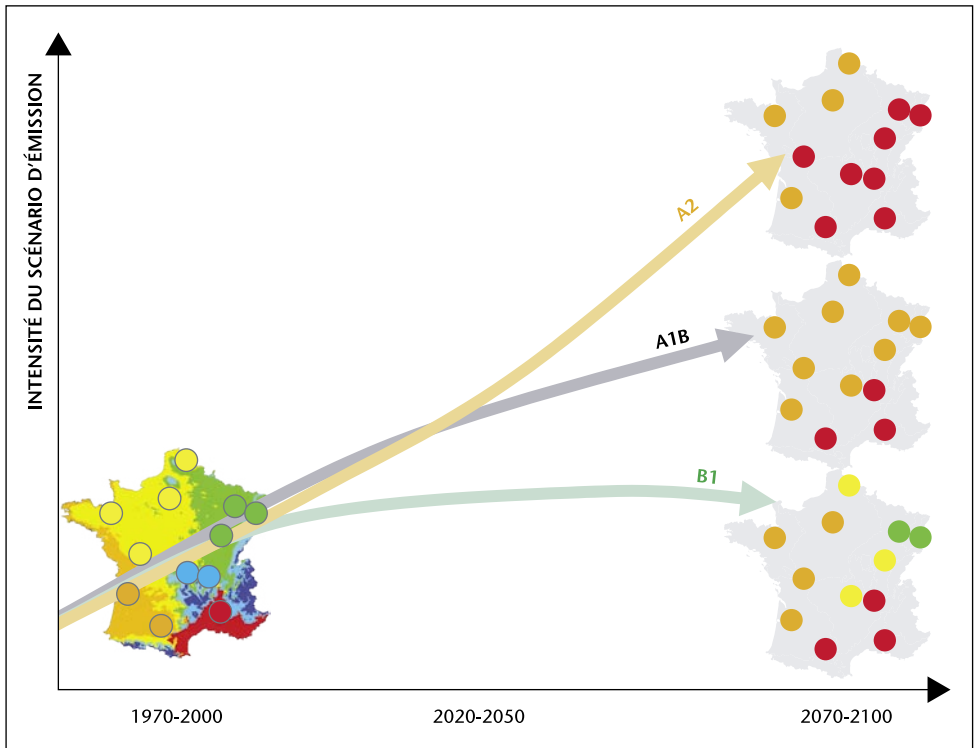
le plus optimiste à A2, le plus pessimiste) (figure 2) :

1. Une progression vers le nord de l'aire climatique favorable aux espèces du sud-ouest (ronds oranges), quels que soient le modèle climatique et le scénario SRES utilisé.
2. Une progression vers le nord de l'aire favorable aux espèces méditerranéennes (ronds rouges).
3. Une incertitude sur l'évolution du climat du nord-est, les résultats selon les scénarios testés étant très différents.

## CARACTÉRISATION DES FACTEURS DE VULNÉRABILITÉ

La vulnérabilité d'un système représente son incapacité à faire face à une perturbation ou à un stress. C'est une notion qui se définit par rapport à des seuils, des témoins ou des références. À partir d'études de cas de dépérissement apparus depuis 2003, le projet Dryade a permis de dater et de quantifier l'intensité des aléas de type sécheresse ou attaque de ravageurs, puis

Figure 2 – Incertitude climatique liée aux scénarios d'émission des gaz à effet de serre et évolution des biomes (source : projet de recherche ANR Climator, schéma présenté par Alexandre BOSCH [Inra] au colloque « Que nous apprend la recherche sur la vulnérabilité des forêts au changement climatique » [Paris, novembre 2011]).



## QDIV – LES EFFETS DES CHANGEMENTS GLOBAUX SUR LA DIVERSITÉ VÉGÉTALE ET LA RÉPARTITION SPATIALE DES PLANTES (2006-2009)

Coordinateur : Paul Leadley, Laboratoire ESE, Université Paris-Sud/CNRS/AgroParisTech, Orsay

### Objectif du projet

Comparer une large gamme de modèles, allant des modèles de niche aux modèles mécanistes de croissance des arbres et analyser les incertitudes associées.

### Méthodologie

Le projet a consisté à utiliser des bases de données nationales communes (données et scénarios climatiques régionalisés [8 km – méthode par type de temps], présence des essences - IFN, cartes de sols - Inra), pour paramétrer plusieurs modèles d'impact : BIOMOD, NANCY-NBM et STASH (modèles de niche), PHENOFIT (modèle de phénologie), Orchidée, IBIS et LPJ-Guess (modèle de dynamique de végétation), CASTANEA (modèle de croissance). Les impacts des évolutions du climat ont ensuite été évalués pour quelques essences majeures françaises : *Quercus robur*, *Quercus petraea*, *Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Quercus ilex*, plus des groupes fonctionnels de plantes.

### Résultats majeurs

Pour l'ensemble des essences étudiées, les modèles de niche reproduisent mieux la répartition actuelle que les modèles mécanistes. Dans le cas du hêtre, l'étude montre que :

1. En moyenne, les modèles prévoient une régression importante du hêtre en plaine d'ici 2055.
2. Mais il existe des différences très importantes entre les modèles dans l'étendue de cette régression. Dans le cas du hêtre, les effets de l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmos-

phérique expliquent une partie importante des différences entre les modèles qui ne tiennent pas tous compte de ses effets sur la photosynthèse et l'évapotranspiration. Les résultats pour les autres essences de climat tempéré sont similaires : une forte régression en plaine, avec parfois une cohérence très forte dans les prévisions des modèles (pin sylvestre) et parfois des différences marquées (chêne pédonculé et chêne sessile). Pour le chêne vert, l'ensemble des modèles illustre l'opportunité d'extension potentielle très importante vers le nord de la France.

En conclusion, l'ensemble des modèles suggère que le risque climatique pour les essences de climat tempéré des plaines de France est élevé. Ce projet visait donc à quantifier les incertitudes liées à nos capacités d'intégration dans des modèles et recommande de développer des approches multi-modèles avant toute déclinaison de plans d'action.



d'identifier des facteurs de vulnérabilité de quelques essences.

### **Facteurs édaphiques**

Tous les paramètres, qui limitent la réserve en eau du sol, constituent des facteurs de vulnérabilité à la sécheresse : charge en éléments grossiers, texture à faible rétention en eau, contrainte physique, chimique ou hydrodynamique limitant la profondeur de l'enracinement... Les sols à forte réserve permettent d'atténuer l'intensité et la durée de la période de déficit en eau, et donc limitent les impacts. Mais dans le Mont Ventoux, il a été constaté sur des sols superficiels avec forte charge en éléments grossiers, un phénomène d'acclimatation locale des sapins, probablement grâce à un ajustement entre les surfaces foliaires, racinaires et d'aubier. Le projet Drought + confirme cette hypothèse en mettant en évidence la capacité du chêne vert et du pin d'Alep à développer des adaptations en situation d'exclusion de pluie, par réduction de leur surface foliaire, diminuant ainsi leur transpiration. À l'inverse, il a été observé sur des peuplements de douglas, ayant un bilan hydrique habituellement favorable, des réductions de croissance, voire des mortalités, lors de succession de deux sécheresses extrêmes face auxquelles ils n'étaient pas préparés, les arbres n'ont pas eu le temps d'ajuster ces équilibres fonctionnels. Enfin, la richesse trophique des sols et en particulier leur teneur en azote a été déterminante dans la récupération de croissance des douglas après crise.

### **Facteurs sylvicoles**

L'âge constitue un facteur de vulnérabilité : la croissance des vieux arbres est souvent plus affectée par les sécheresses. Ils présentent surtout une moins bonne récupération de leur croissance radiale. La gestion peut

aussi contribuer à rendre un peuplement plus vulnérable. Par exemple, il a été observé que, beaucoup de mortalités chez le douglas sont survenues à la suite de sécheresses dans les peuplements en retard d'éclaircie, avec les densités bien plus élevées que celles préconisées par les normes de sylviculture.

### **Facteurs individuels**

Il a été constaté chez le sapin et le hêtre que les individus ayant présenté une croissance plus élevée au jeune âge étaient parmi les plus vulnérables en cas de sécheresses extrêmes et récurrentes. Par ailleurs, l'analyse de tests de comparaison de provenances de douglas a mis en évidence une meilleure récupération de croissance après la sécheresse pour des provenances qui avaient été déconseillées car moins performantes. Cela conduit à s'interroger sur les critères de sélection utilisés jusqu'ici, et à réfléchir à de nouveaux compromis entre tolérance à la sécheresse et performance de croissance. Dans le volet consacré à la diversité génétique des arbres (projet QDiv), des transplantations croisées le long des gradients altitudinaux ont mis en évidence des capacités d'adaptation aux conditions climatiques locales.

### **L'espèce**

La conjonction fréquemment constatée d'aléas biotiques et climatiques exacerbe les différences de vulnérabilité entre espèces. Chez les chênes, des différences physiologiques et phénologiques rendent le chêne pédonculé plus vulnérable que le sessile, face aux sécheresses, mais aussi aux aléas biotiques (infection par l'oïdium, chenilles défoliatrices). Il a ainsi été démontré que les chenilles processionnaires atteignent leur développement plus rapidement en ingérant une même surface de feuilles de pédonculé.

## DROUGHT+ – LES ÉCOSYSTÈMES MÉDITERRANÉENS ET L'ACCROISSEMENT DES SÉCHERESSES : ÉVALUATION DE LEUR VULNÉRABILITÉ (2007-2011)

Coordinateur : Serge Rambal et Laurent Misson †, CEFE CNRS Montpellier

### Objectif du projet

Estimer les conséquences de la diminution des précipitations sur les flux d'eau et de carbone de deux écosystèmes méditerranéens emblématiques : un taillis de chênes verts et une pinède de pins d'Alep. Observer si la plasticité phénotypique permet aux arbres une certaine compensation des effets de la diminution de la ressource en eau. Et enfin, déterminer si l'amplitude du changement attendu est de nature à accroître la vulnérabilité des individus à la sécheresse.

### Méthodologie

Choix de deux espèces dominantes ayant des réponses contrastées vis-à-vis de la contrainte hydrique : le chêne vert (*Quercus ilex*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*). Installation de deux sites instrumentés à long terme dans lesquels sont mises en place des expérimentations d'exclusion de pluie, totale ou partielle. Des placettes complémentaires couvrent des gradients de précipitations (du sec à l'humide). La réponse des arbres à l'imprévisibilité de la ressource en eau fait intervenir l'adaptation écotypique aux conditions climatiques locales et la plasticité phénotypique, c'est-à-dire la capacité pour un génotype donné à exprimer différents phénotypes selon les conditions environnementales. Les deux stratégies peuvent intervenir le long de gradients climatiques. En revanche, les manipulations de précipitations, qui concernent des échelles de temps plus courtes et s'appliquent à une végétation mature et localement adaptée, ne mettent en

évidence que les ajustements dus à la plasticité phénotypique.

### Résultats majeurs

Dans le cas de sécheresses sévères, les deux espèces modèles procèdent à des modifications architecturales leur permettant de réduire leur surface transpirante. Il a de plus été constaté une efficacité intrinsèque d'utilisation de l'eau qui augmente dans le cas de fortes exclusions de pluies. Ces deux processus naturels sont des moyens pour les arbres de réduire leur vulnérabilité. Au niveau des écosystèmes, les réponses sont plus complexes et non intuitives. Les changements peu significatifs que l'on observe sur la respiration de l'écosystème peuvent s'expliquer par les faibles changements du pool de carbone du sol, des activités microbiennes et des communautés ectomycorhiziennes. Les communautés ectomycorhiziennes sont modifiées vers des espèces plus résistantes à la sécheresse (basculement des fréquences mais pas de changement de diversité). Ces modifications sont susceptibles d'impacter à terme le cycle du phosphore, le cycle des nutriments et sans doute aussi les interactions hydriques entre la racine et les ectomycorhizes. En peuplement mélangé, des espèces soumises à une exclusion partielle des précipitations présentent des fonctionnements hydriques paradoxaux qui doivent encore être élucidés.

---

## UN AVENIR CLIMATIQUE INCERTAIN MAIS L'AMPLITUDE SUR LES IMPACTS MIEUX CERNÉE

---

Les projets présentés lors de ce colloque ont mobilisé les scénarios climatiques et les méthodologies de mise en œuvre parmi les plus abouties et disponibles au sein de la communauté des climatologues. Ils illustrent les tendances d'évolution consensuelles et permettent de pointer les sources d'incertitude les plus importantes. Elles concernent :

- les scénarios socio-économiques SRES. Ils ne donnent pas une évolution probable mais plusieurs trajectoires plausibles qui dépendent de l'attitude plus ou moins « vertueuse » des sociétés ;
- la compréhension du fonctionnement interne du climat, qui conditionne les descentes d'échelles du global vers le régional ;
- l'approche multi-modèle. Elle est tout à fait novatrice au sein de la communauté des impacts. Il s'agit d'une première étape, dans laquelle les différences de réponses entre modèles permettent de borner la gamme possible des impacts. Cette approche n'a pas vocation à classer les futurs possibles les plus probables ;
- les mesures d'adaptation elles-mêmes amènent aussi un lot d'incertitudes supplémentaires, car on peut difficilement anticiper leur nature, leur vitesse de mise en place et leur efficacité.

Une partie de ces incertitudes est réductible. Un retour sur les impacts avérés permettra, par exemple, l'évaluation des modèles. Les marges de progrès portent notamment sur notre capacité à représenter les processus pour les modèles climatiques ou biologiques (fonctionnement des systèmes, interaction

avec les pathogènes, dépérissement et mortalité, différence de comportement entre individus d'un même peuplement, gestion d'une succession de stress...) et en particulier certains phénomènes de compensation (génétique, effet du CO<sub>2</sub>, mycorhizes du sol, richesse trophique...).

Quoi qu'il en soit, certaines incertitudes resteront irréductibles. Mais il existe aussi des stratégies adaptées à cette réalité, sur lesquelles les connaissances doivent aussi progresser. Il importe donc d'être prudent dans ses choix de gestion.

---

### APPRENDRE À RAISONNER SES CHOIX DE GESTION DANS UN AVENIR INCERTAIN

---

Face à ces incertitudes sur l'avenir, le forestier n'a pas d'autre choix que de prévoir des actions flexibles, diversifiées ou sans regrets (favorables quelle que soit l'évolution). En fonction de sa perception du phénomène et des problèmes qu'il a déjà pu rencontrer, il pourra ainsi décider de ne rien faire (si sa propriété est peu vulnérable ou peu exposée aux aléas), de rester vigilant pour être en mesure de réagir rapidement, ou encore de mettre en place dès maintenant des mesures d'adaptation préventives. Il faut rappeler que l'incertitude a toujours fait partie des paramètres à prendre en compte dans la gestion forestière (prix des bois, dégâts de gibier ou de parasites, incendies...).

Dans tous les cas, penser qu'il existe des solutions universelles, simples, rapides et efficaces est illusoire. Au contraire, les mesures à prendre seront d'autant plus appropriées qu'elles seront adaptées non seulement aux climats actuel et futur, mais encore à la forêt (ce qui implique de

## DRYADE – COMPRENDRE LA VULNÉRABILITÉ DES FORÊTS AUX ALÉAS CLIMATIQUES ET BIOTIQUES (2007-2010)

Coordinatrice : Nathalie Bréda, Inra Nancy

### Objectif du projet

Comprendre et modéliser la vulnérabilité des forêts aux aléas climatiques et biotiques par une approche multi-échelles/multi-locales/pluridisciplinaire (écologie, écophysiologie, dendroécologie, génétique, pathologie, entomologie).

### Méthodologie

La vulnérabilité écophysiologique d'une vingtaine d'espèces à la sécheresse édaphique et atmosphérique a été analysée à partir d'une synthèse de la littérature internationale et non publiée. Les fonctions de réponse (régulations en phase liquide et vapeur, profils d'enracinements, relations hydriques...) ont été établies et standardisées (normes) pour être comparables entre études et entre espèces. La vulnérabilité de la croissance a été appréhendée soit par analyse du cerne produit en 2003 et mesuré largement en France par l'IFN, soit par analyse rétrospective de la croissance radiale (dendrochronologie) sur chênes sessile et pédonculé, hêtre, douglas, sapin pectiné. L'analyse des observations du Département de la Santé des Forêts ou des anomalies de comportement des couverts (télétection) ont permis de quantifier et localiser les aléas biotiques (maladie foliaire, ravageurs) et les impacts (signalements de dépérissement). Des fonctions de réponse au climat et aux sécheresses, quantifiées par calcul de bilan hydrique, ont été établies sur les croissances radiales, la texture des cernes ou encore les paramètres micro-densitométriques du bois. Des couples d'arbres vivants et morts ont été utilisés pour dégager les traits de vulnérabilité individuelle au sein des peuplements ou des massifs.

### Résultats majeurs

Les sécheresses récurrentes de 2003 à 2006 ont été les aléas déclenchant la perte de croissance durable et la dégradation sanitaire des arbres dans la plupart des couples essences x régions étudiées. La récurrence des sécheresses, plus que l'intensité et la durée de l'évènement extrême 2003, a provoqué une réduction durable de croissance, voire une impossibilité de récupération ayant entraîné la mort de certains individus. Les facteurs de vulnérabilité à l'échelle des peuplements sont les contraintes édaphiques à l'enracinement, les faibles réserves utiles des sols, la sylviculture peu dynamique, l'âge des arbres et parfois la richesse trophique. Les facteurs individuels de vulnérabilité sont liés à l'espèce (chêne pédonculé vs. sessile), la provenance (douglas), au statut et à la performance de croissance des arbres dans leur jeune âge (hêtre, sapin) ou au cours des années précédentes l'aléa (douglas). Cette vulnérabilité individuelle peut s'appréhender par la largeur du bois d'aubier, la croissance radiale (ancienne ou récente selon les espèces), la micro-densité du bois.

### Pour en savoir plus

*Guide de gestion de forêts en crise sanitaire* co-publié en 2010 par l'ONF, l'IDF, le Département de la santé des forêts (DSF) et la coordinatrice du programme DRYADE. Il est téléchargeable sur le site du réseau Aforce et en vente à l'IDF.



bien la connaître), avec ses vulnérabilités propres aux tendances, variabilités et aléas auxquels elle pourrait être confrontée. Le forestier saura donc d'autant mieux faire face à la nouvelle donne climatique, qu'il aura en sa possession un maximum d'éléments lui permettant d'agir en pleine conscience du risque encouru.

Pour réduire le risque climatique, deux pistes peuvent être mises en œuvre conjointement par le forestier :

1. Atténuer la sévérité des aléas en gérant les besoins en eau et en contrôlant les ravageurs.
2. Réduire la vulnérabilité des peuplements en étant rigoureux sur le diagnostic de son contexte pédo-climatique actuel et futur, et en évaluant si la sylviculture offrira une marge de manœuvre suffisante ou si des transformations avec substitution d'essence devront être envisagées à plus ou moins court terme.

Enfin, la surveillance des peuplements doit devenir un acte de gestion, permettant la détection précoce d'impacts.

Cependant, les résultats des projets et les incertitudes qu'ils mettent en évidence laissent penser qu'il convient de se préparer à rechercher de nouveaux compromis assurant l'avenir du peuplement sans trop altérer sa productivité, compromis pouvant privilégier des essences ou provenances plus résistantes mais à productivité plus faible, conserver les essences actuelles mais avec des itinéraires sylvicoles à indice foliaire réduit, ou encore transformer certains peuplements en place par d'autres essences.

Ce colloque a ainsi permis de présenter et discuter les résultats récents de la recherche en mesure d'éclairer actuellement les ges-

tionnaires. Les certitudes et les consensus ont été pointés, les incertitudes évaluées et hiérarchisées. Ces résultats sont à des niveaux de maturité différents. C'est le rôle du réseau AFORCE que d'appuyer la diffusion et l'explication des résultats de la recherche pour accélérer le transfert de l'information. Les groupes de travail mis en place par ce réseau en 2012 contribueront à les traduire en orientations d'action et en outils pour mieux préparer les peuplements face aux risques climatiques. ■

*Pour en savoir plus : [www.foretpriveefrancaise.com/colloque-vulnerabilite-313849.html](http://www.foretpriveefrancaise.com/colloque-vulnerabilite-313849.html)*

*Cet article est paru précédemment dans le numéro 209 (mars 2013) de Forêt-entreprise. Il est reproduit avec l'aimable autorisation de sa rédaction.*

CÉLINE PERRIER

[celine.perrier@cnpf.fr](mailto:celine.perrier@cnpf.fr)

OLIVIER PICARD

[olivier.picard@cnpf.fr](mailto:olivier.picard@cnpf.fr)

Institut pour le Développement  
forestier, CNPF

47 rue de Chaillot  
F-75116 Paris

NATHALIE BRÉDA

[breda@nancy.inra.fr](mailto:breda@nancy.inra.fr)

UMR Écologie et écophysiologie  
forestières, INRA

F-54280 Champenoux

JEAN-LUC PEYRON

[jean-luc.peyron@gip-ecofor.org](mailto:jean-luc.peyron@gip-ecofor.org)

GIP-ECOFOR

42, rue Scheffer  
F-75116 Paris