

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Le potentiel génétique au sein d'un peuplement est un facteur important à valoriser et à préserver dans le cadre de l'adaptation des forêts au changement climatique. La sylviculture a des impacts connus, mais encore mal quantifiés, sur la qualité génétique et le potentiel génétique futur d'adaptation.

Le projet IGS via le modèle démo-génétique LUBERON2 a souhaité, entre autres, comparer différentes sylvicultures en peuplement génétique hétérogène ; visualiser les interactions entre sylviculture et perturbations ou encore tester le devenir de différentes compositions génétiques initiales.

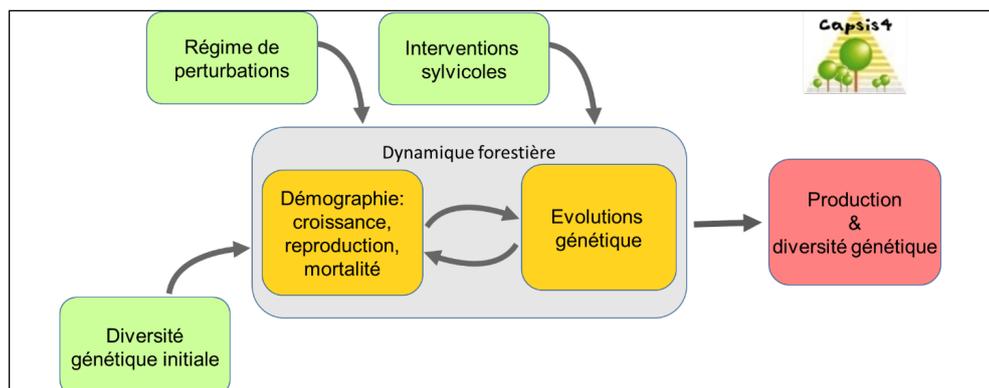
CONTENU DU PROJET



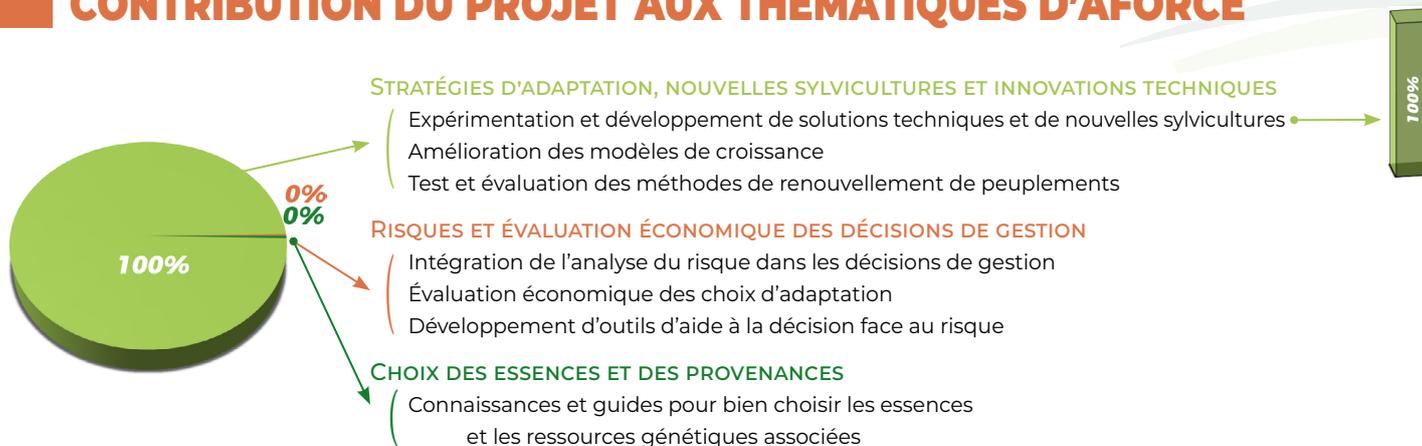
LUBERON2 (Fig. 1) est un module de simulation sur la plateforme CAPSIS couplant un modèle de croissance et régénération du Cèdre de l'Atlas avec des outils de prise en compte de la variation génétique de vigueur et de sensibilité aux perturbations et visualisation d'indicateurs de la diversité génétique.

Figure 1 :

Les trois composants du modèle démo-génétique sont (1) un modèle de croissance et dynamique de peuplement intégrant les effets génétiques, (2) un outil de génération de génotypes pertinents pour le peuplement initial, (3) des outils d'exploration des impacts génétiques.



CONTRIBUTION DU PROJET AUX THÉMATIQUES D'AFORCE



PARTENAIRES DU PROJET



Le pas de temps est annuel.

Les peuplements sont réguliers, par parquets ou bouquets paramétrables (15 m. x 15 m. par défaut) appelés « pixels ».

Chaque pixel contient des arbres individualisés et spatialisés et la régénération n'apparaît que dans ceux ayant au plus 3 semenciers.

Si le pixel colonisé n'était pas vide, les semenciers sont automatiquement éliminés 3 ans après l'arrivée des semis pour retrouver une structure régulière.

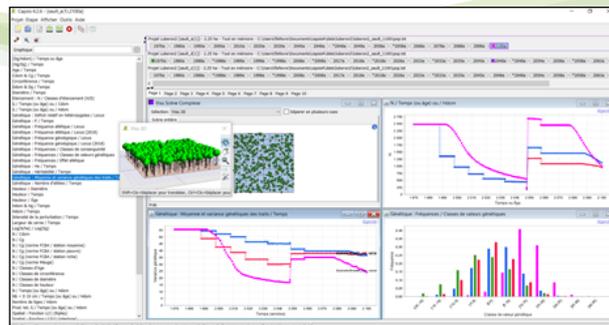


Figure 2 : Présentation du simulateur LUBERON2 sous CAPSIS.

Le peuplement (Fig. 2) est composé de **parcelles de fertilités différentes**.

Le module ne prend pas en compte la compétition entre arbres inter-pixels.

La croissance et la mortalité sont tirées du **modèle de croissance du Cèdre**¹ implémenté dans le modèle CA1 de la plateforme CAPSIS. La dispersion et la régénération sont similaires à celles du **modèle PDG**² et la partie de génétique quantitative s'appuie sur l'analyse des données du dispositif expérimental de Sault et sur des données issues de la littérature.

L'outil **METATROM**³ génère les **génotypes des individus du peuplement initial** de façon à respecter des valeurs de consigne de paramètres génétiques synthétiques à l'échelle du peuplement fournis par l'utilisateur (variance génétique, héritabilité, ...).

Pour chaque individu du peuplement initial, on crée des génotypes pour des gènes ayant un effet sur les caractères que l'on veut faire varier, que l'on appelle aussi **gènes à effets quantitatifs** ou QTL (actuellement la vigueur et la sensibilité aux perturbations) et pour des **gènes neutres sans effets** (de type marqueurs moléculaires).

SCÉNARIO SYLVICOLE

Succession d'étapes d'évolution (croissance, mortalité, fructification, dispersion et régénération) avec des **interventions sylvicoles** (contrôlées par l'utilisateur) et des **perturbations** (aléatoires) annuelles.

La croissance (en surface terrière) est définie par un potentiel de croissance. Dans chaque pixel, le modèle fait pousser en diamètre les arbres ayant atteint l'âge de recrutement (25 ans) ; le modèle de croissance n'étant pas calibré pour le jeune âge, les semis sont créés avec des valeurs dendrométriques initiales) correspondant aux dimensions à 25 ans et processus de croissance, reproduction et mortalité n'opèrent pas avant qu'ils n'aient atteint cet âge de recrutement.

La mortalité a lieu par auto-éclaircie quand la densité des arbres du pixel atteint le seuil défini par le modèle, les arbres les moins gros étant éliminés (sélection systématiquement « par le bas »).

Pour la régénération : les arbres ayant un diamètre suffisant, supérieur à 15 cm, peuvent produire du pollen et des graines, les quantités étant dépendantes de la circonférence de l'arbre.

On calcule le flux de graines de chaque mère (selon sa classe de fructification et sa distance) dans les pixels vides. La dispersion du pollen correspond au choix des pères des semis (panmixie, voisinage ou noyau de dispersion, l'autofécondation étant aussi paramétrable). Après avoir déterminé le nombre de semis que chaque mère envoie dans un pixel donné et les pères de ces semis, le modèle déduit les génotypes de chaque semis recruté en simulant la méiose et la recombinaison pour générer le gamète reçu de chaque parent.

Les perturbations sont incorporables dans un cycle d'évolution par l'utilisateur.

Elles provoquent la mortalité d'arbres selon des facteurs de vulnérabilité liés à la structure locale du peuplement (à l'échelle du pixel) ainsi qu'à la sensibilité individuelle des arbres, indépendamment de leur taille.

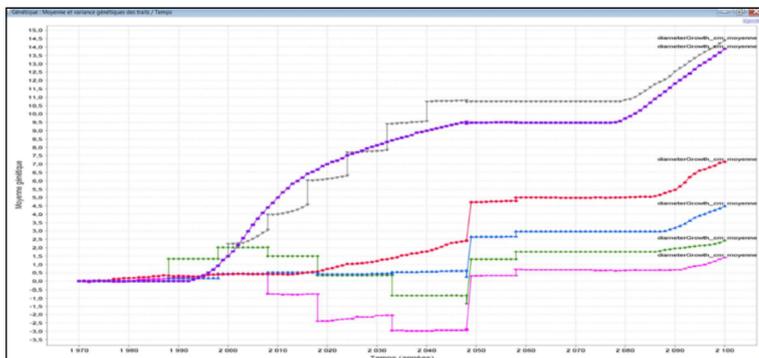
Les interventions : Les outils génériques de CAPSIS sont accessibles à chaque étape de l'évolution : éclaircies simples ou complexes sur l'âge ou sur les variables dendrométriques, sélection d'arbres individuels ...

EXEMPLE D'UNE SIMULATION ET DE RÉSULTATS GRAPHIQUES ASSOCIÉS

Une placette expérimentale de Cèdre de l'Atlas sur le dispositif sylvicole de Sault (84) est simulée entre 1970 et 2100 ; *Il faut distinguer le peuplement semencier jusqu'en 2048 et la génération suivante à partir de 2058*. Pour cet exemple, les données initiales sur le peuplement sont disponibles dans le rapport final du projet IGS.

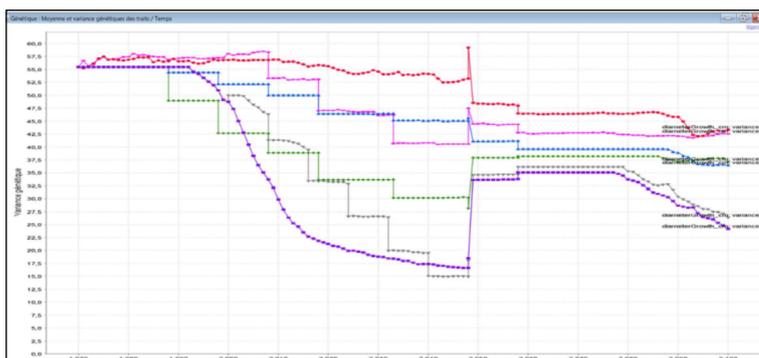
6 scénarios sylvicoles sont comparés. À chacun est associée une couleur (Fig. 3 et Fig. 4).

- **Sc. 1** : auto-éclaircie seule, sans intervention (**violet**), conduisant à une sélection continue et systématique des arbres les plus vigoureux ;
- **Sc. 2** : auto-éclaircie avec perturbations fortes quand la densité est forte, sans intervention (**rouge**) ;
- **Sc. 3** : régime de 5 éclaircies avant la coupe de régénération, en sélectionnant les arbres supprimés de façon à conserver la distribution des \emptyset , sans perturbation (**bleu**) ;
- **Sc. 4** : Identique au scénario 3, en supprimant d'abord les petits arbres sur les 1^{er} éclaircies, puis les gros arbres ayant atteint le \emptyset d'exploitabilité pour les éclaircies suivantes sans effort d'élimination des arbres les plus petits, sans perturbation (**vert**) ;
- **Sc. 5** : Identique au scénario 3, avec perturbations qui suppriment la nécessité des premières éclaircies ne laissant que les éclaircies qui éliminent des forts \emptyset (**rose**) ;
- **Sc. 6** : Récupération d'un peuplement en surdensité en 2000 sans intervention préalable, 8 éclaircies sont réalisées avec pour contrainte de finir sur le même nombre de semenciers que les scénarios précédents, sans perturbation (**gris**).



Gain génétique naturel au moment de la régénération, lié à la plus forte contribution des arbres les plus vigoureux.

Figure 3 : évolution de la valeur génétique moyenne du peuplement pour le caractère de vigueur. La valeur moyenne initiale est mise à 0 et sert de référence.



Changements de variance génétique au moment de la régénération, liés à l'arrivée de nouveaux géotypes par recombinaison génétique puis à l'élimination des semenciers dans les pixels colonisés par de nouveaux semis.

Figure 4 : évolution de la variance génétique additive pour le caractère de vigueur. La variance du peuplement initial est 55.28 (estimation sur la parcelle expérimentale de Sault).

Les principaux enseignements sont illustrés par les figures 3 et 4.

LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Il y a confirmation, à l'échelle d'une génération d'arbre, des impacts des scénarios sylvicoles sur la valeur génétique moyenne et la variance génétique d'un peuplement.

Il existe un antagonisme entre les objectifs à court terme (augmenter la moyenne génétique) et à long terme (limiter la perte de variance génétique). Un compromis est nécessaire entre ces objectifs.

L'ensemble des étapes d'un itinéraire sylvicole contribue à l'impact génétique final.

Les impacts génétiques d'un itinéraire sylvicoles peuvent varier en fonction du régime de perturbations.

PUBLIC CIBLE ET FINALITÉ DU PROJET

Difficulté d'appropriation : FAIBLE MOYENNE FORTE Absence de cette finalité pour ce public :

FINALITÉ PUBLIC CIBLE	Gestion	Recherche et développement	Pédagogie
	Outils et recommandations	Outils et création de contenu	Acquisition des connaissances
Propriétaires forestiers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Personnel forestier technique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Acteurs de la recherche et du développement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Étudiants de l'enseignement supérieur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Étudiants de l'enseignement technique	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Cet outil est principalement destiné aux **services de recherche et développement** afin de réaliser des simulations pour les gestionnaires. L'interprétation des résultats doit s'accompagner d'une attention particulière aux conséquences des choix de modélisations, et aux limites de validité du modèle qui ont été identifiées.

CASTING

Le coordinateur du projet est M. François Lefèvre (INRAE).

L'outil LUBERON2 a été réalisé à l'INRA par Mme Claire Godineau et M. Nicolas Beudez, avec l'appui de M. François de Coligny, Mme Sylvie Muratorio, M. Leopoldo Sanchez, M. François Courbet, Mme Christine Deleuze, M. Christian Pichot, M. François Lefèvre et des partenaires du projet « Évaluation des impacts génétiques de pratiques sylvicoles pour l'adaptation pour la conception ».

POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'information sur la [page projet IGS](#) du RMT AFORCE.

Le modèle LUBERON2 est disponible en libre d'accès sur la [plateforme CAPSIS](#) et un usage avancé permet aux développeurs de faire évoluer le code informatique. Un guide d'utilisateur est en rédaction. Après le projet IGS, LUBERON2 a continué d'évoluer avec le soutien du projet Européen B4Est.

¹ Courbet F., 2002. Modélisation de la croissance et de la qualité du Cèdre : intégration des modèles dans Capsis. In : Rapport convention MAPA-DERF / INRA n° 61.45.47/01.

² Oddou-Muratorio S., Davi H. 2014. Simulating local adaptation to climate of forest trees with a PhysioDemo-Genetics model. Evolutionary Applications 7:453-467.

³ NOVELTREE. 2009. Selection strategies adapted to adverse genetic correlations. Livrable 03.1 du projet Européen FP7 - 211868 Novel Tree Breeding Strategies (NOVELTREE).32p.

FINANCEURS DU PROJET

