



**HAL**  
open science

# Outils pour l'adaptation de la forêt aux changements climatiques : migration assistée et substitution d'essence

Brigitte Musch

► **To cite this version:**

Brigitte Musch. Outils pour l'adaptation de la forêt aux changements climatiques : migration assistée et substitution d'essence. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2019, 61-62, pp.42-49. hal-03324294

**HAL Id: hal-03324294**

**<https://hal.science/hal-03324294v1>**

Submitted on 10 Jul 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# OUTILS POUR L'ADAPTATION DE LA FORÊT AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : MIGRATION ASSISTÉE ET SUBSTITUTION D'ESSENCES

**Brigitte Musch**  
ONF (RDI), cheffe du  
CGAF – Conservatoire  
génétique des arbres  
forestiers

Office National des Forêts

Outils pour l'adaptation de la forêt aux changements climatiques :  
migration assistée et substitution d'essences

Brigitte MUSCH, Yves ROUSSELLE et Myriam LEGAY, DFRN-Département  
RDI

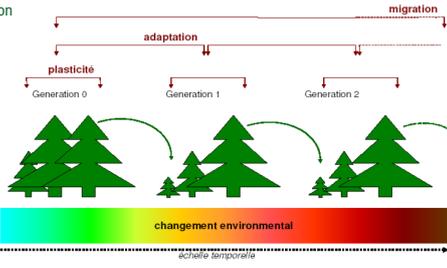
Séminaire « Changements climatiques et gestion de la chênaie ligérienne »  
Jeudi 28 juin 2018, ARDON



Office National des Forêts

Quelles évolutions possibles pour une population  
d'arbre face à un nouveau climat ?

- **Rester :**
  - S'acclimater en modifiant son phénotype dans le nouvel environnement subi (plasticité phénotypique)
  - Evoluer grâce à la sélection naturelle et retenir les individus les mieux adaptés
- **Partir :** migrer/coloniser de nouveaux habitats plus favorables
- **Disparaître :** extinction de populations locales



échelle temporelle



Office National des Forêts

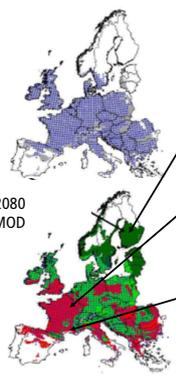
Quelles conséquences à l'échelle de l'aire de l'espèce ?

Répartition observée

Répartition 2080 d'après BIOMOD

- **Nord de l'aire :**
  - Colonisation ?
  - Compétition avec les espèces présentes ?
- **Cœur d'aire :**
  - Dépérissement ?
  - Flux de gènes et adaptation ?
  - Fragmentation des populations ?
- **Sud de l'aire :**
  - Dépérissement ?
  - Isolement en altitude et différenciation génétique ?

Thuiller, GCB 2003




**Au-delà du potentiel d'adaptation locale du chêne, voyons comment les ressources génétiques peuvent être un levier pour adapter les forêts au changement climatique.**

## Face au changement de du climat, quelles solutions pour les arbres forestiers ?

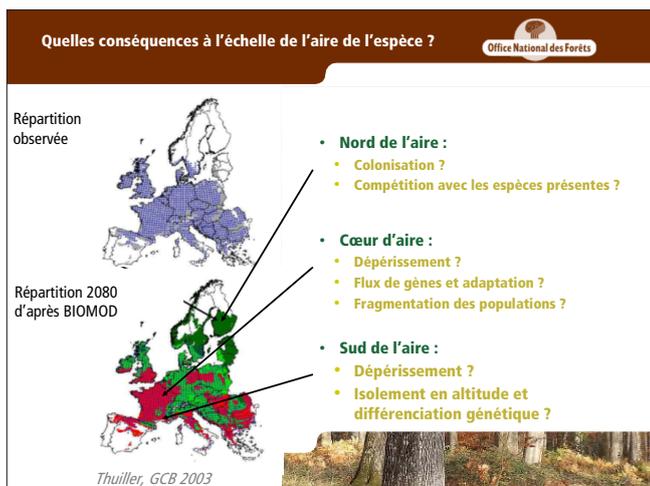
Lorsque leur environnement change, la première solution pour les arbres forestiers, qui ne sont pas des êtres très mobiles, est de s'adapter sur place aux nouvelles conditions. C'est ce que les généticiens appellent la plasticité. Comme l'a dit Antoine Kremer, il y a une grande diversité au sein des espèces, entre populations et même entre individus, ce qui leur confère une certaine capacité à s'adapter à divers changements environnementaux. Les chênes de Bercé, qui ont 350 ans et qui ont connu le petit âge glaciaire, subsistent aujourd'hui le réchauffement climatique et cependant ils sont toujours là. On peut donc compter sur une certaine plasticité, une certaine résilience de l'arbre en lui-même. Mais si les changements sont de grande ampleur, on ne sait pas jusqu'où jouera cette résilience, ni à partir de quand les arbres vont commencer à montrer des signes de dépérissement. Pour le Pin sylvestre, c'est apparemment déjà le cas en zone méditerranéenne (cf. exposé introductif).

La deuxième solution c'est de s'adapter via la reproduction : passer à la génération suivante avec de la sélection, c'est-à-dire des caractères mieux adaptés aux nouvelles conditions. Cela peut se faire soit par régénération naturelle, soit par récolte de graines et plantation ; la reproduction, ce n'est pas uniquement la régénération naturelle.

La dernière solution c'est de partir, de migrer pour retrouver des conditions plus favorables. Mais ça n'est pas simple, comme l'a rappelé Myriam Legay avec l'exemple du chêne vert : la vitesse de progression qu'il devrait avoir pour « suivre » le changement climatique est 100 fois supérieure à la vitesse de progression dont il est capable.

Et sinon, s'ils n'ont plus assez de diversité pour tenir localement (en tant qu'individus), s'ils n'arrivent plus à se reproduire en transmettant les bons gènes, et s'ils n'ont pas réussi à propager leur descendance un peu plus loin, ils ne peuvent que disparaître. C'est ce que l'on appelle l'extirpation, c'est-à-dire la disparition d'une population, mais pas de l'espèce en général. Comment cela se traduit-il au niveau des aires de répartition ?

En voici une illustration avec un modèle de niche climatique dont a déjà parlé Myriam Legay : en haut, c'est l'aire de répartition actuelle de l'essence (ici, le chêne sessile) et, en bas, l'évolution projetée en 2080 pour un scénario climatique donné (A1F1).



Vert foncé = extension ; vert clair = maintien ; rouge = disparition

### Faire du chêne de Bercé à Malmö !

Au nord de l'aire du chêne, les Suédois peuvent se frotter les mains : produire du chêne de Bercé à Malmö, ils en rêvaient ! Ils font plus qu'en rêver : ils viennent déjà visiter les tests de provenance de chêne de forêt domaniale de La Petite Charrie pour savoir quelles sont les provenances les mieux adaptées. Et en septembre [2018], une délégation de sylviculteurs suédois vient observer notre sylviculture pour voir comment ils vont pouvoir adapter la méthode à leur territoire...

### Les enjeux pour la gestion forestière

- Les forêts s'adaptent progressivement, de façon autonome, mais elles risquent de ne pas maintenir leur état actuel et de cesser de fournir les mêmes ressources et services à la société.
- La foresterie exige de la planification à long terme - les décisions prises aujourd'hui ont des effets sur la forêt de demain.
- La foresterie est basée sur des connaissances historiques mais on ne peut plus appliquer l'expérience passée aux conditions futures.
  - Nécessité d'une adaptation active, notamment par transfert d'espèces et de provenances
  - Besoin d'outils pour mettre en œuvre cette adaptation active

### Le concept de Migration Assistée englobe des pratiques à plusieurs échelles

	Migration assistée des populations	Le mouvement, assisté par l'humain et en réponse aux changements climatiques, de populations (génotype) à l'intérieur de l'aire de distribution de l'espèce
	Expansion assistée de la distribution	Le mouvement, assisté par l'humain et en réponse aux changements climatiques, d'espèces juste à l'extérieur de l'aire de distribution actuelle de façon à faciliter ou mimer l'expansion naturelle de la distribution.
	Migration assistée sur de longues distances	Le mouvement, assisté par l'humain et en réponse aux changements climatiques, d'espèces à l'extérieur de l'aire de distribution actuelle, sur des distances supérieures à celles accessibles par dispersion naturelle.

Au nord c'est assez simple, l'aire de répartition va s'étendre. On peut quand même se poser la question de la compétition avec les espèces déjà présentes, mais sur ce point le sylviculteur aura un rôle à jouer. Au sud de l'aire, c'est assez simple aussi. Là, la probabilité est forte qu'il y ait de gros dépérissements, des extirpations de populations, et des populations de plus en plus isolées sur des secteurs particuliers. Antoine Kremer a dit qu'une des raisons de la diversité du chêne réside dans le fait que les peuplements sont interconnectés, que les pollens peuvent, de proche en proche, brasser cette diversité. Si la taille des populations se réduit et si on perd ces corridors de mélange de gènes, ces populations vont peu à peu s'appauvrir génétiquement, il va y avoir des phénomènes de consanguinité et elles périront alors même que les conditions climatiques resteront correctes dans leurs refuges.

Mais pour le cœur de l'aire actuelle, c'est plus flou. Pour certaines espèces on peut penser qu'il y aura des dépérissements, mais on n'a pas encore toutes les données sur leurs capacités d'adaptation. On sait qu'il continuera d'y avoir des flux de gènes et qu'on pourra jouer sur la fameuse plasticité d'adaptation des peuplements, mais dans certaines zones on peut quand même craindre une certaine fragmentation des populations.

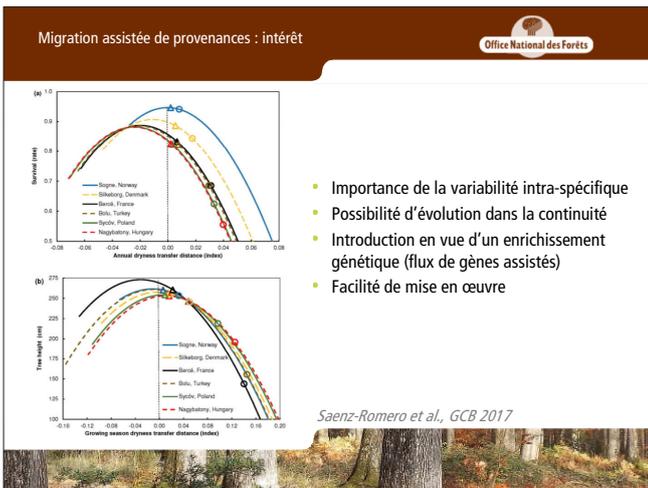
### Les enjeux pour la gestion forestière

De manière générale, les forêts s'adaptent toutes seules, de façon autonome mais c'est très progressif et, comme l'a dit Jean-François Dhôte, les choses vont changer beaucoup plus rapidement que ce dont on a l'habitude.

Or notre mission de forestiers, c'est de faire en sorte que la forêt puisse continuer à fournir les mêmes ressources et rendre les mêmes services à la société. Comment ? Il faut aujourd'hui préparer demain et après-demain, c'est-à-dire avoir des espèces qui s'adaptent localement aux conditions climatiques actuelles mais aussi aux conditions climatiques qui régneront dans 50, 100 ou 150 ans. L'enjeu est d'autant plus important que l'espèce est plus longévive. Jusqu'ici, la foresterie a vécu sur l'expérience historique ou sur des connaissances issues de recherches menées dans un climat supposé stable. Mais aujourd'hui tout change et ce n'est pas un simple phénomène de translation, de déplacement. De multiples facteurs entrent en ligne de compte et on sait qu'ils vont évoluer, mais on ne sait pas forcément dans quel sens. Par conséquent, nous allons aussi devoir évoluer, changer un certain nombre de concepts, et c'est loin d'être évident. Nous avons besoin d'une adaptation active, besoin d'agir maintenant malgré les questions en suspens et les risques. Une des solutions, c'est le transfert d'espèce ou de provenance, c'est la migration assistée.

### Qu'est-ce que la migration assistée ?

Il s'agit tout simplement d'aider les espèces à « suivre » ou retrouver un climat qui leur convient, en leur faisant parcourir le chemin qu'elles ne peuvent pas faire naturellement. Ce concept englobe des pratiques à plusieurs échelles. Il y a d'abord la migration assistée des populations (des provenances), une action assez simple que le département RDI a commencé à mettre en œuvre avec le projet GIONO. C'est un déplacement voulu, en réponse au changement climatique, mais qui reste à l'intérieur de l'aire de distribution de l'essence : on amène dans le cœur de l'aire une provenance de la marge sud.

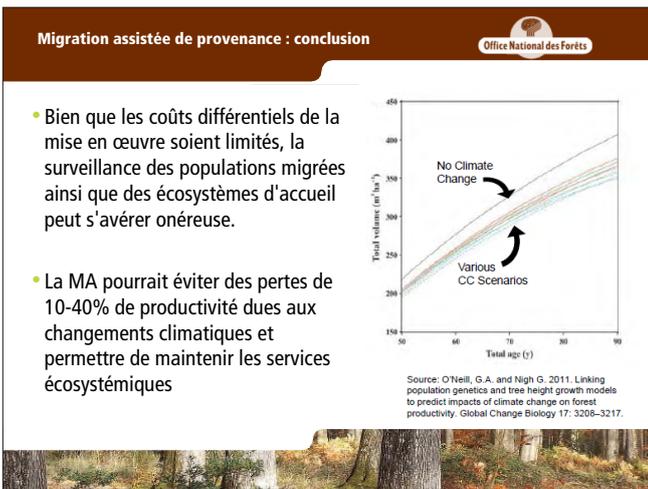


[NDLR : les signes ° et Δ sur les courbes sont sans rapport avec la présentation]

### Aspects réglementaires : conseils d'utilisation des MFR

Office National des Forêts

Code	Zone	Région d'origine	Matériau conseillé	Autres matériaux utilisables
001	Grand Ouest	Alsace, Bourgogne, Centre, Grand Est, Normandie, Pays de la Loire, Bretagne, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, PACA, Ile de France, Centre-Val de Loire, Hauts-de-France, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Sud-Est, Grand Nord-Est, Grand Sud-Ouest, Grand Sud-Est, Grand Nord-Est, Grand Sud-Ouest	SP101, SP102, SP103, SP104, SP105, SP106, SP107, SP108, SP109, SP110, SP111, SP112, SP113, SP114, SP115, SP116, SP117, SP118, SP119, SP120, SP121, SP122, SP123, SP124, SP125, SP126, SP127, SP128, SP129, SP130, SP131, SP132, SP133, SP134, SP135, SP136, SP137, SP138, SP139, SP140, SP141, SP142, SP143, SP144, SP145, SP146, SP147, SP148, SP149, SP150, SP151, SP152, SP153, SP154, SP155, SP156, SP157, SP158, SP159, SP160, SP161, SP162, SP163, SP164, SP165, SP166, SP167, SP168, SP169, SP170, SP171, SP172, SP173, SP174, SP175, SP176, SP177, SP178, SP179, SP180, SP181, SP182, SP183, SP184, SP185, SP186, SP187, SP188, SP189, SP190, SP191, SP192, SP193, SP194, SP195, SP196, SP197, SP198, SP199, SP200	SP101, SP102, SP103, SP104, SP105, SP106, SP107, SP108, SP109, SP110, SP111, SP112, SP113, SP114, SP115, SP116, SP117, SP118, SP119, SP120, SP121, SP122, SP123, SP124, SP125, SP126, SP127, SP128, SP129, SP130, SP131, SP132, SP133, SP134, SP135, SP136, SP137, SP138, SP139, SP140, SP141, SP142, SP143, SP144, SP145, SP146, SP147, SP148, SP149, SP150, SP151, SP152, SP153, SP154, SP155, SP156, SP157, SP158, SP159, SP160, SP161, SP162, SP163, SP164, SP165, SP166, SP167, SP168, SP169, SP170, SP171, SP172, SP173, SP174, SP175, SP176, SP177, SP178, SP179, SP180, SP181, SP182, SP183, SP184, SP185, SP186, SP187, SP188, SP189, SP190, SP191, SP192, SP193, SP194, SP195, SP196, SP197, SP198, SP199, SP200



On peut ensuite installer l'essence en limite de son aire de distribution, juste un peu au-delà, dans des conditions un peu limitantes, en tout cas au début. On prend donc des risques plus importants. Enfin, la dernière forme de migration assistée se fait à très longue distance, complètement en dehors de l'aire de répartition de l'espèce. Ça s'est beaucoup fait, mais dans un autre contexte, pour des essences comme le Douglas ou le chêne rouge.

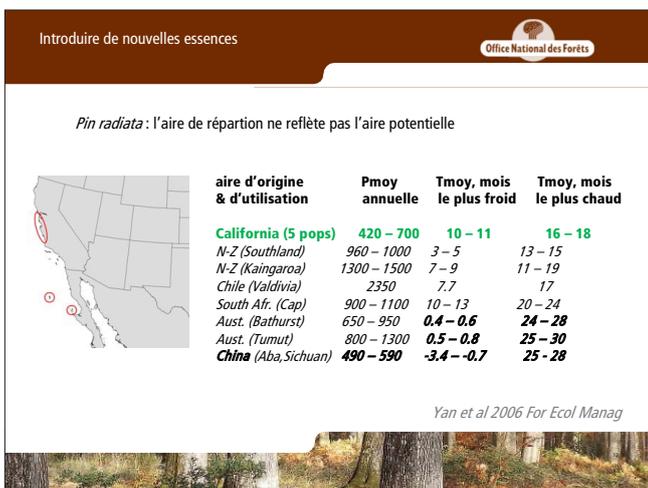
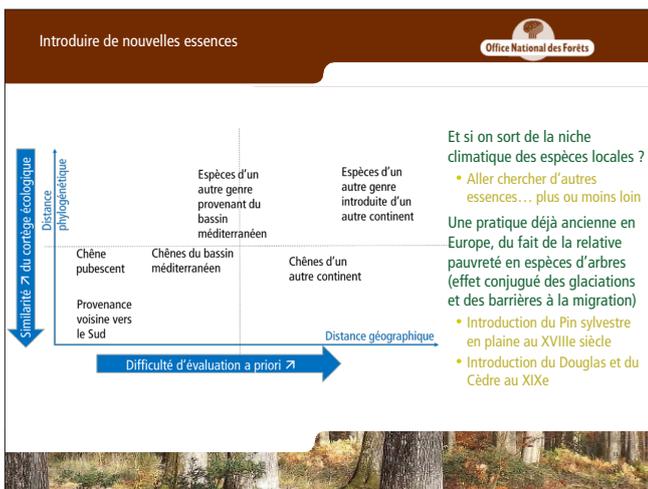
Pour la **migration assistée de provenances**, l'important c'est la variabilité intra-spécifique, illustrée par ces graphiques qui résultent des travaux présentés par Antoine Kremer sur la réponse des populations de chêne au transfert d'une région à l'autre. Réponse pour les critères de survie (en haut) et croissance en hauteur (en bas), en fonction d'un indice de distance climatique représentant respectivement la sécheresse annuelle et la sécheresse durant la saison de végétation.

Il y a au sein des (et parmi les) populations des arbres forestiers un vivier de diversité - donc de possibilités d'adaptation - très important qui permet d'évoluer dans la continuité, en déplaçant des provenances de la même essence. Ça n'est pas absolument sans risque, on n'est pas à l'abri d'une survie ou d'une qualité de bois un peu plus faible, mais la sylviculture va pouvoir aussi jouer. En conservant globalement la même ressource et le même paysage, on minimise le besoin d'adaptation forestière et sociétale. L'avantage est aussi que l'apport de provenances pertinentes agit sur le vivier de la ressource génétique locale en y introduisant de nouveaux gènes, par exemple pour une meilleure résistance à la sécheresse. Il ne s'agit pas de remplacer la ressource locale, mais de faire de l'enrichissement génétique de nos populations. Et enfin la migration assistée de provenance est relativement facile à mettre en œuvre.

Dernièrement, Irstea a fait un énorme travail de révision des aspects réglementaires des conseils d'utilisation des matériels forestiers de reproduction. Les documents récapitulatifs ces conseils sont disponibles sur le site du ministère de l'Agriculture. On voit ici, par exemple, les différentes régions de provenance du chêne sessile : la révision de la fiche conseil a permis, pour les différentes zones d'utilisation, d'ouvrir le recours à de nouvelles provenances au titre de la migration assistée. Le paradigme qui veut que la provenance locale soit ce qu'il y a de mieux n'est pas vraiment remis en cause, mais si on veut commencer à évoluer, on en a la possibilité réglementaire. Dans la dernière colonne du tableau des conseils d'utilisation, « Autres matériels utilisables », certaines provenances sont assorties d'un astérisque qui signifie que le ministère les autorise pour une démarche d'anticipation du changement climatique. C'est une application pratique des résultats de recherche dont Antoine Kremer a parlé, en particulier des résultats de tests de provenance de La Petite Charrie.

Tout n'est pas rose pour autant : on va avoir besoin de tracer correctement ce que l'on fait. Il va falloir surveiller ces populations migrées, et voir comment les écosystèmes vont s'adapter ; il peut y avoir des échecs. Cela va demander de la formation et de l'investissement en forêt, ce qui peut se révéler assez onéreux. Toutefois la migration assistée pourrait éviter des pertes de 10 à 40 % de la productivité, c'est aussi à prendre en compte : on prend un risque mais un risque mesuré et qui, au final, peut être très fructueux.

Mais voyons plus loin avec à la **migration assistée d'espèces**. Il s'agit de choisir des espèces à installer en dehors de leur aire de répartition. L'ennui, c'est qu'on a beaucoup moins d'informations disponibles sur les réactions possibles des plants. Alors comment raisonner ?



Voici un schéma pour illustrer la situation, appliqué à la chênaie. Le plus simple, quand on sort localement de la niche climatique, c'est d'aller chercher plus au sud des provenances voisines qui auront moins de difficultés à s'adapter. C'est la migration assistée de provenances, dont nous venons de parler. On peut donc continuer à utiliser des ressources génétiques de même essence mais à une certaine distance géographique (cf. axe horizontal).

On peut aussi augmenter la distance phylogénétique (axe vertical) en choisissant cette fois d'autres essences. Des essences présentes sur le territoire qui, comme le chêne pubescent, appartiennent au même complexe d'espèces (les « chênes blancs ») et qui peuvent se mélanger naturellement avec l'essence locale ; ou bien des chênes du bassin méditerranéen. L'avantage, c'est que c'est relativement peu coûteux et peu risqué parce que, par exemple, les cortèges de pathogènes ont co-évolué avec les espèces de chênes. En poussant plus loin, on peut aller chercher des chênes d'un autre continent : il y a en Amérique du Nord ou de l'autre côté de la Méditerranée de nombreux chênes qui s'apparentent à des chênes européens.

Enfin on peut augmenter encore la distance phylogénétique en allant chercher des espèces d'un autre genre : soit des espèces du bassin méditerranéen, et là encore on limite les risques au niveau des pathogènes, soit carrément des essences introduites dans notre continent. Ceci a déjà été fait pour un certain nombre d'espèce avec des réussites mais aussi des échecs.

On peut penser que la méthode est assez simple : on repère les besoins écologiques, l'aire de répartition bioclimatique des essences possibles, on regarde où se trouvent (se trouveront) ces conditions en France, et on fait le transfert. Oui... mais non ! Quand on a affaire à une essence dont l'aire de répartition est très petite, on suppose *a priori* qu'elle n'est pas très capable d'adaptations pédo-climatiques, que sa diversité génétique est relativement faible. Or ce n'est pas forcément le cas : le pin de Monterey (*Pinus radiata*) en est un contre-exemple éclatant. Son aire naturelle de répartition est minuscule, c'est la baie de Monterey en Californie. Pourtant il a été implanté un peu partout dans le monde, de la Californie jusqu'à la Chine en passant par l'Afrique du Sud, et les conditions dans lesquelles il peut survivre et prospérer sont très différentes de celles de la population d'origine. C'est plutôt une bonne nouvelle, mais c'est un peu embêtant car la méthode simple pour proposer de nouvelles essences... n'est finalement pas si simple.

## La migration assistée présente des risques et incertitudes

Pour situer un peu les choses, concernant les questions que pose le recours à la migration assistée pour l'adaptation des forêts au changement climatique nous avons esquissé une analyse SWOT (Strengths = forces ; Weaknesses = faiblesses ; Opportunities = opportunités ; Threats = menaces). Rappelons d'abord les forces :

- la marge d'adaptation climatique est assez importante du fait de la diversité génétique des essences ;
- il y a une bonne intégration dans le schéma de diversification/test voulu par le PNFB (Programme national de la forêt et du bois), en cohérence avec le PNACC (plan national d'adaptation au changement climatique) et ça commence à apparaître dans les aménagements forestiers à l'occasion des révisions ;
- la palette de solutions est très large, eu égard au nombre des espèces existant en Europe ou aux États Unis par exemple.

Mais il y a des faiblesses :

- on a des lacunes en autoécologie : on ne connaît pas très bien toutes les espèces et on a parfois des surprises (cf. *Pinus radiata*) ;
- on manque de moyens en termes d'investissements forestiers ;
- on a aussi un problème de société car plantation et introduction de nouveau matériel sont assez mal vus.

Nous sommes bien conscients de ces faiblesses, ainsi que des risques, notamment :

- des risques techniques : on a peut-être des progrès à faire au niveau des plantations et du sol (les collègues de la R&D y travaillent) ;
- des risques écologiques : il ne s'agit pas d'introduire tout et n'importe quoi, qui puisse se disséminer et envahir complètement la flore locale.

Ce risque, on doit le prendre raisonnablement, car ne rien faire serait la pire des solutions. On a vu précédemment qu'il y a une gradation, selon la distance (écologique) d'introduction. Le risque peut être qualifié d'intermédiaire si on se place en limite d'aire et qu'on fait appel à nos cousins du bassin méditerranéen ; mais si on cherche beaucoup plus loin, chez les chênes voisins nord-américains ou chinois, le risque est beaucoup plus élevé.

Indépendamment des aspects techniques ou sociétaux, le risque inhérent à l'introduction d'une espèce revêt plusieurs aspects. On a des incertitudes sur les capacités d'adaptation de l'espèce et on peut aussi avoir des échecs dus à la compétition interspécifique : on n'est pas sûr de pouvoir réussir. Et puis il y a la question, que l'on nous pose souvent, de l'éventuelle hybridation avec les ressources (les essences) locales : que va-t-il se passer ? Est-ce que les hybrides auront une capacité d'adaptation supérieure ou au moins égale à celle de leurs parents ? Ne risque-t-on pas de perdre les ressources locales ? Mais on pourrait aussi retourner la question : est-ce si grave docteur ? Et est-ce que le jeu (l'enjeu) n'en vaut pas la chandelle ?

## Les principes étant posés, parlons stratégie et outils

Voyons d'abord les grandes étapes, avant d'entrer dans le détail.

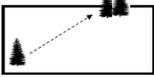
Il faut commencer par identifier les besoins, ou plutôt voir où sont les **grands enjeux d'adaptation**, les enjeux économiques pour toute la filière ; c'est important d'avoir un positionnement collectif sur cette question. Il nous faut aussi cerner la réaction probable des espèces en place, poser des diagnostics de vulnérabilité de la ressource avec des outils qu'on est en train de mettre au point.

Ensuite, il va falloir **rechercher des espèces candidates** pour la migration assistée. On ne part pas de zéro. On va voir ce que les tests anciens (tests génétiques, espèces) peuvent nous enseigner et comment on va pouvoir s'en servir.

Enfin on va amorcer la **mise en œuvre sur le terrain**, en travaillant selon une démarche collaborative. C'est aussi ce qui nous rassemble dans ce séminaire : partager, entre la R&D, le département Forêts et les gestionnaires, cet effort collectif face aux grandes questions que pose le réchauffement climatique. Le partager aussi au-delà de l'ONF, avec les collègues de la recherche et de la forêt privée ; car les questions qu'on se pose en forêt privée ou en forêt publique sont les mêmes. On y travaille au sein du RMT Aforce (Réseau Mixte Technologique pour l'Adaptation des Forêts au Changement climatique) dont la plupart des projets sont maintenant déposés conjointement.

**Des risques gradués** Office National des Forêts

Le risque dépend de la distance (écologique) d'introduction

	Expansion assistée de la distribution	Le mouvement, assisté par l'humain et en réponse aux changements climatiques, d'espèces <b>juste à l'extérieur de l'aire de distribution actuelle</b> de façon à faciliter ou mimer l'expansion naturelle de la distribution.	Risque intermédiaire
	Migration assistée sur de longues distances	Le mouvement, assisté par l'humain et en réponse aux changements climatiques, d'espèces à <b>l'extérieur de l'aire de distribution actuelle, sur des distances supérieures à celles accessibles par dispersion naturelle.</b>	Risque relatif élevé

**Des risques de natures différentes** Office National des Forêts

- Incertitude quant à la capacité d'acclimatation de l'espèce
- Lors de la migration assistée : la sélection et restriction de la diversité génétique peut limiter la capacité d'adaptation future de l'espèce
- Échec de la migration assistée due à la compétition interspécifique
- Hybridation intraspécifique et interspécifique avec une espèce locale
  - Est-ce grave ?

**Introduction : les étapes** Office National des Forêts

- Identification des besoins, ou plutôt des enjeux
  - Positionnement collectif, selon système productif et contexte écologique
  - Analyse de la vulnérabilité des espèces en place
  - Scénarios d'évolution du climat
  - Références ou d'outils d'évaluation de la réponse des espèces au climat
- Recherche des essences candidates
  - Références ou outils d'évaluation de la réponse au climat d'une large palette d'essences ou de provenances
- Tests de comparaison
  - Cibler et rationaliser l'effort : forces R&D limitées
- Plantations de référence
  - Raccourcir le délai expérimental et démultiplier les moyens par une approche collaborative
  - Mobiliser des sources de graines de qualité, anticiper les besoins en plants
  - Réunir les moyens financiers et techniques pour planter
  - Assurer la traçabilité et la valorisation collective des résultats

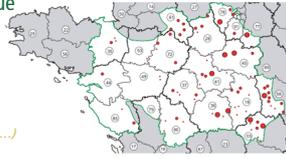
Positionnement collectif, selon système productif et contexte écologique : **Le projet RENEssences**



### Évaluer des nouvelles ressources génétiques forestières pour adapter la forêt au changement climatique

- Cibler les enjeux d'adaptation = enjeu de gestion X vulnérabilité ; ex :

- Chêne sessile dans le bassin ligérien
- Résineux de plaine (*pin sylvestre, laricia*)
- Résineux de moyenne montagne (*syllvestre, douglas...*)
- Résineux de montagne (*épicéa, sapin*)
- .....



- Pour chaque contexte, un nouveau dispositif expérimental

### Analyse de la compatibilité climatique des espèces en place : IKS



#### Évaluer l'aire de compatibilité climatique des essences : le modèle IKS

- Caractérisation du climat par des **variables** liées aux besoins physiologiques des espèces :

- 1 Recevoir suffisamment d'énergie : somme de degrés.jour ☀️
- 2 Ne pas subir de froid trop intense : T<sub>min</sub> du mois le plus froid
- 3 Recevoir un apport en eau suffisant : déficit hydrique climatique

- Pour chaque espèce, les **seuils** sont définis en fonction de la distribution observée
- Outil en cours de développement, à l'attention d'experts du domaine aménagement
- Application pratique planifiée : Révision des tableaux-maîtres des DRA/SRA pour en proposer des évolutions



Caractérisation de l'aire de compatibilité climatique du chêne sessile par le modèle IKS (ici : aire de compatibilité actuelle)

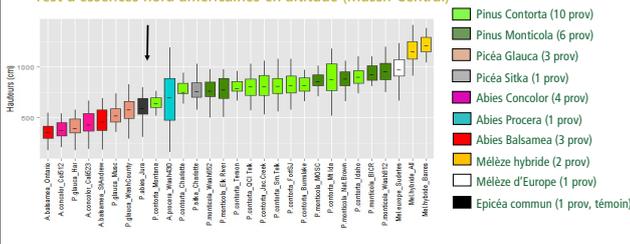
En couleur (violet, bleu, jaune), les zones d'incompatibilité (dépassement du seuil) pour la variable climatique considérée

### Recherche des essences candidates

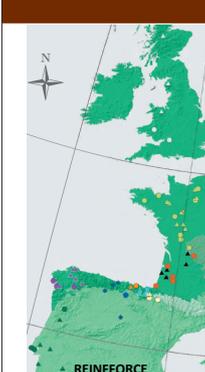


#### Revisiter les essais historiques

##### Test d'essences nord américaines en altitude (Massif Central)



### Évaluations de nouvelles ressources pour l'adaptation : de nombreuses initiatives



#### Valorisation de ressources existantes :

- Plantacom (INRA)
- VALORESO (FCBA, CNPF, INRA, ONF / AFORE)
- Évaluation des arboretums (INRA ONF)
- Enquête sur les introductions atypiques (ONF)

#### Nouveaux dispositifs :

- REINFORCE (11 instituts dont CNPF)

#### Connaissances, outils, méthodes :

- Guide expérimentation AFORE
- Projets AFORE en cours : Caravane, Trec, IKSMAFS
- Projet de la Villa Thuret sur l'acclimatation

⇒ Besoin d'intégration dans un plan d'ensemble  
Rôle fédérateur du RMT AFORE

**Cibler les grands enjeux d'adaptation**, c'est un travail que mène Yves Rousselle avec le projet RENEssences (Réseau d'Évaluation de Nouvelles Essences) du département RDI.

Pour voir quels sont les principaux enjeux d'adaptation, il faut croiser les questions majeures du point de vue de la gestion (importance économique de telle ou telle ressource pour la France, surfaces concernées) avec la vulnérabilité. Un certain nombre d'enjeux économiques ont ainsi été listés, et celui qui ressort en premier, sans surprise, c'est le chêne sessile dans le secteur ligérien. Mais pour ce qui concerne la vulnérabilité, comment approcher la question ?

En pratique, on cherche à estimer l'aire de compatibilité climatique des essences dans le temps, et le modèle IKS que Myriam Legay développe va nous y aider. Ce modèle IKS caractérise le climat par trois variables liées aux besoins des espèces, qui sont :

- 1/ recevoir assez d'énergie (nombre de degrés.jour) ;
- 2/ ne pas subir trop de froid intense (température minimum du mois le plus froid) ;
- 3/ recevoir assez d'eau pour pouvoir continuer à pousser (déficit hydrique climatique).

Pour une espèce donnée, des seuils sont définis en fonction de la distribution observée. En comparant un climat actuel ou futur avec ces seuils, ici pour le chêne sessile, le modèle fournit des cartes de compatibilité climatique pour les 3 critères, soit de gauche à droite : l'énergie, le froid, et l'eau. Dans le secteur ligérien, on voit une tache jaune qui indique que la zone de compatibilité du chêne sessile est déjà limitée et risque de se réduire avec le temps, du fait du déficit hydrique.

Dans un premier temps cette démarche a été appliquée au chêne sessile et au hêtre, et maintenant elle est ouverte à une dizaine d'espèces.

Ensuite, **comment trouver des essences qui conviennent ?** On peut déjà revisiter, avec les collègues de l'INRA notamment, l'ensemble de nos essais anciens (y compris les arboretums) sous un angle nouveau. En voici un exemple parlant (mais qui n'a rien à voir avec la chênaie) : un test d'essences résineuses diverses dans le Massif Central. En noir, c'est l'épicéa, qui pousse localement et sert de témoin, et en couleurs, ce sont les différentes espèces testées (une espèce = une couleur) : des espèces américaines de pins, sapins ou épicéas, et aussi des mélèzes. Le test portait aussi sur la variabilité au sein d'une espèce : voir si (et comment) les diverses provenances expriment des différences. Les résultats sont ordonnés ici selon la performance de croissance en hauteur, et on voit bien que ce dispositif, qui a plus de 20 ans, offrait de ce point de vue des solutions qui pouvaient être bien meilleures que l'épicéa. Ce faisant, il apporte aussi des informations précieuses sur les espèces et, à l'intérieur des espèces, sur la diversité génétique et les provenances.

Mais on compte aussi sur de nouveaux dispositifs, comme le réseau REINFORCE (RÉseau INFrastructure de recherche pour le suivi et l'adaptation des FORêts au Changement climatique). Ce réseau, représenté sur la carte, consiste en un ensemble d'arboretums et de sites de démonstration pour suivre l'adaptation de 32 espèces forestières au changement climatique : il a été mis en place sur l'arc Atlantique il y a 7-8 ans et a déjà fait l'objet de premières analyses à 5 ans. On a donc des connaissances certaines. On a aussi, avec le RMT AFORE, des outils et méthodes pour aider à passer à l'action : un guide d'expérimentation et des applications en cours de développement. Et on tâche d'intégrer tout ça dans un plan d'ensemble.

**Caravane : outil pour choisir les essences** Office National des Forêts

Compatibilité climatique

Facteurs limitants

Quelle essence ?

Base de données

Cartographie des références

Fiche essence

AFORCE

Le choix des essences est loin d'être évident, et c'est pour le guider que nous avons conduit, sous l'égide du RMT AFORCE (voir encadré), le projet CARAVANE (Catalogue RAisonné des VAriétés Nouvelles à Expérimenter). Le travail a consisté tout d'abord à collecter toute la bibliographie et toutes les informations disponibles (données terrain, données d'anciens dispositifs) sur plus d'une centaine d'espèces. Tout cela a été compilé dans des fiches essences et transposé sous la forme d'une base de données interrogeable à distance, où ces informations sont organisées selon 37 critères : le type de sol sur lequel pousse l'essence, la productivité, la qualité du bois, la résistance à la sécheresse, etc. La base donne accès pour certaines espèces aux cartes de compatibilité et graphes de facteurs limitants d'IKS, et fournit une cartographie des références (sites des essais expérimentaux incluant l'essence considérée). Toutes ces informations vont être accessibles grâce à l'application Caravaniks (nom provisoire) qui verra le jour, en test dans un premier temps, début 2019.

**Le RMT AFORCE – Adaptation des forêts au changement climatique**

AFORCE est un réseau mixte technologique (RMT) qui a pour objectif d'accompagner les forestiers dans l'adaptation des forêts aux changements climatiques tout en renforçant leur capacité d'atténuation. <https://www.reseau-aforce.fr/>

Un RMT est une forme de partenariat née de la loi d'orientation agricole de janvier 2006 et qui vise à développer des relations de travail approfondies entre acteurs Recherche – Formation – Développement agricole ou forestier sur des thèmes d'intérêt commun à vocation nationale, et constituer ainsi des groupements de compétences visibles et reconnus sur une thématique de développement.

Ceci dit, l'information de terrain disponible provient de dispositifs qui avaient été mis en place pour trouver la meilleure espèce/provenance au meilleur endroit. En conséquence, ces dispositifs ne répondent que très partiellement à ce qui nous intéresse aujourd'hui : le comportement des espèces/provenances en limite d'aire et non pas au cœur de l'aire. Il va donc falloir **installer de nouveaux tests de comparaison** dans des conditions un peu extrêmes. C'est ce proposent le projet RENEssences de l'ONF (département RDI) et plus largement le projet multipartenaire ESPERENSE.

Prenons le cas de la chênaie ligérienne : quelle essence pour maintenant et pour le futur, dans 30 ans et dans 50 ans ? Comme on ne peut pas se déporter dans le temps, on va chercher, à travers la projection des scénarios climatiques, où trouver actuellement les conditions du futur : c'est par exemple dans les Charentes ou, encore plus drastique, dans le Sud-Ouest. Nous allons donc implanter dans ces différents endroits les mêmes dispositifs avec les mêmes espèces. De même, on peut chercher des zones d'accueil plus au nord pour le chêne de Bercé ; des zones de repli pour notre production. Et parce que ça ne suffit pas, parce qu'on n'a pas le temps d'attendre les résultats, nous vous proposons de **compléter ces dispositifs R&D par des îlots d'avenir**, les petits satellites bleus sur la carte.

En pratique, pour chacun des grands enjeux, nous voulons prospecter le plus largement possible : une vingtaine d'espèces et 3 provenances pour chacune, soit une soixantaine d'unités génétiques. Pour la chênaie, l'idée est de tester :

- deux ou trois provenances de chêne sessile (migration assistée simple) ;
- d'autres essences de chênes : chêne pubescent et autres chênes thermophiles, que l'on pourrait aller chercher autour du bassin méditerranéen ;
- d'autres essences de feuillus voire peut-être aussi des essences résineuses pour parer à toute éventualité (situations très contraignantes) ;
- et, en zone d'accueil, nos provenances de chêne ligérien.

**RENEssences : Tests de comparaison** Office National des Forêts

Pour chaque enjeu :

- 4 à 5 dispositifs de type R&D installés selon un gradient climatique :

- Des îlots d'avenir dans le cadre de la forêt gérée

En complément, un réseau plus exploratoire, pour des espèces très peu connues, constitué uniquement de dispositifs Recherche

**RENEssences : les ressources à tester** Office National des Forêts

Par enjeu : ~ 20 espèces X 3 provenances

Ex : cas du chêne ligérien,

- zone d'enjeu et zones de climat futur :
  - Provenances locales de chêne sessile
    - Autres provenances de chêne sessile
    - Chêne pubescent et autres chênes thermophiles
    - Autres espèces feuillues (liste de candidats à établir)
  - Espèces résineuses (liste de candidats à établir)
- ...et en zone d'accueil ?
  - Espèces et provenances des zones de départ
  - En comparaison avec les principales espèces locales

**RENEssences : installation et suivi envisagé** 

Dispositifs R&D : installation

- 24 plants \* 3 blocs \* 60 unités génétiques = 4320 plants
- Avec une densité de 1000 plants / ha : 4 à 5 ha
- Mêmes unités génétiques testées dans la zone d'enjeu et les zones de climat analogue au climat futur
- Caractérisation pédologique
- Caractérisation climatique (stations météo ?)
- Suivi sanitaire

Dispositifs R&D : suivi

- Mesures périodiques : tous les ans, puis tous les 5 ans



**Plantations de référence: Ilots d'avenir** 

Objectifs:

- Démultiplier les surfaces et nombres de plantation des unités génétiques
- Appropriation des nouvelles espèces/provenances

Enjeux:

- Utiliser les unités génétiques testées dans les dispositifs R&D
- Tracer l'installation
- Enregistrement des accidents
- Mesures ?...ou évaluation a posteriori

Constitution

- Un îlot d'avenir ne contient qu'une seule unité génétique
- La surface d'un îlot d'avenir est comprise entre 0,5 ha et la taille d'une parcelle forestière



**Conclusion** 

- L'introduction de nouvelles ressources pour l'adaptation : une option d'adaptation transformationnelle
- De nombreuses incertitudes à lever centrées sur l'évaluation des ressources candidates
- La nécessité de progresser ensemble sans attendre tous les résultats
- Attendre et ne rien faire est la pire des solutions



Nous allons rechercher des terrains pour l'installation de ces dispositifs R&D, qui représentent quelque 4 300 nouveaux plants sur 4 à 5 ha. Nous essaierons de les caractériser de la manière la plus fine possible à travers le climat, le sol, et un suivi sanitaire. Et nous y ferons des mesures périodiques (tous les 5 ans par exemple) de survie, de hauteur, de croissance, etc.

Dans le même temps, nous comptons sur les services de gestion pour implanter des îlots d'avenir qui viendront compléter cet effort nécessaire et considérable, mais forcément limité. L'objectif c'est de démultiplier en surface et en nombres de plantation les unités génétiques, afin d'explorer le plus possible de conditions pédo-climatiques. L'avantage est aussi d'**avancer ensemble, R&D et services de gestion**, car la rapidité des changements climatiques ne permet plus d'attendre une réponse ferme de la recherche avant de se lancer : il faut tester des choses avec une prise de risque aussi pour le gestionnaire.

L'idée c'est d'utiliser les mêmes unités génétiques, celles qui auront été définies pour l'enjeu concerné (en l'occurrence pour la chênaie du bassin ligérien), et de bien tracer l'installation, enregistrer les accidents. Il y a là un gros challenge : être capable de faire remonter l'information et de la stocker correctement pour pouvoir ensuite l'analyser. Enfin, pour nous, un îlot d'avenir n'est constitué que d'une seule unité génétique (mais c'est encore en tractation) et sa surface est au minimum de 0,5 ha pour avoir suffisamment d'individus et qu'on puisse en tirer quelque chose, aussi en termes de sylviculture.

### J'en arrive à la conclusion

L'introduction d'une nouvelle ressource pour l'adaptation, c'est une option mais une option qui nécessite de transformer les choses. Or ce n'est pas facile de transformer, de changer la façon dont on fonctionnait jusqu'à présent. On a de nombreuses incertitudes, mais il va falloir s'habituer à vivre avec. Et il y a vraiment une nécessité impérieuse de travailler tous ensemble : au-delà de la recherche en forêt publique / forêt privée avec les organismes de recherche, on a besoin pour ces nouvelles actions de travailler aussi avec les gestionnaires. Encore une fois, attendre et ne rien faire serait la pire des solutions ; il faut diversifier nos approches et nos méthodes.

Merci pour votre attention.