



Dans le monde

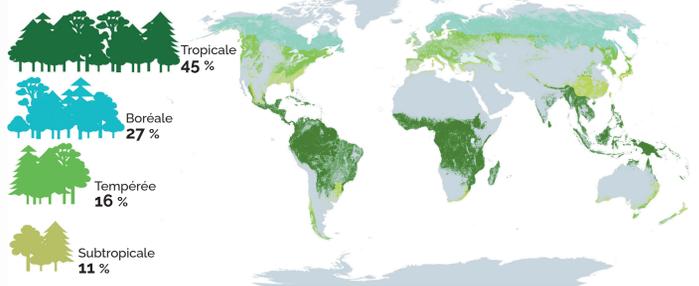
4,0 milliards d'hectares

31 % de la surface terrestre

75 000 espèces d'arbres

3 000 milliards d'arbres

422 arbres/personne



- 2^e puits de carbone de la planète
- 20 % des émissions mondiales de CO₂ séquestrées
- 1^{er} réservoir de biodiversité terrestre

36 % Forêts primaires 57 % Forêts secondaires 7 % Forêts plantées

› Actions humaines récentes
› Régénérées naturellement



Déforestation & Dégradation
- 10 millions ha/an



Afforestation & Reforestation
+ 5 millions ha/an



› Processus écologiques intacts
› Pas de perturbation récente

› Le plus souvent monospécifiques

En France

17,3 millions d'hectares en métropole



Des conditions pédo-climatiques variées :
une forêt diversifiée

4^e forêt européenne en surface

31 % taux de boisement

11,3 milliards d'arbres

55 millions m³ de bois récoltés/an
(1/2 de l'accroissement annuel)
dont 40 millions m³ commercialisés

13 % de plantations (surface)

450 000 emplois

8,0 millions d'hectares en Guyane

1 712 espèces d'arbres décrites
96 % taux de boisement



Surface forestière



En Nouvelle-Aquitaine

2,9 millions d'hectares

90 % privées 10 % publiques

34 % taux de boisement

10 millions m³ de bois récoltés/an

24 % production nationale

59 000 emplois

- Des forêts variées et productives
- Le pin maritime : 9 millions m³ de bois récoltés/an
- Bois d'œuvre, d'industrie et d'énergie
- Dynamisme du secteur Recherche Développement Innovation



MULTIFONCTIONNALITÉ DES FORÊTS



Espace de bien-être individuel et social



- Qualité des paysages
- Accueil du public
- Activités de loisir



- Éducation à la protection de l'environnement

Réservoir de biodiversité



- Enjeu éthique : celui de la vie sur Terre !
- Nombre d'espèces dans les forêts de métropole :
136 arbres, 73 mammifères, 120 oiseaux, 72 % de la flore, 30 000 champignons, 30 000 insectes
- Lien entre biodiversité et santé des écosystèmes :
levier d'adaptation et source de "solutions" fondées sur la nature



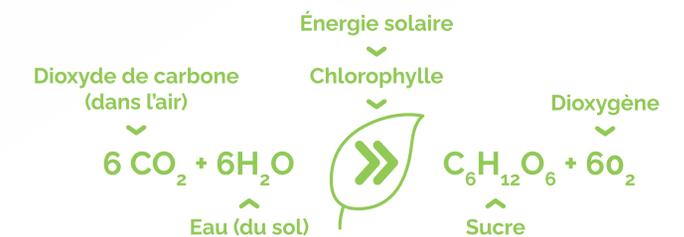
Source de matières premières

- Production de bois (bois d'œuvre, d'industrie, de chauffage)
- Stockage du carbone dans le bois
- Substitution au béton et à l'acier
- Emploi dans les territoires ruraux
- Aménagement des territoires



Puits de carbone

- Séquestration du CO₂ (arbre et sol) :
7-10 % des émissions nationales en 2024



- 2nd puits de carbone de la planète
- Capacité d'atténuation du réchauffement climatique

Régulation et protection

- Climatise
Baisse de la température sous la canopée (ombrage et évapotranspiration)
- Filtre l'eau et l'air
- Épuration naturelle de l'eau de pluie lors de son cheminement dans le sol
- Amélioration de la qualité de l'air (filtration des poussières et des pollutions atmosphériques)
- Génère les pluies



- Protège contre les risques naturels
crues torrentielles, chutes de pierres, avalanches, glissements de terrain



- Protège de l'érosion
sols & dunes littorales



Contributions

- Matérielles
- Immatérielles
- Régulatrices

CESTAS-PIERROTON

HISTOIRE D'UN SITE DE RECHERCHE SUR L'ARBRE ET LA FORÊT



1864

Construction du château par un négociant bordelais



1898

Acquisition du domaine par une société agricole puis installation de la congrégation des Pères du Saint-Esprit dans le Château (sanatorium)

1930

Acquisition par l'Etat (Administration des Eaux et Forêts) et achat de terrains

1946

Création de l'INRA

1949

Cestas « L'incendie du siècle »
52 000 ha et 82 victimes

1950

Création à Bordeaux d'une annexe de la station de recherche forestière de Nancy et à Pierroton d'un domaine expérimental

1950-1965

- > Germination du pin maritime
- > Gemmage (production de résine)
- > Installation d'arboretums
- > Essais de fertilisation



1964

Rattachement à l'INRA

1990 > Aujourd'hui

- > Consortium pour la création variétale du pin maritime
- > Déterminants moléculaires, physiologiques, génétiques et environnementaux du fonctionnement de l'arbre et de la forêt
- > Surveillance de la ressource forestière : santé, biodiversité, bois
- > Dynamique et rôle fonctionnel de la biodiversité
- > Vulnérabilité des arbres aux aléas biotiques et abiotiques
- > Gestion adaptative des forêts et maintien des services écosystémiques



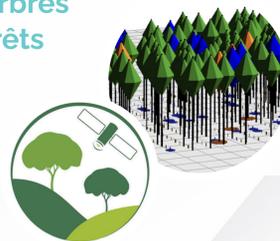
1990 > Aujourd'hui

Développement des infrastructures de recherche, association avec l'Université de Bordeaux et coopération internationale



1975-1990

- > Stratégie d'amélioration génétique : pin maritime, chêne rouge, tulipier de Virginie, pin laricio
- > Description de la diversité génétique des arbres
- > Étude des ravageurs et pathogènes des forêts
- > Modélisation de la croissance
- > Développement de la télédétection et suivi des dynamiques forestières



1967-1975

Acquisition de parcelles et création d'une pépinière

1965-1970

- > Programme d'amélioration génétique du pin maritime : variabilité géographique et sélection des arbres élites en forêt landaise
- > Méthodes de gestion sylvicole
- > Étude des sols
- > Entomologie forestière



1966

Développement de la recherche à Pierroton

2020

Création d'INRAE

Aujourd'hui > le site en chiffres

400 hectares pour l'expérimentation

120 personnes

3 laboratoires de recherche

> UEFP : Unité Expérimentale Forêt Pierroton

> BIOGECO : biodiversité gènes et communautés

> ISPA : interactions sol-plante-atmosphère

3 plateformes technologiques

> PGTB : Analyse du génome

> PHENOBOIS : Mesure des propriétés physico-chimiques des bois et hydrauliques des arbres

> XYLOSYLVE : Évaluation environnementale de plantations à croissance rapide

1 pôle forestier en Nouvelle-Aquitaine

R&D : Institut Européen de la Forêt Cultivée

R&D : Institut Technologique FCBA

R&D : Département Santé des Forêts

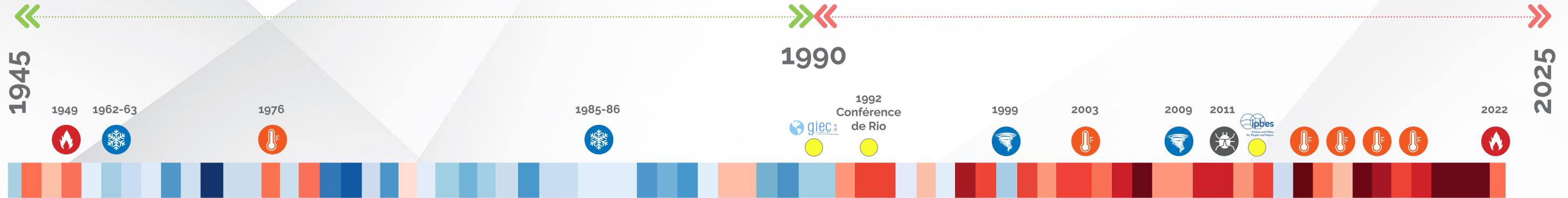
Coopérative forestière : Alliance Forêts-Bois





Approche agronomique
des sylvicultures du pin maritime

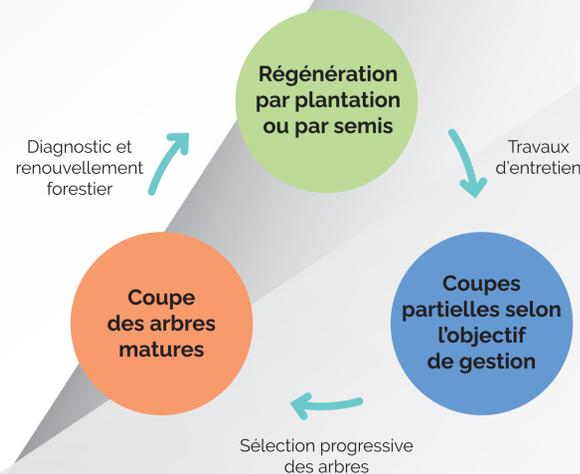
Recherches pour une gestion durable
et multifonctionnelle des forêts



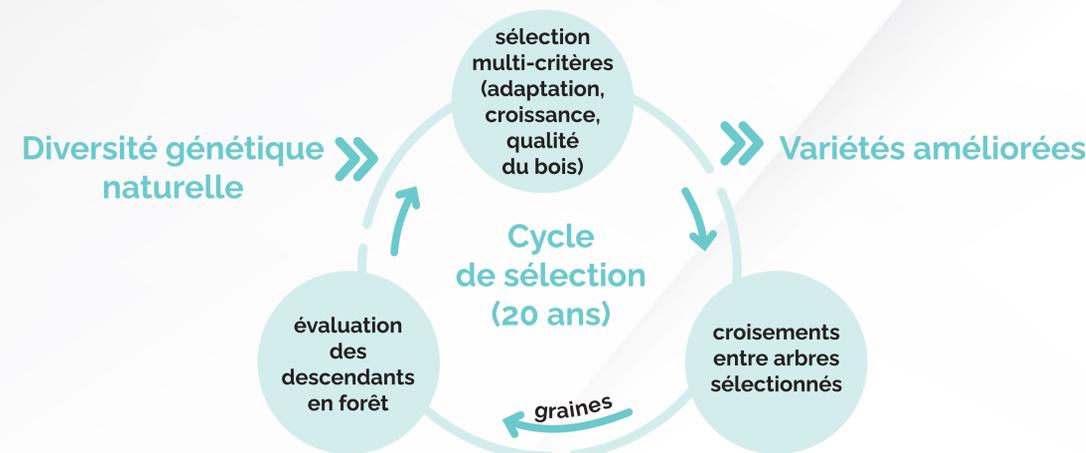
Évolution de la température de la France métropolitaine depuis 1945



Principales étapes de la forêt cultivée de pin maritime



Amélioration génétique du pin maritime



Les 3 piliers de la gestion durable





3 grands thèmes de recherche



Effet des changements globaux sur les écosystèmes forestiers et la fourniture des services écosystémiques



Structure, fonction et évolution de la biodiversité : des gènes aux communautés d'organismes

Grands cycles du carbone et des nutriments dans les écosystèmes forestiers : transferts entre sol, arbre et atmosphère

Leviers d'une gestion sylvicole adaptative, productive et favorable à la biodiversité

Observer



- ◊ Flux de carbone et d'eau entre la forêt et l'atmosphère
- ◊ Composantes de la biodiversité et de l'environnement
 - ◊ Croissance et fonctionnement physiologique
 - ◊ Nutrition minérale et carbonée
 - ◊ Santé des forêts

...



Analyser



- ◊ Impact du dérèglement climatique sur la biodiversité
 - ◊ Génomes des arbres et organismes associés
 - ◊ Propriétés physico-chimiques des sols
 - ◊ Causes de dépérissement des forêts
 - ◊ Structure des peuplements forestiers
 - ◊ Architecture des arbres

...



Expérimenter



- ◊ Capacités adaptatives des populations et des espèces d'arbres
- ◊ Réponse des arbres aux stress
- ◊ Options de gestion sylvicole

...

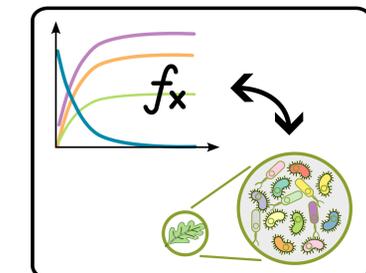


Modéliser



- ◊ Cycles du carbone et des nutriments
- ◊ Aires de distribution des espèces
 - ◊ Interactions biotiques
 - ◊ Capacité d'adaptation
 - ◊ Gestion sylvicole

...



Gérer et diffuser l'information



- ◊ Publications scientifiques
- ◊ Communiqués de presse
- ◊ Enseignement/formation
- ◊ Recherche participative



Un suivi global, temporel
(journalier-annuel)
et historique
(e.g. depuis 1972 pour Landsat)

Suivi de la gestion sylvicole
et des dommages

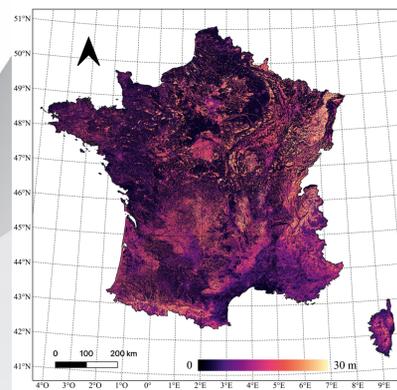
Suivi de la biodiversité

- Typologie forestière
- Reconnaissance des espèces

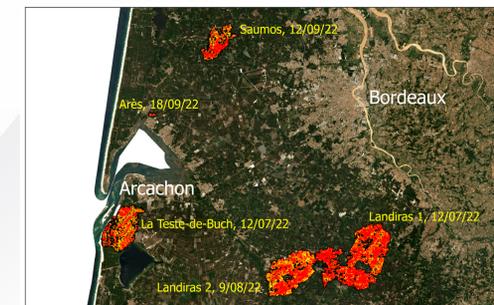


Suivi annuel
des ressources forestières

- Hauteur (e.g. carte France à 10m)
- Biomasse (e.g. carte France à 30m)
- Volume, densité, etc.



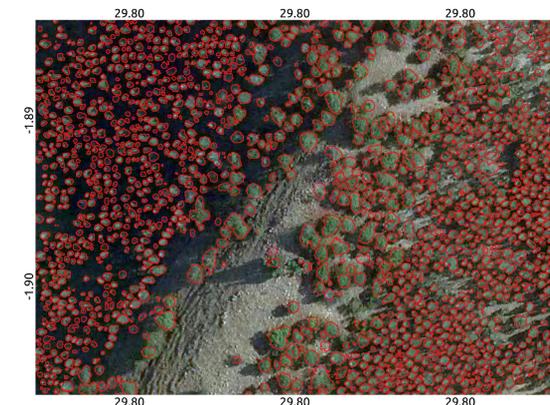
- Impacts des perturbations biotiques et abiotiques



Les grands incendies girondins de 2022

Suivi de la couverture forestière

Résolution : jusqu'à la cartographie de la couronne
individuelle des arbres (forêt, milieu urbain)



Des données essentielles :

- La gestion durable des forêts
- Les réglementations internationales en matière de suivi et protection des forêts (suivi de la déforestation, des replantations, des zones protégées...)

1

3

2

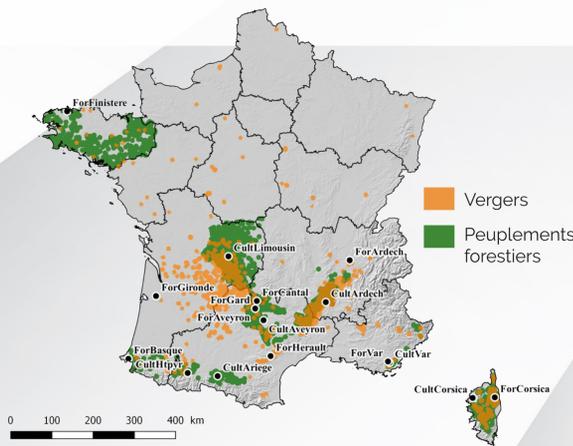
4

LUTTE BIOLOGIQUE : UN VIRUS DE CHAMPIGNON PATHOGÈNE AU SECOURS DES CHÂTAIGNIERS



Le châtaignier en France

3^e essence feuillue, à usages multiples : bois, châtaignes, miel...



Forêts de châtaigniers (où le châtaignier représente au moins 75 % du couvert, données IGN)



La maladie du chancre du châtaignier

1

- À partir de 1956, une épidémie de chancre du châtaignier se propage rapidement sur tout le territoire français.
- Cette maladie est causée par un champignon (*Cryphonectria parasitica*) qui infecte les troncs et branches et provoque des lésions chancreuses et la mortalité des arbres.

2

Une méthode de lutte biologique contre le chancre du châtaignier

- Les recherches menées à INRAE ont permis de mettre au point une méthode de lutte biologique contre le chancre utilisant des souches hypovirulentes.
- Ces souches sont commercialisées sous licence INRAE (depuis 2021, sous le nom HYPOCRYPHO). Leur application sur des arbres malades permet d'éviter en vergers de grosses pertes de production de fruits.
- La propagation par voie naturelle des souches virosées permet de diminuer fortement la sévérité de la maladie en forêts.

3

Mais le chancre n'est pas une fatalité...

- Les souches de *C. parasitica* infectées par un virus (*Cryphonectria Hypovirus*) ont un faible pouvoir pathogène,
- Ces souches hypovirulentes permettent à l'arbre de cicatriser,
- Le virus peut se transmettre à une souche virulente et la rendre ainsi hypovirulente.

4



Au laboratoire, la couleur des cultures permet de reconnaître les souches virosées



Chancre cicatrisés:
A > après traitement avec des souches hypovirulentes
B > après transmission naturelle du virus

Application de souches hypovirulentes sur un chancre



Vergers de châtaigniers

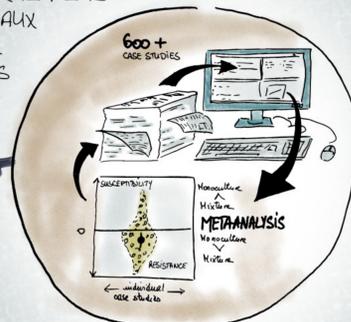
Ainsi, grâce au *Cryphonectria Hypovirus* le châtaignier européen a survécu à l'épidémie de chancre et occupe encore une place importante dans les paysages français.



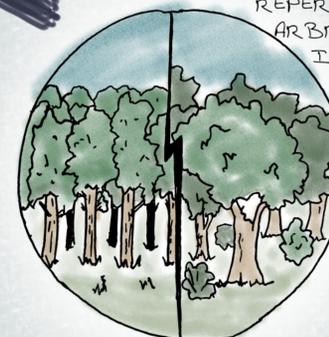
LA MAJORITE DES GRANDES FORETS DE PLANTATION SONT GERES EN MONOCULTURE. TOUS LES ARBRES APPARTIENNENT A LA MEME ESPECE : PIN MARITIME, DOUGLAS, EPICEA PEUPLIER POUR LES PRINCIPALES ESPECES DES FORETS FRANÇAISES



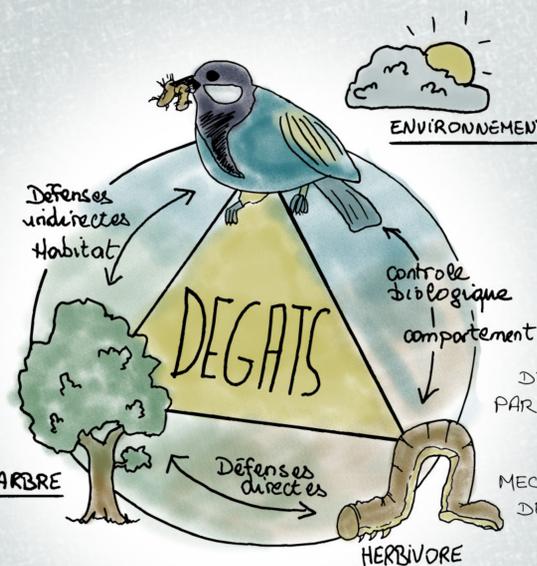
OR, LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE INDIQUE QUE LES MONOCULTURES SONT EN GENERAL PLUS VULNERABLES AUX ATTAQUES PAR LES INSECTES HERBIVORES



CELA S'EXPLIQUE PAR LE FAIT QUE DANS LES FORETS MELANGEES, LES INSECTES ONT PLUS DE DIFFICULTES A REPERER ET COLONISER LEURS ARBRES HOTES, SUR LESQUELS ILS PEUVENT SE NOURRIR



DIVERSITE des arbres & RESISTANCE aux attaques d'INSECTES HERBIVORES



C'EST PARCE QUE NOUS ETUDIONS A LA FOIS LES ARBRES, LES INSECTES HERBIVORES ET LEURS PREDATEURS, SOUS DIFFERENTS CLIMATS ET PAR DIFFERENTES APPROCHES QUE NOUS ARRIVONS A DECORTIQUER LES MECANISMES DE RESISTANCE DES FORETS AUX INSECTES HERBIVORES

PAR AILLEURS, LES PREDATEURS DES INSECTES HERBIVORES SONT EN GENERAL PLUS ABONDANTS, PLUS DIVERSIFIES ET PLUS EFFICACES DANS LES PEULEMENTS MELANGES OU ILS CONTRIBUENT MIEUX A LA REGULATION DES HERBIVORES



LES EXPERIENCES QUE NOUS MENONS SONT REPETEES DANS DE NOMBREUX AUTRES PAYS. CELA PERMET DE COMPARER LES EFFETS DE LA DIVERSITE DES ARBRES SUR LA RESISTANCE DES FORETS AUX INSECTES HERBIVORES SOUS DIFFERENTS CLIMATS.



ET MEME AUGMENTER LES CAPACITES DES ARBRES A PRODUIRE LEURS PROPRES DEFENSES CONTRE LES INSECTES HERBIVORES



DE PLUS, NOS EXPERIENCES ONT MONTRÉ QUE LE FAIT D'AVOIR DES VOISINS D'UNE AUTRE ESPECE PEUT MODIFIER LA QUALITE DES FEUILLES DONT LES INSECTES HERBIVORES SE NOURRISSENT...

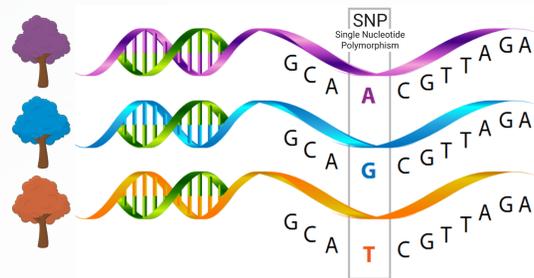


Comment reconstituer l'histoire des chênes ?

Le génome : un livre d'histoire



Les variations des séquences d'ADN (mutations) témoignent de la formation de nouvelles espèces, de leurs voies de migration et de leur évolution démographique. Les variations de l'ADN très nombreuses chez les chênes permettent la reconstruction rétrospective de ces événements.



Les restes fossiles : les témoins de l'histoire



Les arbres ont laissé de nombreux fossiles : grains de pollen dans les sédiments, macro-fossiles sous forme de bois ou de graines, restes archéologiques dans les constructions humaines. Ces fossiles peuvent être datés et permettent la reconstitution de l'histoire évolutive des espèces sur des millions d'années.



L'ADN ancien : le récit de l'histoire



Il est actuellement possible d'extraire de l'ADN de macro-fossiles ou restes archéologiques datés de l'âge de Bronze : ici restes de pieux ayant servi à des constructions lacustres présents au fond des lacs alpins. L'assemblage de données génétiques et paléontologiques permet de reconstituer les trajectoires démographiques et évolutives des chênes.

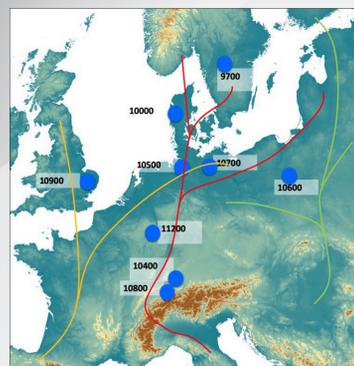


Que nous apprend cette histoire ?

Les chênes, migrants du monde végétal



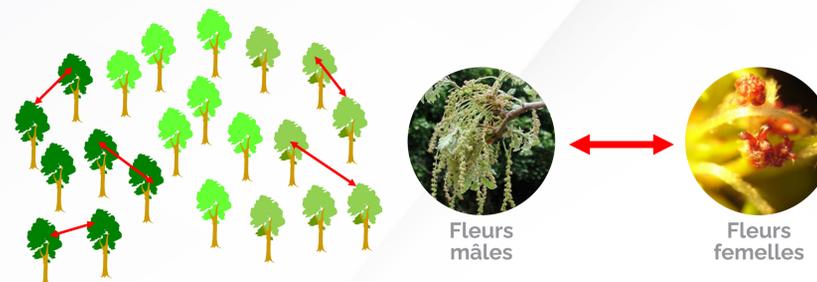
La distribution actuelle des chênes en Europe tempérée résulte de la colonisation lors du réchauffement postglaciaire (depuis 15 000 ans) à partir du Sud de l'Europe (Espagne, Italie, Balkans).



Un brassage génétique continu



Les trajectoires évolutives actuelles et passées sont marquées par des échanges continus et massifs de gènes entre populations et entre espèces principalement par flux de pollen. Ces échanges ont permis de maintenir des niveaux élevés de diversité génétique, d'accélérer la migration et ont contribué au transfert d'adaptations entre populations et espèces.



Une évolution rapide et de réelles capacités d'adaptation



Les tests de provenances mis en place à l'échelle du continent européen ont montré que les populations de chênes se sont adaptées aux conditions locales en peu de générations. Elles ont pu suivre l'évolution climatique et s'adapter grâce à leur réservoir de diversité génétique.



Deux populations de chêne sessile du jardin commun de Sillegny (57)

DES RECHERCHES ET DE L'INNOVATION POUR LA GESTION DURABLE DES PEUPELEMENTS DE PIN MARITIME

Le pin maritime, une espèce forestière endémique bien adaptée aux conditions pédo-climatiques du sud-ouest. 2^e essence la plus productive en France métropolitaine (puits de carbone)
 Une forêt cultivée à vocation de production de bois (25 % du bois récolté en France et transformé localement) et qui fournit de nombreux services associés (protection du littoral, loisirs)
 De nouveaux défis à relever : déclin des surfaces productives, conséquences du changement climatique, bioagresseurs envahissants...

Diversité génétique : conservation et création variétale



- Étude de la diversité génétique
- Conservation *in situ* et *ex situ*

de populations issues de l'aire naturelle du pin maritime



Aire naturelle du pin maritime (Euforgen)

- Méthodologie de l'amélioration génétique : préservation de la diversité et du gain génétique sur le long terme



- Valorisation de la diversité génétique par la sélection de variétés améliorées : productivité, qualité du bois, adaptation aux aléas



Verger à graines de pins maritimes

Innovations sylvicoles : productivité et résilience



- Réseau expérimental en constant renouvellement...

- Prise en compte de la biodiversité végétale : gestion du sous-bois, mélanges d'espèces d'arbres, lisières feuillues



Lisière de feuillus autour de parcelle de pins maritimes



Plantation mélangée bouleau-pin

- Maintien de la fertilité des sols : raisonner les récoltes et compenser si nécessaire, expérimenter des cultures de légumineuses en sous-bois

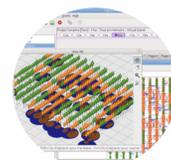
- Expérimentation d'options pour le renouvellement forestier selon les milieux (ex : dunes) ou le contexte (ex : post-incendies)

- Adaptation au stress hydrique estival : densité des peuplements, gestion du sous-bois, variabilité génétique du pin maritime

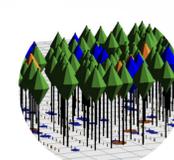


Dispositif expérimental de débroussaillage

- ...au service du développement d'outils d'aide à la gestion : modélisation mathématique de la dynamique forestière



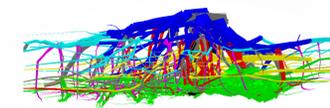
logiciel capsis, modèles PP3 et Pinuspinaster



Risques : adaptation aux changements globaux



- Compréhension de la résistance au vent et ancrage racinaire : simulation de l'aléa, itinéraires techniques d'installation, variabilité génétique et plasticité phénotypique



Architecture d'un système racinaire d'un pin maritime âgé de 50 ans sur un sol sableux avec un horizon induré. Les racines sont colorées par type racinaire. On observe une forte acclimatation vis à vis des vents dominants et la limitation de croissance en profondeur liée au type de sol

- Anticipation des méthodes de lutte contre le nématode du pin : évaluation de la résistance du pin en serre de confinement, étude de l'insecte vecteur, structuration du paysage forestier



Inoculation nématode du pin

- Surveillance et lutte contre les champignons pathogènes : inventaire bord de route, télédétection très haute résolution (drone), pulvérisation d'un champignon antagoniste sur les souches fraîches

- Maintien d'une bonne productivité dans les vergers à graines : suivi des fructifications et protection sanitaire



Leptoglossus occidentalis : punaise envahissante ravageur des cônes et des graines de pins