

# AFORCE

RMT Adaptation des forêts  
au changement climatique



## Colloque AFORCE 2019

Forêt et changement climatique :  
accompagner la décision d'adaptation  
*2 et 3 avril 2019, à Montpellier (France)*

Recueil de résumés



## Sommaire

Evolution du climat : quelles sont les tendances et perspectives pour la forêt ?	3	SESSION 3 – QUELLES PRATIQUES SYLVICOLES POUR L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?	12
Les impacts du changement climatique en forêt Pyrénéenne : l'Observatoire Pyrénéen du Changement climatique (CANOPÉE)	4	Etude dendroécologique sur le chêne sessile à partir de réseaux d'expérimentations sylvicoles à long terme (ADAREEX)	12
Perception et prise en compte du changement climatique par les forestiers (MACCLIF)	6	Effet de la réduction de la surface foliaire sur la sensibilité des arbres à la sécheresse. Approches empirique et fonctionnelle (REDSURF)	13
SESSION 1 – ETAT DE LA MOBILISATION DES FORESTIERS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	6	Changement climatique, quel avenir pour le douglas en Bourgogne ?	14
Panorama de la mobilisation régionale autour de l'adaptation des forêts au changement climatique : bilan de l'expertise thématique soutenue par le PEI-AGRI et le Réseau Rural National	7	Adapter les forêts du Haut-Languedoc aux changements climatiques : le projet LIFE FORECCAST	17
Présentation de quelques initiatives européennes sur l'adaptation au changement climatique et la gestion des risques impliquant l'EFI et des apports des travaux du PEI-AGRI via les Focus group	8	SESSION 4 – PRENDRE EN COMPTE LES RISQUES LIES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	18
SESSION 2 – MIEUX CHOISIR LES ESSENCES EN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE	9	Evaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation (MULTIRISKS)	18
Un réseau national multipartenaires d'évaluation de ressources génétiques forestières pour le futur (ESPERENSE)	9	Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection : exemple du châtaignier en Dordogne (CASTELDIAG)	19
S'approvisionner en graines de qualité pour tester de nouvelles essences (TREC)	10	Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine	20
Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques en Provence-Alpes-Côte d'Azur (SYLFORCLIM)	11	DEMONSTRATIONS D'OUTILS	21
		Prédiction spatiale des stations forestières dans le Nord-Ouest de la France (PRESTATION NO)	21
		LUBERON2, un outil de simulation pour l'évaluation des impacts génétiques des pratiques sylvicoles	23
		Outil d'aide en ligne aux choix des essences forestières (CARAVANE & IKSMAPS)	23

## **Evolution du climat : quelles sont les tendances et perspectives pour la forêt ?**

*Jérôme DUVERNOY (ONERC)*

Le constat du rapport spécial du GIEC consacré aux « impacts d'un réchauffement climatique global de 1,5°C » est sans équivoque. Il confirme que le climat mondial s'est déjà réchauffé d'1°C environ en moyenne par rapport à l'ère préindustrielle et décrit en détail les conséquences d'un réchauffement climatique de 1,5°C : recrudescence et intensification des événements climatiques extrêmes, hausse du niveau des mers, fonte des glaces, raréfaction des ressources en eau, diminution de la production agricole, accentuation des menaces sur la biodiversité terrestre et marine, atteintes à la santé, pertes économiques, accroissement de la pauvreté.

Le GIEC estime toutefois qu'il est encore possible de limiter cette hausse de la température à 1,5°C et d'en limiter les dégâts pour l'homme et son environnement, sous réserve de politiques publiques déterminées et d'investissements correctement orientés. Le rapport souligne que toutes les options permettant de ne pas dépasser une augmentation de 1,5°C nécessitent des transformations majeures, dans tous les secteurs de la société et dans le monde entier, et qu'il est essentiel de les mettre en œuvre rapidement.

En cohérence avec les objectifs de long terme de l'Accord de Paris et avec les objectifs pertinents des autres conventions internationales, la France devra s'adapter à la part de changement climatique que les émissions passées de gaz à effet de serre accumulées dans l'atmosphère rendent désormais inéluctable. L'hypothèse retenue est une hausse de la température moyenne mondiale de 2 °C par rapport à l'ère pré-industrielle même si la France agit sur le plan national et international pour limiter cette hausse à 1,5°C. La politique nationale d'adaptation constitue donc le complément essentiel de notre politique d'atténuation du changement climatique qui vise à atteindre la neutralité carbone. Elle vise également à éviter les contradictions des différentes actions d'adaptation entre elles et avec les actions de protection de l'environnement. Elle reconnaît la valeur de la biodiversité et des services

écosystémiques pour l'adaptation et recherche, partout où cela est possible, des synergies en privilégiant les solutions fondées sur la nature. Elle s'inscrit également dans le principe de la transition écologique et solidaire.

L'objectif général du Plan national d'adaptation au changement climatique 2018-2022 (PNACC-2) est de mettre en œuvre les actions nécessaires pour adapter, d'ici 2050, les territoires de la France métropolitaine et outre-mer aux changements climatiques régionaux attendus.

Dans le domaine forestier, ces actions devront assurer la cohérence entre le potentiel d'atténuation et d'adaptation des politiques de gestion ou de conservation forestières et celui de valorisation et de recyclage du bois et de la biomasse. Un des objectifs est par exemple de concourir à la réduction du risque d'incendies et à l'accroissement de la résilience face à ce risque, de manière à conserver le potentiel d'atténuation. La résilience de la forêt, face au changement climatique, est un enjeu à la fois environnemental, social et économique, qui vise à préserver les écosystèmes, la séquestration de carbone atmosphérique, la production de bois et les usages récréatifs de la forêt.

## **Les impacts du changement climatique en forêt Pyrénéenne : l'Observatoire Pyrénéen du Changement climatique (CANOPÉE)**

Sébastien CHAUVIN (FORESPIR)

La forêt occupe plus de la moitié de la surface des Pyrénées et fournit, tant au niveau local qu'au niveau régional, de nombreux biens et services.

Les changements climatiques peuvent entraver cette multifonctionnalité en entraînant des dépérissements dans les forêts de production ou de protection, des destructions d'espèces ou d'habitats remarquables, une détérioration du cadre paysager forestier...

Par conséquent, il devient de plus en plus évident que les gestionnaires forestiers des Pyrénées doivent anticiper ces changements en développant des outils communs pour améliorer la connaissance et la prise de décision dans la mise en œuvre d'actions d'adaptation sur le territoire.

Dans ce contexte, FORESPIR, le Centre National de la Propriété Forestière, l'Office National des Forêts, la Fondation HAZI Fundazioa, le Centre des Sciences et des Technologies Forestières de Catalogne, le Centre de la Propriété Forestière de Catalogne, l'Institut Pyrénéen d'Ecologie, le Gouvernement d'Aragon, l'entreprise publique de Gestion Environnementale de Navarre et l'Institut d'Etudes Andorran mettent en œuvre depuis 2016 le projet CANOPÉE « Changement Climatique et Adaptation des Forêts des Pyrénées » dans le cadre de l'Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique (<https://opcc-ctp.org/fr>).

Ce projet de coopération transfrontalière financé par l'Union Européenne (FEDER- INTERREG POCTEFA <https://www.poctefa.eu/fr/>), l'Etat français et la Région Occitanie « Pyrénées-Méditerranée » vise à :

### **Renforcer le suivi d'indicateurs d'impact du changement climatique sur les principales essences des Pyrénées.**

Dépendant exclusivement des conditions météorologiques, la phénologie est un reflet fidèle du climat annuel. Indicateur à court terme, il permet de

comparer annuellement les différences concernant les cycles biologiques de développement des espèces. Un suivi régulier du débourrement permet de juger de l'impact réel des conditions climatiques sur les arbres. Ce sont ainsi 53 placettes réparties dans les Pyrénées-Atlantiques, en Haute-Garonne, en Ariège, en Pyrénées-Orientales, en Catalogne, en Aragon, en Navarre, au Pays Basque et en Andorre qui sont suivies chaque année.

### **Développer un outil pour caractériser la vitalité des arbres du massif et leur vulnérabilité au dépérissement ;**

C'est ici la méthode ARCHI (qui vise à diagnostiquer les dynamiques de résilience des arbres en basant son analyse du dépérissement sur l'intégration de la notion de réversibilité d'un état de stress) qui a été déployée dans un cadre de coopération France/Espagne/Andorre. Ce sont ainsi 4 nouvelles clés ARCHI (*Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata*, *Pinus nigra*) et une application smartphone-tablette qui furent réalisées. Plusieurs formations de forestiers des Pyrénées sont venues conclure ce volet technique.

### **Cartographier les zones de vigilance (actuelle et future) des principales espèces forestières des Pyrénées selon les différents scénarios de changements climatiques ;**

Les études réalisées en France et en Espagne sur l'effet possible des changements climatiques sur la distribution potentielle future des essences ou sur leur vulnérabilité concernent le plus souvent les échelles nationales ou régionales ; les Pyrénées sont alors dans une situation de marge pour laquelle la validité des modèles est probablement moins bonne et les résultats moins pertinents et difficilement utilisables. Des cartes de Vigilance Climatique Actuelle ont ainsi été réalisées par modélisation statistique (lien entre répartition actuelle des peuplements où l'espèce est majoritaire et moyennes climatiques 1981-2010, selon les informations disponibles). Chaque carte de Vigilance Climatique Actuelle (VCA) propose une surveillance plus attentive là où l'espèce est en climat plus chaud ou plus sec que dans l'ensemble de son aire pyrénéenne. Des cartes de vigilances futures seront également produites sur la base des données générées dans le cadre du projet CLIMPY <https://opcc-ctp.org/fr/climpy> (scénarios régionalisés).

**Elaborer et mettre en œuvre des actions de gestion adaptatives pour minimiser les impacts attendus.**

Une série de parcelles pilotes représentatives de la diversité des forêts du massif des Pyrénées (potentiellement vulnérables aux effets du changement climatique et/ou présentant des signes de dépérissement actif) furent sélectionnées. Différents types d'actions de gestion forestière adaptative sont actuellement mises en œuvre afin de réduire la vulnérabilité de ces peuplements face au changement climatique. Les conséquences de ces opérations sur la ressource hydrique sont modélisées et un protocole de suivi est élaboré dans le but d'évaluer à moyen terme l'impact des traitements réalisés sur le développement des peuplements traités. Enfin, un manuel de bonnes pratiques forestières pour réduire la vulnérabilité des forêts du massif pyrénéen au changement climatique sera réalisé.

Plus d'information : <https://opcc-ctp.org/fr/canopee>

Contact : [sebastien.chauvin@forespir.com](mailto:sebastien.chauvin@forespir.com) – [raphael.delpi@forespir.com](mailto:raphael.delpi@forespir.com)

## SESSION 1 – Etat de la mobilisation des forestiers face au changement climatique

### Perception et prise en compte du changement climatique par les forestiers (MACCLIF)

*Annabelle AMM (GIP ECOFOR), Éric SEVRIN (CNPF-IDF) et Brigitte PILARD-LANDEAU (ONF)*

Le projet MACCLIF (2016-2019), piloté par le GIP Ecofor cherche à évaluer la perception et la prise en compte du changement climatique par les forestiers. L'originalité du projet a été de s'intéresser à la fois à la forêt publique et à la forêt privée à l'échelle de la France, de réaliser des enquêtes quantitatives et qualitatives auprès des forestiers et d'explorer la prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation et d'aménagement des forêts.

#### Perception du changement climatique par les forestiers :

Une enquête quantitative (web-questionnaire) à destination des professionnels a été conduite à l'échelle nationale. 922 web-questionnaires ont été complétés. Elle a été complétée par 74 entretiens semi-dirigés auprès de professionnels en régions Auvergne Rhône-Alpes et Centre – Val de Loire. Une enquête téléphonique a été conduite par le CREDOC<sup>1</sup> auprès de 960 propriétaires.

Les enquêtes quantitatives auprès des professionnels ou propriétaires convergent vers une forte prise de conscience du changement climatique. 93% des professionnels et 74% des propriétaires pensent que le climat est en train de changer. Parmi eux, 90% des professionnels et 85% des propriétaires pensent que ce changement est dû à l'action de l'Homme.

Les entretiens semi-dirigés confirment que professionnels sont très préoccupés par le changement climatique. Néanmoins, ils ont permis de faire ressortir les incertitudes que les professionnels perçoivent quant à l'intensité et la vitesse du réchauffement ou les mesures de gestion à mettre en place pour adapter les forêts.

Parmi les professionnels qui croient au changement climatique, 85% d'entre eux déclarent modifier leurs pratiques sylvicoles, alors que seulement 25% des propriétaires ont modifié ou envisagent de les modifier. La principale motivation des professionnels est l'observation des effets du changement climatique en forêt. L'incertitude autour du changement climatique est souvent évoquée par les professionnels en tant que raison pour ne pas s'adapter ou frein lors de la mise en œuvre d'actions d'adaptation. Les propriétaires pensent, quant à eux, encore avoir le temps pour s'adapter.

#### La prise en compte du changement climatique dans les documents d'orientation et d'aménagement des forêts

Les documents d'orientation de la forêt publique et de la forêt privée datent depuis plus de 10 ans. Il ressort de leur analyse, que la prise en compte du changement climatique est hétérogène à l'échelle nationale. Le vocabulaire associé au changement climatique dans ces documents révèle que ce dernier était perçu, lors de leur rédaction, essentiellement comme une menace (exemple de vocabulaire associé : dépérissements, attaque de pathogènes, stress hydrique). Environ 5% des aménagements des forêts publiques mentionnent clairement le changement climatique. Les plans simples de gestion des forêts privés ne mentionnent pas explicitement le changement climatique bien que certaines mesures telles que des rotations plus courtes puissent être adoptées pour parer les impacts du changement climatique.

---

<sup>1</sup> CREDOC : Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie

## Panorama de la mobilisation régionale autour de l'adaptation des forêts au changement climatique : bilan de l'expertise thématique soutenue par le PEI-AGRI et le Réseau Rural National

Benjamin CHAPELET (CNPFF) et Jean CROISEL (Conseil régional Bourgogne Franche Comté)

Le réseau AFORCE a été missionné (mai 2017 à décembre 2018) par le MAA via le CNPF pour réaliser une expertise thématique « forêt, changement climatique et innovation ». Cette mission, menée dans le cadre de l'animation du Partenariat européen pour l'innovation (PEI-AGRI) qui est pilotée par le Réseau Rural National français, résulte de plusieurs initiatives engagées à différents niveaux :

- La mise en œuvre par le Réseau rural du PEI-AGRI dans le cadre de la stratégie Europe 2014-2020.
- La mobilisation dès 2015 d'un collectif de 11 acteurs forestiers nationaux, initiée par le CNPF et le MAA, en faveur d'une meilleure intégration des enjeux forestiers dans le PEI-AGRI.
- La création d'un Focus group n°24 du PEI-AGRI sur ce même thème « Forêt et changement climatique ».

Pour ce faire, un **1er groupe de travail** a été mis en place avec les principaux acteurs forestiers nationaux, dont la plupart sont également membres du réseau AFORCE, afin de cadrer l'organisation des ateliers d'échanges en région. Chaque atelier a ainsi été organisé en collaboration avec les Conseils régionaux, les DRAAF et les correspondants du réseau AFORCE, ce qui a permis d'affiner la liste des acteurs forestiers locaux à associer. Un **2e groupe de travail** composé d'acteurs forestiers européens avait pour objectif de mettre en perspective cette expertise thématique avec les démarches et travaux similaires à l'échelle européenne.

C'est ainsi que **6 ateliers d'échanges organisés en région** autour de la thématique. Ils ont réuni 127 participants parmi plus de 400 acteurs régionaux identifiés et ont permis de :

- Recenser les projets et initiatives existants, ainsi que les autres événements traitant de la thématique ;
- Favoriser le partage d'informations et les synergies sur le thème entre une large palette d'acteurs et décideurs au niveau régional, national et européen ;
- Identifier sur ce thème les besoins en innovation des acteurs locaux et les capacités des acteurs de la recherche à y répondre ;
- Aider les autorités régionales et les porteurs de projet à avoir une vision globale, cohérente et structurée des actions possibles ;
- Donner l'impulsion à de nouveaux projets notamment via les Groupes Opérationnels du PEI-AGRI ;
- Faire connaître le réseau AFORCE en tant que réseau national pouvant fédérer l'ensemble des démarches sur ce thème.

Les échanges très riches au sein de ces ateliers ont permis d'identifier différents **thèmes forestiers jugés prioritaires** par les acteurs mobilisés :

- Gestion des risques
- Equilibre sylvo-cynégétique comme préalable à toute action forestière
- Adaptation au changement climatique
  - o Organisation de l'observation des évolutions et des impacts (vigilance)
  - o Expérimentation de nouvelles espèces et de nouvelles sylvicultures
  - o Renforcement du diagnostic stationnel et sylvicole
  - o Accompagnement pour le renouvellement forestier et l'exploitation
- Promouvoir le rôle des forêts dans l'atténuation du changement climatique
- Formation, enseignement technique et supérieur
- Communication

Il ressort de ces 6 ateliers interrégionaux que les acteurs forestiers sont en attente de davantage d'échanges et de partage autour des problématiques qui



les concernent au sein même de leur région mais également avec les régions voisines. Le réseau AFORCE a proposé à l'issue de ces ateliers de mettre à disposition des pages dédiées à chaque région sur son site Internet pour promouvoir les actions menées localement. Cependant, faire connaître ne suffit pas. La mise en place d'une animation thématique régionale, en cohérence avec l'action nationale pourrait, en complément, donner l'impulsion à de nouveaux projets multipartenaires et interrégionaux autour de l'adaptation des forêts au changement climatique, axés sur les priorités et en cohérence avec les enjeux nationaux et régionaux. Ces ateliers ont permis d'en poser les premiers jalons. Le réseau AFORCE doit à présent s'appuyer sur ces conclusions pour construire en conséquence son programme 2020-2025.

**Pour en savoir plus :**

- L'expertise thématique >>> <https://www.reseau-aforce.fr/n/reseau-rural-francais/n:3389>
- Les ateliers d'échange en région >>> <https://www.reseau-aforce.fr/n/ateliers-d-echange-en-region/n:3243>
- Les initiatives régionales >>> <https://www.reseau-aforce.fr/n/aforce-en-region/n:3427>
- Le PEI-AGRI forestier >>> <https://www.reseau-aforce.fr/n/parteneriat-europeen-pour-l-innovation/n:3390>

## **Présentation de quelques initiatives européennes sur l'adaptation au changement climatique et la gestion des risques impliquant l'EFI et des apports des travaux du PEI-AGRI via les Focus group**

*Christophe ORAZIO (EFIPLANT), Olivier PICARD (CNPF, Coordinateur du RMT AFORCE) et Pacôme ELOUNA-EYENGA (EIP-AGRI)*

Cette intervention a pour but de présenter les initiatives en cours au niveau européen relatives aux conséquences du changement climatique sur les forêts. Dans un premier temps sera présenté le rôle du service point AGRI et les premières conclusions du focus group sur l'adaptation des forêts au changement climatique qui a regroupé 20 experts afin de structurer et

produire des recommandations pour la création de Groupes opérationnels, ainsi que des sujets de recherche qui paraissent utiles à développer. Cette feuille de route sera la base d'appels à projets dans le prochain programme cadre pour la recherche européenne.

Dans un deuxième temps, des projets européens directement liés à l'adaptation au changement climatique et à la gestion des risques induits seront introduits. Un aperçu du projet en préparation de réseau thématique prè-ACT visant à faciliter les échanges d'experts et de bonnes pratiques sera évoqué, ainsi que le projet PLURIFOR pour la création et l'amélioration des plans de gestion des risques forestiers transfrontaliers. Ce projet a permis, en particulier en France, la mise au point d'outils de cartographie de la vulnérabilité au risque tempête, l'ajustement des stratégies de gestion du risque nématode du pin, et la mise en place d'un plan pour les risques biotiques émergents. Une rapide démonstration de l'application smartphone SYLVALERT pour le signalement des risques en forêt sera faite. Un aperçu des analyses multicritères telles que conçues dans le cadre du projet FORRISK sera l'occasion d'évoquer les différentes composantes de la notion de risque.

Enfin les premiers résultats obtenus sur les jeunes arbres de 6 ans du réseau d'arboretum REINFFORCE disposés selon un gradient climatique allant du nord de l'Angleterre au Portugal seront présentés. Un aperçu des modèles obtenus grâce à ce gradient permettant de catégoriser les essences en fonction de leur comportement face à la sécheresse ou à l'augmentation de température sera présenté et l'application de ces modèles pour estimer le risque induit sous les futurs climats de la zone océanique sera expliquée.



## SESSION 2 – Mieux choisir les essences en contexte de changement climatique

### Un réseau national multipartenaires d'évaluation de ressources génétiques forestières pour le futur (ESPERENSE)

Hedi Kebli (CNPF-IDF)

Les différents scénarios climatiques produits par le GIEC font craindre un déclin de la productivité de la forêt française. La trajectoire climatique prise ces dernières années, l'ampleur des impacts et la durée de rotation des essences impliquent une réaction rapide et appropriée des gestionnaires forestiers. Notre savoir-faire et nos méthodes sylvicoles ne vont pas suffire pour maintenir des peuplements productifs. Il est donc devenu crucial d'anticiper en proposant dès aujourd'hui des options d'adaptation raisonnées et innovantes s'appuyant sur les connaissances existantes.

Les dernières avancées de la recherche ont mis en évidence une vulnérabilité des principales essences forestières françaises vis-à-vis des changements climatiques globaux. Les gestionnaires sont particulièrement conscients de ces enjeux et de l'importance que revêt le choix des essences à planter ou favoriser. Néanmoins, ils se sentent particulièrement désarmés pour prendre seuls de telles décisions lourdes de conséquences sur l'avenir de la filière forestière. Ils sont en attente de recommandations pour la conduite et le renouvellement de leurs peuplements forestiers. Il devient urgent de pouvoir leur proposer des options.

La mise en place de réseaux pluridisciplinaires d'acteurs constitue une solution efficace pour répondre à de tels enjeux d'adaptation de la forêt face aux changements climatiques attendus. Par ailleurs, la mise en commun des moyens provenant à la fois des organismes de recherche, de R&D publics et privés et des gestionnaires est une option efficace pour répondre à des problématiques nationales complexes. Le projet ESPERENSE s'appuie sur une mise en commun comparable pour initier un réseau d'expérimentations multipartenaires afin d'évaluer de nouvelles ressources génétiques forestières pour le futur. Il bénéficie d'un soutien financier du ministère en charge de l'Agriculture dans le cadre de l'appel à projets national 2016-2017 « Innovation et investissements pour l'amont forestier » financé par le Fonds stratégique de

la forêt et du bois (FSFB). Il est animé par le RMT AFORCE et regroupe 6 partenaires (CNPF, EPIPLANT, FCBA, INRA, IRSTEA et ONF). Sont également invités aux échanges les CETEF, le DSF, la FNCOFOR, FRANSYLVA, le GIE Semences forestières, l'IGN, les pépinières privées, la SFCDC et l'UCFF. Ce projet a pour finalité la mise en place d'un réseau de placettes dont le suivi permettra d'améliorer, à terme, les connaissances sur le comportement de nouvelles essences et provenances dans différents contextes de stations forestières. Ce préalable est indispensable pour identifier les essences de substitution potentielles aux essences vulnérables en place sur le territoire. A l'issue du projet, un schéma de ce réseau accompagné d'éléments méthodologiques (liste d'espèces, protocole d'installation, etc.) sera fourni pour permettre sa mise en œuvre progressive sur le territoire. Une analyse en serre est également menée dans le cadre du projet pour étudier les effets d'un stress hydrique dans le jeune âge. En effet, pour comprendre la résilience des espèces face aux changements climatiques, des mesures de croissance et de mortalité en tests *in situ* seulement ne sont pas suffisants. Le fonctionnement physiologique sous contrainte doit aussi être pris en compte.

Les acteurs du projet souhaitent ainsi s'engager dans un partenariat durable autour de l'expérimentation de nouvelles essences et provenances, ainsi que pour le partage d'expériences au-delà de la durée de ce projet. Pour cela, une réflexion est menée 1/ pour la mise en place d'un consortium de partenaires acteurs de l'expérimentation française pour le test de nouvelles essences, et 2/ pour la mise en place d'une infrastructure nationale interopérable de bases de données. La fédération des forces et des moyens permettra la mise en place d'un réseau d'expérimentations solide et durable. Il sera en cohérence avec le patrimoine d'expérimentations déjà existant et pourra s'intégrer dans la liste des réseaux interagissant avec IN-SYLVA France. Cette démarche collaborative impliquant chercheurs et gestionnaires permettra d'intégrer les initiatives au fur et à mesure de l'avancement du projet et d'assurer un retour d'expérience plus efficace et rapide auprès des expérimentateurs forestiers.

## S'approvisionner en graines de qualité pour tester de nouvelles essences (TREC)

Patrice BRAHIC (ONF) et Catherine DUCATILLION (INRA)

En modifiant les conditions de croissances de nos espèces autochtones, les changements climatiques risquent de mettre en difficulté les essences actuelles de production. Une possibilité pour adapter les forêts à ces changements est d'enrichir la palette des essences forestières. Pour tester des espèces potentiellement adaptées aux conditions climatiques futures, une des premières étapes est de se procurer des semences forestières de qualité. Des verrous restent à lever, tels que :

- L'approvisionnement en semences en quantité et qualité, d'origine connue et certifiée, pour les espèces issues de pays tiers,
- Les contraintes réglementaires et les règles phytosanitaires s'appliquant à leur commerce,
- Les méthodes de conservation et de germination des espèces dont la culture n'est pas ou peu connue.

Le projet est construit autour de ces questions. Livrables qui seront mis à disposition des expérimentateurs et pépiniéristes :

- Liste référençant les marchands fiables, proposant des semences de qualité et dont l'approvisionnement aura été testé, sélectionnés sur la base d'une grille de critères d'évaluation,
- Synthèse d'informations sur la réglementation qui s'applique à leur commerce,
- Protocoles de prétraitement et de germination.

Pour explorer au mieux l'ensemble des aspects de la problématique, vingt espèces ont été choisies, en s'approchant de la parité résineux / feuillus, en prenant en compte i) leur l'intérêt forestier indéniable, ii) la diversité des zones géographiques de provenance : Amérique du Nord (E-U), Amérique du Sud (Chili), Asie (Chine) et Europe (Hongrie et pays des Balkans), iii) leur approvisionnement qui peut être supposé : facile, moyennement facile, difficile, très difficile. Les espèces choisies présentent l'avantage de tester

et/ou d'identifier les fournisseurs parmi ces quatre zones géographiques avec une liste d'essences relativement restreinte. Ces 20 espèces sont les suivantes : *Abies cephalonica*, *Abies lowiana*, *Abies pinsapo*, *Calocedrus decurrens*, *Cunninghamia lanceolata*, *Nothofagus obliqua*, *Picea engelmannii*, *Picea omorika*, *Picea pungens*, *Pinus brutia*, *Pinus peuce*, *Pinus rigida*, *Alnus cordata*, *Fagus orientalis*, *Liquidambar orientalis*, *Populus yunnanensis*, *Quercus cerris*, *Quercus frainetto*, *Quercus vulcanica*, *Tilia cordata*,

Parmi celles-ci, les treize espèces ci-dessous ont fait l'objet de tests réels d'approvisionnement

*Abies cephalonica*, *Abies lowiana*, *Calocedrus decurrens*, *Cunninghamia lanceolata*, *Picea omorika*, *Pinus peuce*, *Pinus rigida*, *Fagus orientalis*, *Liquidambar orientalis*, *Nothofagus obliqua*, *Quercus canariensis*, *Quercus cerris* et *Quercus frainetto*

Une liste de fournisseurs fiables, proposant une ressource de qualité, a été établie. Pour cela, divers critères ont été analysés : accessibilité du catalogue ; réactivité ; délai d'envoi ; durée du transport ; documents fournis, qualité et précision des indications mentionnées ; certificat phytosanitaire ; qualité de l'emballage ; état du lot au déballage ; état sanitaire apparent ; comparaison du poids indiqué et réel ; pureté... La stabilité de l'offre du fournisseur a été également prise en compte.

Les essences dont l'approvisionnement a abouti, ont fait l'objet de divers tests de levée de dormance et de prégermination afin de proposer le protocole le plus adapté. Trois à quatre protocoles ont été expérimentés par espèce.

## Forêts méditerranéennes et alpines face aux changements climatiques en Provence-Alpes-Côte d'Azur (SYLFORCLIM)

Pauline MARTY (CNPFF-CRPF PACA) et Michel VENNETIER (IRSTEA)

L'étude par Météo-France de l'évolution du climat sur les 50 dernières années révèle que Provence-Alpes-Côte d'Azur est la région de France la plus touchée par ces changements (Gibelin A., Météo France, 2015). Le pin sylvestre est la première essence de la région en termes de superficie (250 000ha). Elle est fortement impactée par les sécheresses à répétition des années 2000 (A. Thabeet, 2008 Lelou D., 2010, Thauvin G. 2011). Les enjeux pour la filière bois sont donc forts sans compter les effets sur la biodiversité, la multifonctionnalité et le risque incendie qui serait accru.

Les objectifs qui ont été réalisés dans le projet Sylforclim sont :

1. Cartographier la sensibilité aux changements climatiques pour le pin sylvestre avec l'outil BIOCLIMSOL
2. Estimer les facteurs de compensation ou d'aggravation du climat (sol, topographie...)
3. Mieux cerner l'impact du climat et de ses évolutions sur la croissance radiale du pin sylvestre à partir d'une étude dendroécologique
4. Proposer des recommandations sylvicoles en vue de limiter le risque de dépérissement

Le projet, financé par le RMT Aforce et la DRAAF PACA, a été piloté par le CRPF PACA et mené en partenariat avec l'IRSTEA et l'IDF. Des réunions de comité technique associèrent le DSF, l'ONF, le RMT, l'INRA, la DRAAF, la DREAL, la Région PACA, l'association Forêt Méditerranéenne et les gestionnaires forestiers.

Des relevés de terrain ont été réalisés sur 90 placettes. Les résultats mettent notamment en avant le fort taux de défoliation du pin sylvestre (48% en

moyenne). Ce taux est plus élevé en versant chaud, à basse altitude et en haut de versant. Mais même dans les conditions les plus favorables, il est supérieur à 40%.

Les deux variables prépondérantes dans le modèle explicatif du dépérissement sont des variables biotiques : le gui et la chenille processionnaire avec des poids relatifs de 56% et 33%. L'indice topoédaphique (qui synthétise les caractéristiques de la station) pèse à 23%.

Par ailleurs, il a été montré que le taux de gui est déterminé par des variables climatiques. Là où le pin sylvestre est soumis à un fort déficit hydrique (édaphique et/ou climatique) et de fortes températures, la probabilité de rencontrer des arbres gûtés est beaucoup plus élevée.

L'analyse des cernes a démontré que les attaques de chenilles sont récurrentes sur certains sites. Ceci a un effet fort, répété et durable sur la productivité des peuplements concernés. Plus les accidents climatiques deviennent fréquents, plus la probabilité d'addition des deux phénomènes (stress climatique et pullulation de chenilles) devient forte. Ainsi le risque de dépérissement devient plus fort.

Les outils produits dans le cadre du projet Sylforclim sont :

- une carte de vigilance climatique qui définit le risque de dépérissement du pin sylvestre ;
- un indice incluant le climat et à la station (indice Climat sol) ;
- une clé d'aide à la décision avec des recommandations de gestion.

## SESSION 3 – Quelles pratiques sylvicoles pour l'adaptation au changement climatique ?

### Etude dendroécologique sur le chêne sessile à partir de réseaux d'expérimentations sylvicoles à long terme (ADAREEX)

*François LEBOURGEOIS<sup>1</sup> en collaboration avec Anna SCHMITT<sup>1</sup>, Raphaël TROUVE<sup>2</sup>, Claudine RICHTER<sup>3</sup> et Ingrid SEYNAVE<sup>1</sup>*

Le contrôle de la densité est souvent évoqué comme une stratégie pour moduler la réponse des arbres au climat (particulièrement à la sécheresse) et pour pallier aux effets des changements climatiques sur la croissance des peuplements. Comme la réponse des arbres dépend fortement de la disponibilité locale en eau et de leur position sociale dans le peuplement, nous avons analysé les effets couplés de la densité des peuplements, du statut social et du bilan hydrique sur la réponse du chêne sessile (*Quercus petraea*) au climat moyen (1997-2012) et à une sécheresse extrême (2003) à travers la résistance (Rt), la résilience (Rs), et la récupération (Rc).

Nous avons utilisé des données rétrospectives de 269 chênes sessiles (âge moyen 34 ans en 2012) récoltées dans le réseau d'expérimentation sylvicole GIS Coop. Ce réseau expérimente trois conditions climatiques (bilan hydrique estival de -182, -126 et -96 mm pour les sites « secs », « mésophiles » et « humides ») et trois densités (RDI : 0,20 ; 0,53 et 1,04, densité « faible », « moyenne », « forte »).

En moyenne, la croissance des arbres dépend très fortement des sécheresses printanières et estivales sur les sites secs et mésophiles et ni la densité et ni le statut social ne modulent la réponse au climat moyen. En revanche, la diminution de la densité a modulé la réponse à la sécheresse de 2003 dans le sens d'une meilleure Rs, Rt et Rc sous faible densité et ceci particulièrement sur les sites secs. Aucune différence n'a été observée entre les statuts sociaux. Ainsi, sur sites secs, bien que les arbres subissent davantage de stress hydrique, ils recouvrent beaucoup plus rapidement leur niveau de croissance pré-crise que les arbres bénéficiant de conditions hydriques meilleures. Les résultats illustrent l'intérêt de la gestion en cas de crise climatique intense et aussi le rôle de l'adaptation locale des arbres dans leur réponse au climat.

#### Détail auteurs :

<sup>1</sup> Université de Lorraine, AgroParisTech, Inra, Silva, 54000, Nancy, France

<sup>2</sup> Department of Forest and Ecosystem Science, University of Melbourne, Richmond, VIC 3121, Australia

<sup>3</sup> RDI, Office National des Forêts, 77300 Fontainebleau, France

## **Effet de la réduction de la surface foliaire sur la sensibilité des arbres à la sécheresse. Approches empirique et fonctionnelle (REDSURF)**

*François COURBET (INRA-URFM), Nicolas MARTIN-St PAUL (INRA-URFM) et Jean LADIER (ONF) en collaboration avec Guillaume SIMIONI (INRA-URFM) et Claude DOUSSAN (INRA-EMMAH)*

Le projet REDSURF avait pour objectif de faire progresser les connaissances sur l'effet des interventions sylvicoles sur l'adaptation des peuplements forestiers au changement climatique.

### Méthodes:

Deux espèces ont été étudiées : le Sapin pectiné (Aude), et le Cèdre de l'Atlas (Gard).

Deux dispositifs expérimentaux, un par espèce, ont servi à détecter les effets des interventions sylvicoles sur la tolérance à la sécheresse via l'état sanitaire, la croissance en diamètre et des caractéristiques de comportement écophysiological. L'environnement (sol, + sous-sol par des mesures de conductivité électrique, climat) et le développement de la végétation (sous-bois et peuplement) ont été caractérisés.

Parallèlement, des modèles de bilan hydrique et de fonctionnement (BILJOU© et Sureau) ont été utilisés pour évaluer la sensibilité au stress des arbres et des peuplements en fonction de l'intensité d'éclaircie. Les incertitudes sur la surface foliaire et la réserve utile du sol, auxquelles les modèles sont sensibles, restent fortes.

### Résultats:

Les mesures de résistivité électrique du substrat montrent que les cèdres prélèvent de l'eau bien au-delà de la couche de sol, jusqu'à 5 m.

Dans le sapin l'éclaircie n'a pas eu un effet positif sur l'évolution du déficit foliaire. Les nécroses cambiales notées sur cèdres sont apparues

préférentiellement les années à bilan hydrique plus favorable et sur les zones les plus conductives.

Un modèle à effets mixtes a été utilisé pour modéliser l'effet de différentes variables, dont l'interaction entre densité et climat (ou composante annuelle) sur les accroissements annuels en surface terrière mesurés des cèdres. Pendant 5 ans après l'éclaircie on constate un effet positif de l'éclaircie sur la relation croissance-climat, significatif entre densités extrêmes (10 et 40 m<sup>2</sup>/ha). Cet effet s'estompe ensuite.

Les mesures de potentiel hydrique foliaire (un indice du stress hydrique) en 2017 montrent que les cèdres des parcelles éclaircies subissent moins de stress hydrique encore 25 ans après éclaircie, malgré le développement du sous-bois. Nous avons aussi trouvé une modeste acclimatation de la résistance à la sécheresse des cèdres dans la parcelle à forte densité (1200 arbres/ha), par rapport aux parcelles fortement éclaircies (400 arbres/ha).

Les simulations réalisées sur la période 1995-2015 montrent que les éclaircies réduisent le stress hydrique et le risque de défaillance hydraulique (pouvant mener au dépérissement), particulièrement dans le dispositif cèdre.

En 2017, Sureau reproduit bien la différence de potentiel hydrique, entre les traitements après éclaircie 1200 et 400 cèdres/ha.

En outre, les simulations (1960-2100) suggèrent que sous changement climatique, en l'absence d'éclaircie, les arbres pourraient subir des taux de cavitation d'autant plus importants que le changement est plus sévère. Éclaircir réduirait fortement le risque de cavitation.

La rédaction d'un référentiel pédagogique, présentant les principaux indicateurs écophysiological et modèles de fonctionnement couramment utilisés, est en cours de rédaction.

## Changement climatique, quel avenir pour le douglas en Bourgogne ?

Olivier PICARD (CNPF, Coordinateur du RMT AFORCE) en collaboration avec Marie-Cécile DECONNINCK (CNPF-CRPF Bourgogne Franche-Comté)

Partenaires du projet : INRA, AFI, SFCDC, ONF, IDF, CETEF

### Contexte

En Bourgogne, le Douglas occupe plus de 8% de la surface boisée soit environ 68 000 ha. Le changement climatique affecte sa croissance et provoque des dépérissements.

Les principaux producteurs de douglas, constitués en CETEF, se posent de nombreuses questions sur le devenir de cette essence :

- Dans quelles stations est-il adapté aujourd'hui si le climat continue à se réchauffer ?
- Quelles sylvicultures mener pour produire des bois de qualité tout en ayant des peuplements résilients ?
- Faut-il produire des gros bois ou passer, pour limiter les risques, à des rotations courtes (moins de 50 ans) et dans ce cas, quels sont les impacts sur la fertilité des sols, l'acceptation sociale... ?
- Quels sont les risques sanitaires actuels et futurs, comment s'y préparer ou y remédier ?
- Comment intégrer les évolutions climatiques dans le renouvellement des peuplements existants ?
- Où et comment peut-on planter du douglas ?
- Quels outils de diagnostic utiliser ?
- Etc.

### L'objet de ce projet est de :

- Donner aux sylviculteurs les moyens d'évaluer les risques encourus par leurs peuplements et par les pratiques sylvicoles dans la perspective du changement climatique et par les pratiques sylvicoles en mettant à leur disposition des outils techniques et économiques d'aide à la décision.

- Evaluer l'impact des sylvicultures sur plusieurs facteurs (sols, stockage de carbone ...),
- Tester et développer des sylvicultures alternatives et résilientes tant en plantation qu'en peuplement mélangé.

Pour y parvenir, 3 actions seront développées :

### 1 - Constituer un réseau régional de références et d'essais sur le douglas

Ce réseau sera formé d'une sélection de placettes d'essais suivies par différents organismes (CRPF, AFI, SFCDC, ONF...). On y ajoutera des références de gestion intéressantes disposant de données ponctuelles (marteloscopes, peuplements en forêts publiques, experts indépendants...) ou provenant d'autres régions.

Ce réseau s'attachera à couvrir toutes les sylvicultures pratiquées en Bourgogne ou souhaitées par les propriétaires :

- futaie régulière à rotation moyenne (40 à 50 ans) suivi d'une replantation en douglas,
- futaie régulière avec allongement de production avec éclaircies de récolte, régénération lente,
- mélange feuillus-résineux,
- traitement d'irrégularisation,
- mélange à la plantation ...

Si l'on constate des manques dans le réseau, on installera de nouveaux essais complémentaires. On évalue le réseau ainsi constitué à environ 50 à 90 placettes.

### 2 - Evaluer les risques

#### 2-1 : Evaluer la vulnérabilité hydrique et thermique au changement climatique

Le niveau de vulnérabilité des peuplements seront déterminés grâce aux outils Archi et Bioclimsol.

Le niveau de résilience des sylvicultures pratiquées, sera évalué en comparant, pour une même station l'état des peuplements en fonction de la sylviculture

menée. On se fixe l'analyse d'une cinquantaine de peuplements (choisis dans le réseau).

#### 2-2 : Evaluer l'effet de la fertilité des sols et de la sylviculture sur la capacité du douglas à faire face au changement climatique

L'étude de la fertilité minérale des sols sous douglas et son évolution sur le moyen et long terme sera réalisée sur un réseau existant de placettes dédiées, pour définir d'une part les stations garantissant la pérennité du douglas et d'autre part les sylvicultures et modes de gestion durables associés.

Ces travaux seront conduits par l'équipe de l'Unité Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF) de l'INRA, qui a mis en place il y a quelques années en partenariat avec les CRPFs et l'ONF un réseau de onze sites (dont 3 en Bourgogne, 3 en Limousin...) repartis sur un gradient de fertilité minérale (dont deux sites avec modalités témoin et amendé/fertilisé).

#### 2-3 : Impact de la sylviculture sur le bilan carbone sur la biodiversité générale

Cet impact sera évalué sur la cinquantaine de peuplements dont on aura évalué la vulnérabilité thermique et hydrique.

##### *Evaluer l'efficacité des sylvicultures sur le bilan carbone*

A partir de la méthodologie développée par le CNPF, le bilan carbone de différents itinéraires sylvicoles sélectionnés dans le réseau douglas régional sera réalisé.

##### *Evaluer le niveau de biodiversité des sylvicultures*

A partir de l'indice de Biodiversité Potentielle (IBP) le diagnostic sera effectué sur différents itinéraires sylvicoles sélectionnés dans le réseau régional douglas.

### **3 - Adapter et renouveler les peuplements pour favoriser leur résilience**

Le renouvellement des peuplements de douglas après exploitation est un enjeu majeur pour le maintien de la ressource.

#### 3-1 : Analyse des échecs et réussites des plantations réalisées ces dernières années

A partir de l'analyse des échecs et réussites des plantations de douglas de ces dernières années, on identifiera les facteurs susceptibles de limiter les échecs (caractéristiques pédologiques, exposition, topographie), les techniques de préparation des parcelles, la période de plantation, les types de plants et les variétés utilisées.

Les itinéraires techniques de plantation seront comparés au niveau économique afin d'apporter au sylviculteur un critère complémentaire de choix.

#### 3-2 : Analyse des échecs et réussites de régénérations naturelles

On analysera les réussites et échecs des régénérations en fonction de l'itinéraire sylvicole appliqué, des caractéristiques dendrométriques du peuplement semencier et des conditions stationnelles (caractéristiques pédologiques, exposition, topographie) et climatiques.

Les itinéraires techniques de régénération naturelle seront comparés au niveau économique afin de s'assurer de leur faisabilité et de fiabiliser les conseils au sylviculteur.

Ce réseau de références sera intégré aux bases de données existantes et enrichi de nouvelles parcelles de façon à représenter la diversité des situations pédo-climatiques des douglasaies bourguignonnes. Outre un suivi technique, les parcelles de ce réseau feront l'objet d'un suivi économique.

Une quinzaine de peuplements seront intégrés à ce réseau.

#### 3-3 : Mise en place de plantations de douglas en mélange avec d'autres espèces

Malgré l'intérêt de planter plusieurs espèces en mélange sur une même parcelle face à l'évolution climatique, très peu d'essais existent.

Le projet permettra d'installer une dizaine de plantations dans lesquelles le douglas sera associé à d'autres essences feuillues (châtaignier, chêne rouge...) ou résineuses (cèdre, pin, sapin de Nordman, mélèze, châtaignier, chêne rouge, chêne sessile...) selon différentes modalités (en ligne, sur la ligne, par parquets ...).



### 3-4 : Expérimentation des nouvelles variétés de douglas

Actuellement, 8 variétés de douglas sont disponibles sur le marché. L'ensemble de ces variétés fait l'objet d'une évaluation à l'échelle du territoire national sur une trentaine de sites. On dressera le bilan des dispositifs expérimentaux installés en Bourgogne.

*On précisera l'adaptation des variétés aux conditions climatiques de la Bourgogne* = Suivi de la croissance fine en diamètre de différentes variétés en conditions naturelles en réalisant sur certaines des anciennes plantations bourguignonnes des mesures écophysologiques fines (démarrage et arrêt d'activité) ainsi que l'impact de gels, canicules et de périodes sèches.

En comparant le comportement d'arbres de la variété Californie-VG et d'autres de la variété Luzette-VG ou Washington-VG, il sera possible de préciser les zones du territoire bourguignon où ces variétés seront les mieux adaptées.

*On testera le comportement de certaines variétés en mélange*

Afin d'évaluer l'intérêt éventuel du mélange de variétés au comportement contrasté, un dispositif expérimental sera installé avec la variété Californie-VG mélangée, selon différentes modalités à une autre variété. Cinq dispositifs expérimentaux seront installés pour suivre le comportement de la variété Californie-VG en mélange avec une autre espèce (cèdre, pin...) comparativement à celui d'une autre variété plus « poussante » et cela selon un gradient climatique.

### 3-5 : Recherche d'espèces de substitution au douglas

Dans les secteurs où le douglas n'est pas ou ne sera plus à son optimum stationnel, il faut donner des solutions pour renouveler les peuplements en proposant des essences de substitution et en réalisant des plantations expérimentales d'essences susceptibles d'être adaptées.

Ces essences seront testées dans les plantations mélangées. Les plantations expérimentales seront réalisées dans le cadre du projet national ESPERENSE en charge de l'organisation (choix des essences, fournitures de graines, protocoles d'installation) de ce type de dispositifs sur l'ensemble du territoire métropolitain

## Adapter les forêts du Haut-Languedoc aux changements climatiques : le projet LIFE FORECCAsT

*Juliane CASQUET<sup>1</sup>, Raphaël BEC<sup>2</sup> et Constance PROUTIERE<sup>1</sup> en collaboration avec Baptiste ALGAYER<sup>1</sup>, Michèle LAGACHERIE<sup>3</sup>, Jean LEMAIRE<sup>4</sup>, Xavier BEAUSSART<sup>1</sup>*

Situé à la confluence de trois climats (méditerranéen, atlantique, montagnard), le Parc naturel régional du Haut-Languedoc (Pnr HL) est particulièrement sensible aux changements climatiques. La forêt qui couvre les deux tiers du territoire y est une richesse économique, environnementale et sociale majeure. Face aux risques liés à ces changements, le Pnr HL associé au Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) et à la coopérative forestière Alliance Forêts Bois mettent en place des actions visant l'adaptation des forêts. Le projet LIFE FORECCAsT fournira in fine aux propriétaires, gestionnaires forestiers et élus locaux des outils pour adapter leur sylviculture aux changements climatiques, et sensibilisera les professionnels et le grand public à ces sujets.

L'un des outils du projet phares du projet consiste en un réseau de référence pour différentes méthodes d'adaptation de la sylviculture au changement climatique, composé de 24 sites expérimentaux. La moitié des sites concerne des peuplements forestiers en place, d'essences et d'âge variables, dans lesquels sont testés des protocoles permettant de limiter la demande en eau, d'atténuer les risques sanitaires, de favoriser la régénération naturelle ou de préserver les habitats naturels d'intérêt communautaire. Neuf sites sont des plantations mélangées d'essences plus ou moins bien connues sur le territoire, installées selon des modalités diverses (lignes, bandes, mosaïques). Associer plusieurs essences réduit les risques dans un contexte climatique futur incertain, peut répartir l'utilisation de la ressource en eau des peuplements, favorise leur biodiversité et améliore leur résilience. Enfin, trois sites représentatifs des trois types de climat du Pnr HL, comportent des arboretums d'une vingtaine d'essences. Ils permettront d'évaluer le potentiel de certaines essences, a priori mieux adaptées au climat à venir et encore jamais testées sur le territoire.

Le suivi des tests sylvicoles sur le temps long est assuré par une convention tripartite entre le Pnr HL, le CNPF et les propriétaires des sites. Les parcelles de tests constituent dès à présent des supports d'information, de vulgarisation et de démonstration pour des pratiques d'adaptation de la gestion forestière.

Parmi les outils développés par FORECCAsT se trouve aussi une application mobile appelée « FORECCAsT by BioClimSol ». A partir de données de terrain saisies par l'utilisateur, de données climatiques et topographiques géoréférencées, et d'algorithmes mathématiques basés sur la méthode BioClimSol (développée par le CNPF), elle permet de réaliser partout en France un diagnostic de vigilance climatique en fonction du contexte actuel et du climat futur, pour des peuplements forestiers déjà en place ou des projets de reboisement et de les lier à des pistes de gestion sylvicole adaptées aux changements climatiques.

En parallèle de ces outils, FORECCAsT met en place de nombreuses actions de sensibilisation et d'information à destination des professionnels, des élus et du grand public.

### Détail auteurs :

<sup>1</sup> Parc naturel régional du Haut-Languedoc, 1 place du Foirail, BP9, 34220 Saint-Pons de Thomières

<sup>2</sup> Centre Régional de la Propriété Forestière, Maison de Pays, 1 rue de la République, 34600 Bédarieux

<sup>3</sup> Centre Régional de la Propriété Forestière, 378 rue de la Galera, 34090 Montpellier

<sup>4</sup> Institut pour le Développement Forestier, 175 cours Lafayette, 69006 Lyon

## SESSION 4 – Prendre en compte les risques liés au changement climatique

### Evaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation (MULTIRISKS)

Céline MEREDIEU<sup>1</sup> (INRA) en collaboration avec Thierry LABBE<sup>1</sup>, Marielle BRUNETTE<sup>2</sup>, Sylvain CAURLA<sup>2</sup>, Hervé JACTEL<sup>3</sup>

La question des interactions entre aléas forestiers modifiés par les changements climatiques est l'objet d'une inquiétude croissante de la part des propriétaires forestiers. En effet, il est attendu que les impacts de ces aléas soient supérieurs à leur simple addition en raison d'effets de synergie. Ainsi, les chablis causés par les tempêtes peuvent être plus abondants dans les peuplements fragilisés par des pourridiés racinaires, entraînant à leur tour des pullulations d'insectes.

L'objectif du projet MULTIRISKS est d'analyser les impacts bioéconomiques des interactions entre aléas sur la ressource forestière et d'identifier des itinéraires sylvicoles permettant de les atténuer simultanément. Pour cela, le projet s'est focalisé sur la filière pin maritime en Aquitaine. Des simulations seront réalisées à l'aide du modèle *Pinuspinaster* développé sur la plateforme Capsis pour évaluer les impacts de deux aléas en interaction : les attaques de fomes (*Heterobasidion annosum s.s.*), et les infestations de processionnaire du pin. Le résultat des simulations avec un calcul de l'impact des infestations de processionnaires indique que les pertes de production relatives (comparativement au même peuplement indemne d'attaques de processionnaire du pin) en surface terrière varient de 0.2% (défoliations médianes de 9%) à 11% (pour les 5% de peuplements les plus défoliés, à 52% de défoliations). Une variable clé d'ajustement des simulations est la gestion de la densité via les éclaircies. En effet, des simulations intégrant des niveaux de fertilité et des régimes d'éclaircie variables montrent des interactions particulières entre option de gestion et niveau d'impact de l'aléa.

Les pertes de production consécutives à la réalisation de l'aléa affectent le volume sur pied qui constitue la variable d'entrée du modèle de filière forêt-bois développé au BETA (FFSM, French Forest Sector Model). Il est ainsi possible d'analyser l'impact de ces aléas sur la filière pin maritime en Aquitaine via différentes variables telles que l'évolution des volumes, des prix, des

surplus et du bilan carbone. L'impact sur d'autres régions peut également être étudié.

#### Détail auteurs :

<sup>1</sup> INRA, UE UEFP, 33612 CESTAS cedex

<sup>2</sup> INRA, UMR BETA, 54042 NANCY Cedex

<sup>3</sup> INRA, UMR BIOGECO, 33612 CESTAS cedex

## Faisabilité du diagnostic de l'état sanitaire des peuplements par télédétection : exemple du châtaignier en Dordogne (CASTELDIAG)

Michel CHARTIER<sup>1</sup> et Véronique CHERET<sup>2</sup> en collaboration avec Michel GOULARD<sup>2</sup>

Les dépérissements forestiers préoccupent les professionnels de la filière et posent de façon cruciale la question du diagnostic de l'état de santé des arbres. Le châtaignier en est un bon exemple.

Cette essence est à la fois malade (cause identifiée et reproductible) et dépérissante (causes multiples et complexes, non connues dans leur totalité) sans pour autant pouvoir chiffrer les surfaces impactées.

Le projet Casteldiag vise la détermination de l'état sanitaire d'un peuplement par télédétection en complément du diagnostic de terrain selon une méthode adaptée aux taillis de châtaignier. Le département de la Dordogne a été choisi comme zone d'étude.

Pour évaluer le stade de dépérissement, le CNPF a développé un outil de diagnostic appelé ARCHI qui fonctionne sur de nombreuses essences (chênes, sapins etc...) mais qui a nécessité une adaptation pour le châtaignier. Le travail réalisé permet de prendre en considération différentes situations : taillis, futaies ainsi que les vergers à fruits. Au final, la clé ARCHI permet de réaliser un double diagnostic, celui du stade de développement et celui de l'état physiologique. Le résultat final est jugé pleinement opérationnel et peut être diffusé aux gestionnaires via des formations.

Parallèlement, il s'agissait d'explorer le potentiel de la télédétection pour la cartographie de l'état sanitaire de la châtaigneraie en distinguant les peuplements sains des peuplements dépérissants. Le travail a porté sur le traitement des images du satellite Sentinel-2A. Nous avons donc cherché à analyser, pour une année de données (2016), la variabilité spatiale de l'état des surfaces en taillis de châtaigniers. L'objectif a été d'élaborer un modèle statistique, intégrant trois types de variables : *i*) les 10 bandes spectrales à 10 et 20 m (visible, Red Edge, PIR et MIR), *ii*) 36 indices de végétation calculés à

partir de ces 10 bandes spectrales et choisis pour leur potentiel à traduire l'activité végétale, la productivité, la teneur en eau ou encore la teneur en pigments foliaires, et enfin *iii*) 5 paramètres biophysiques (Blcv, Glcv, fApar, GLAI et Wat) estimées par application de modèles simulant le transfert radiatif dans la végétation avec le logiciel Overland (Airbus DS). Plusieurs modèles prédictifs du dépérissement ont été construits à partir de ces 51 variables. Leur calibration a été réalisée grâce à des observations sur le terrain de l'état sanitaire des peuplements faite selon deux approches, par application du diagnostic ARCHI et par notation à dire d'expert (CRPF). Un premier niveau d'analyse a permis de sélectionner les variables les plus significatives pour la construction des modèles et montrer l'importance de leur contribution à la prédiction. Une étape de validation a pu être réalisée à partir d'une deuxième campagne de terrain. Le meilleur Kappa (0,64) est obtenu à partir des références ARCHI et avec l'image de juillet. Une sélection finale est proposée avec les 8 modèles présentant les meilleures prédictions. Des cartes ont été établies pour ces différents modèles.

Les conclusions de cette étude sont que les résultats issus du traitement des données Sentinel-2 sont prometteurs et plusieurs constats peuvent servir de base à la poursuite des travaux sur ce sujet.

L'utilisation de ce type d'information, même si c'est encore trop tôt, pourrait être envisagée pour définir des priorités d'action selon les stades de dépérissement.

### Détail auteurs :

<sup>1</sup> CNPF-IDF 13 avenue des droits de l'homme 45921 Orléans Cedex 9 - France

<sup>2</sup> Dynafor, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-PURPAN, Castanet-Tolosan, France

## Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine

Roland DE LARY (CNPFF-CRPF Nouvelle Aquitaine)

Le projet a pour objectif la réalisation d'actions autour des deux essences (châtaignier et pin maritime) et à deux niveaux d'échelles :

- Echelle macro : propriété forestière, massif forestier,
- Echelle locale : parcelle/arbre

Le projet se déroule en Nouvelle-Aquitaine dans les départements de Dordogne et des Landes de Gascogne. Il est porté par le CNPFF et sont associés les laboratoires de recherche de l'Inra, du FCBA, de l'école de Purpan ainsi que l'ONF, Alliance Forêt Bois, l'IGN et certaines collectivités. Il a été agréé programme européen de l'innovation et sera financé à 80% par l'Europe et la Région.

### Objectifs spécifiques pour le pin maritime :

- Création et développement d'un outil smartphone d'aide à la décision pour le déclenchement des éclaircies des forêts de pin maritime selon des normes de sylviculture précises
- Elaboration d'une base de donnée « sylviculture participative » (BDP) alimentée par l'application smartphone (les sylviculteurs utilisant l'application pourront si ils le souhaitent transmettre leurs données et participer ainsi en retour à l'amélioration continue du modèle de croissance utilisé dans l'application)

La phase 1 du projet prévoit la réalisation d'une étude de faisabilité de l'application smartphone intégrant l'écriture d'un cahier des charges en lien avec l'organisation partenariale nécessaire au choix des solutions techniques les mieux adaptées. Elle prévoit aussi la mise en place des structures de base pour le fonctionnement du logiciel, notamment l'architecture des données nécessaire à son fonctionnement.

### Objectifs spécifiques pour le châtaignier :

Mise à disposition des gestionnaires forestiers et des territoires d'outils de diagnostics, mais aussi de simulations de la sylviculture (marteloscopes) et de l'impact carbone (Climafor) afin de dynamiser la sylviculture, et d'attirer des

projets carbonés capables de contribuer au financement de la rénovation de la châtaigneraie.

Il est ainsi prévu de :

- Mettre à disposition une méthode cartographique permettant de suivre annuellement, à partir d'images satellites, la réponse des taillis de châtaignier aux aléas biotiques et abiotiques.
- Mettre à disposition du gestionnaire des outils de diagnostic de terrain : ARCHI, BIOCLIMSOL,
- Déployer une application smartphone pour une épidémiosurveillance citoyenne de la maladie de l'encre du châtaignier
- Réaliser des outils de diagnostic de l'encre
- Rendre disponible l'outil Climafor pour les peuplements de Châtaigniers
- Vulgariser et former.

Actions du projet : au total 8 actions ont été définies.

### **Echelle locale :**

1. Développement d'une application mobile d'aide à la décision à l'échelle parcellaire pour le déclenchement des éclaircies dans des peuplements de pin maritime
2. Constitution d'un groupe et test de l'application Bioclimsol
3. Formation à la méthode ARCHI Châtaignier et diffusion de l'outil,
4. Mise en place de site « écoles » : parcelles de références et marteloscopes.

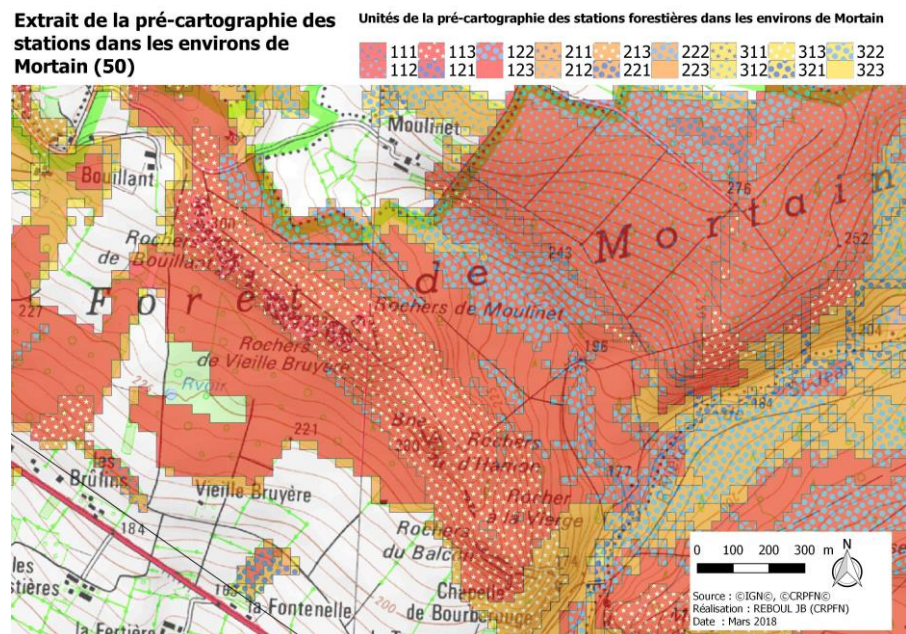
### **Echelle macro :**

5. Création d'une base de données « Sylviculture participative » pour alimenter l'action 1
6. Etude sur la pertinence du modèle de télédétection (établi en Dordogne) sur l'ensemble de la Nouvelle-Aquitaine
7. Développement et formation à l'utilisation de Vigil'encre et du diagnostic des maladies du châtaignier
8. Recherche bibliographique puis intégration de données de peuplements de châtaignier (table de production et itinéraires techniques) dans l'outil Climafor

## DEMONSTRATIONS D'OUTILS

### Prédiction spatiale des stations forestières dans le Nord-Ouest de la France (PRESTATION NO)

Jean-Baptiste REBOUL (CNPF-CRPF Normandie) et Christian PIEDALLU (AgroParisTech)



#### Contexte

La zone d'étude (régions Hauts de France, Normandie, Ile de France, Centre Val de Loire) est couverte presque entièrement par des catalogues/guides de stations, sans que ces derniers soient valorisés sous forme de cartographies des stations forestières, intégrées dans les documents de gestion durable en forêt privée. Cela vient souvent du fait que la réalisation d'une carte des stations forestières est une opération lourde et technique pour le gestionnaire/propriétaire forestier, qui procèdent de façon systématique à raison au minimum d'un point par hectare. Néanmoins, une méthodologie avait été développée par le LERFOB dans la région Vosgienne (PIEDALLU C., et al. 2006), pour la réalisation d'une carte prédictive des stations forestières,

sans que les gestionnaires/propriétaires aient pris en main ce nouvel outil. Il nous a semblé intéressant de tester si cette méthodologie était reproductible sur le territoire d'étude et si la pré-cartographie en résultant pouvait être une base pour simplifier le travail de cartographie définitive des stations forestières.

Une autre limite des catalogues/guides de la zone d'étude est qu'ils n'intègrent pas ou peu les variations climatiques dans l'espace, mais aussi l'impact potentiel du changement climatique.

#### Objectifs

- Reprendre et améliorer la méthodologie de mise en place de pré-cartographie des stations forestières. Identifier les étapes clés de la mise en place d'une pré-cartographie des stations et juger de sa reproductibilité dans d'autres régions.
- Tester la fiabilité de la pré-cartographie et identifier ses différentes limites possibles et les liens possibles avec les guides de choix des essences existant. Rédiger des notices d'utilisation de ces nouveaux outils...
- Réaliser un zonage climatique de la zone d'étude selon une méthodologie proche de celle de Joly (Joly et al., 2010) et voir son évolution avec le changement climatique selon les modèles et les différents scénarios d'émission de carbone et à différents pas de temps.

#### Démarche

- Mise en place d'une base de données conséquente de relevés phytécologiques et mise en place d'une base de données cartographique.
- Modélisation de trois variables pédologiques : pH bioindiqué (ECOPLANT) de l'horizon A ; réserve utile en eau maximale de Wösten sur 90 cm ; profondeur d'apparition d'une hydromorphie marquée.
- Reclassification de ces variables pédologiques au niveau des régions administratives et croisement pour arriver à une pré-cartographie des stations forestières (36 unités = 6 classes de niveau trophique \* 2 classes de réserve utile en eau maximale\* 3 classes de niveau d'hydromorphie).
- Validation de ces modèles et de la pré-cartographie : zone d'étude/région administrative/département/SER/région forestière/forêts pilotes = massifs allant de 20 à 500 ha avec une carte des stations.

- ACP/CAH/AFD sur les données climatiques DIGITALIS (1981-2010) DRIAS pour le zonage climatique présent et futur.

#### **Résultats marquants — (présentés sous forme de puces séparées)**

- Base de données de relevés phytoécologiques conséquentes = 11 fournisseurs pour 43 études différentes = 41 200 relevés dont 26 338 relevés dont 26 338 à la localisation précise.
- Un réseau de forêts pilotes qui couvre la diversité des régions forestières (21 en Normandie pour 2 705 ha, 26 en haut de France pour 1458 ha, 10 en Ile de France et Centre Val de Loire pour 515 ha).
- Une pré-cartographie des stations forestières spécifique à chaque région administrative.
- Une pré-cartographie diffusée en Normandie auprès des gestionnaires, avec une notice sur comment l'utiliser pour simplifier les démarches de cartographie.

#### **Principales conclusions incluant des points-clés de discussion**

- Développer et renforcer les outils de centralisation des relevés phytoécologiques (ECOPLANT et DONESOL...) en forêt, car beaucoup de relevés sont encore dispersés et non centralisés...
- Apport important des cartes de l'ancienneté des forêts dans l'amélioration du modèle du niveau trophique, ainsi que des cartes pédologiques au 1/50000ème sur l'ensemble des modèles. Ce sont deux axes essentiels d'amélioration future de la pré-cartographie des stations forestières...
- Questionnement important sur l'amélioration des modèles notamment sur le risque d'engorgement avec des MNT plus précis de l'ordre de 5 m (LIDAR). Comment gérer cette donnée volumineuse ; des indices locaux seront-ils plus pertinents que des indices calculés à des échelles plus larges ?
- Une grande variabilité de l'évolution des zonages climatiques selon le modèle climatique testé, ce qui pose la question de comment gérer leur multiplicité ?

#### **Perspectives**

La création d'un outil de centralisation de la donnée station, afin d'améliorer en continu les modèles sur les variables pédologiques est une perspective. Le

croisement des cartes de stations avec la carte des peuplements des forêts pilotes, pour engager une réflexion sur les choix d'aménagement par rapport au changement climatique est une autre possibilité.

Valorisation (scientifique : publications, chapitre d'ouvrage, présentation lors de conférences,...signaler d'éventuels prix) ; économique : enveloppe Soleau, brevet, licence,... ; diffusion : communiqué de presse, interview, présentations grand public...) :

- Madrolles F., Reboul J.-B. (2016). Le projet ECOGEO DYN en Normandie : des cartes prédictives aux utilisations pratiques dans les forêts normandes. Forêt-entreprise, 228, p. 44-48.
- Madrolles F., Reboul J.-B. (2018). Guide de choix des essences de Normandie. CRPFN. 212 p.

Mise à disposition de la pré-cartographie des stations forestières pour la Normandie sur le site internet du CRPF :

<https://normandie.cnpf.fr/n/cartographie-des-stations-forestieres/n:3305>

#### **Effet levier du projet**

La région Normandie finance actuellement la mise en place de cartes de stations forestières en s'aidant de la pré-cartographie, avec obligation pour les gestionnaires/propriétaires de renvoyer les relevés localisés au CRPFN. A terme, ces nouvelles données permettront d'améliorer les modèles. La région Hauts de France qui finance déjà la mise en place de cartes de stations forestières va également obliger les réalisateurs à renvoyer les fiches de relevés au CRPFN.

#### **Détail auteurs :**

Projet réalisé en partenariat avec : AgroParisTech-LERFoB ; INRA Orléans, RMT SOL ; Chambre d'agriculture de l'Indre, RMT SOL ; ONF ; CNPF-IDF ; CRPF Île-de-France-Centre-Val-de-Loire ; CRPF Nord-Pas-De-Calais-Picardie

Avec la collaboration de : IGN, BRGM



## LUBERON2, un outil de simulation pour l'évaluation des impacts génétiques des pratiques sylvicoles

Claire GODINEAU (INRA, ISEM), Nicolas BEUDEZ (INRA) et Sabine GIRARD (CNPF)

LUBERON2 est un modèle de la plateforme CAPSIS constitué de trois composants : un modèle de dynamique démographique du Cèdre de l'Atlas (croissance, mortalité par auto-éclaircie, reproduction), un modèle de variation génétique inter-individus des performances démographiques, un modèle de régime aléatoires de perturbations. C'est un outil de simulation du peuplement et de visualisation graphique de ses caractéristiques démographiques et génétiques au cours du temps, permettant de comparer les effets de différents itinéraires sylvicoles dans différents contextes de perturbation. Ce simulateur fonctionne sur des arbres individuels spatialisés, à l'échelle d'un peuplement, sur quelques cycles de régénération.

Une première originalité de LUBERON2 tient à la prise en compte de la diversité génétique dans les deux sens, c'est un modèle couplé démogénétique : la diversité génétique a un effet sur la dynamique du peuplement et sur la réponse à la sylviculture et, inversement, la dynamique et la sylviculture influencent l'évolution de la diversité génétique. Une seconde originalité tient à la prise en compte d'un régime de perturbation aléatoire que l'on peut paramétrer.

Cet atelier présentera un mode d'utilisation de LUBERON2 à des fins pédagogiques, pour illustrer de façon générale les impacts génétiques potentiels à court et moyen terme d'un choix d'itinéraire sylvicole, et mieux comprendre les mécanismes de ces impacts. L'objectif des simulations présentées est d'ouvrir un nouveau regard sur les pratiques sylvicoles : quel est l'impact de la sylviculture sur la gestion des ressources génétiques ?

LUBERON2 peut aussi être utilisé plus finement en gestion, pour comparer différentes options sylvicoles spécifiquement chez le Cèdre de l'Atlas, par exemple dans le cadre de stratégie d'adaptation. C'est également un outil de recherche pour analyser les mécanismes d'interaction entre pratiques sylvicoles et régimes de perturbations. Les enjeux de validation des prédictions

quantitatives des simulations sont complexes : si chacun des trois composants du modèle résulte bien d'une calibration empirique ou d'une validation théorique, on ne dispose pas facilement de données empiriques auxquelles confronter les prédictions du modèle couplé, notamment en terme de génétique. Une étude de sensibilité du modèle couplé aux différents paramètres démographiques et génétiques reste à réaliser. LUBERON2 continue d'évoluer, et la démarche initiée avec LUBERON2 sur le cas du Cèdre de l'Atlas sera étendue prochainement à d'autres essences, voire d'autres types de peuplement.

LUBERON2 a été développé à l'INRA par **Claire Godineau, Nicolas Beudez, François de Coligny, Sylvie Muratorio, Leopoldo Sanchez, François Courbet, Christine Deleuze** (ONF), **Christian Pichot, François Lefèvre**, avec l'aide des partenaires du projet Évaluation des impacts génétiques de pratiques sylvicoles pour l'adaptation, co-financé par le RMT AFORCE et le CG84.

## Outil d'aide en ligne aux choix des essences forestières (CARAVANE & IKSMAPS)

Sophie BERTIN (EKOLOG), Myriam LEGAY (ONF) et Alexandre PIBOULE (ONF)

Le forestier prend à chaque décision de gestion des orientations qui l'engagent sur le long terme. L'enjeu autour de ces décisions est aujourd'hui exacerbé par le contexte du changement climatique et par l'incertitude qui pèse sur les différents scénarios d'évolution possibles du climat. Le choix de l'essence à favoriser parmi les essences en place ou à planter lors d'un renouvellement ou d'un enrichissement constitue un élément central dans sa décision. Pour guider ce choix, le forestier doit pouvoir disposer d'informations sur les potentialités de ces essences, sur leurs exigences, sur leur plasticité et sur leur vulnérabilité face aux impacts du changement climatique à la fois à court et à long terme. Une essence doit, en effet, à la fois résister au climat actuel et être adaptée à un climat futur imparfaitement connu.

L'outil d'aide en ligne aux choix des essences forestières permet l'amélioration de la connaissance des essences, de leurs exigences et de leur comportement spécifique face aux évolutions possibles du climat. L'outil se présente sous la forme d'un site internet. Il est composé d'un ensemble d'éléments techniques et de connaissances organisés et actualisés, pour aider les décideurs forestiers dans le choix des essences à favoriser, à planter ou à expérimenter en contexte de changement climatique. A chaque information est associée un degré de fiabilité ou une représentation des incertitudes. Les lacunes de connaissances sont aussi mises en avant. Le site permet ainsi de limiter autant que possible les erreurs d'introduction et de plantation. Il permet aussi au gestionnaire de disposer à l'instant t des éléments disponibles pour prendre une décision en pleine connaissance de cause.

Cet outil combine une approche documentaire portant sur les exigences autoécologiques et climatiques de 140 espèces présentes ou non sur le sol français, avec une approche modélisation qui projette l'évolution des aires de compatibilité climatiques des espèces à différentes échelles temporelles et pour différentes trajectoires RCP. Pour l'approche documentaire, le site s'appuie sur les travaux réalisés par les projets NOMADES et CARAVANES où les fiches espèces sont regroupées en un catalogue interactif et déclinées en 37 critères (dont sylviculture, autécologie, services, risques biotiques et abiotiques). Pour l'approche par modélisation, le site s'appuie sur les résultats du projet IKSMAPS qui a consisté à développer les composantes d'un service sylvoclimatique permettant de projeter l'évolution de la zone de compatibilité climatique des espèces en fonction de scénarios de changement climatique. Il se fonde sur le modèle IKS.

Trois grandes expériences/trajectoires utilisateurs sont identifiées sur le site. Elles correspondent à des questions pratiques d'entrée et reflètent les types d'usages possibles du site :

- Améliorer ma connaissance des espèces forestières
- Apprécier l'évolution du climat
- Mettre la bonne espèce au bon endroit



Cet événement bénéficie d'un soutien de :



Organisé en collaboration avec :

