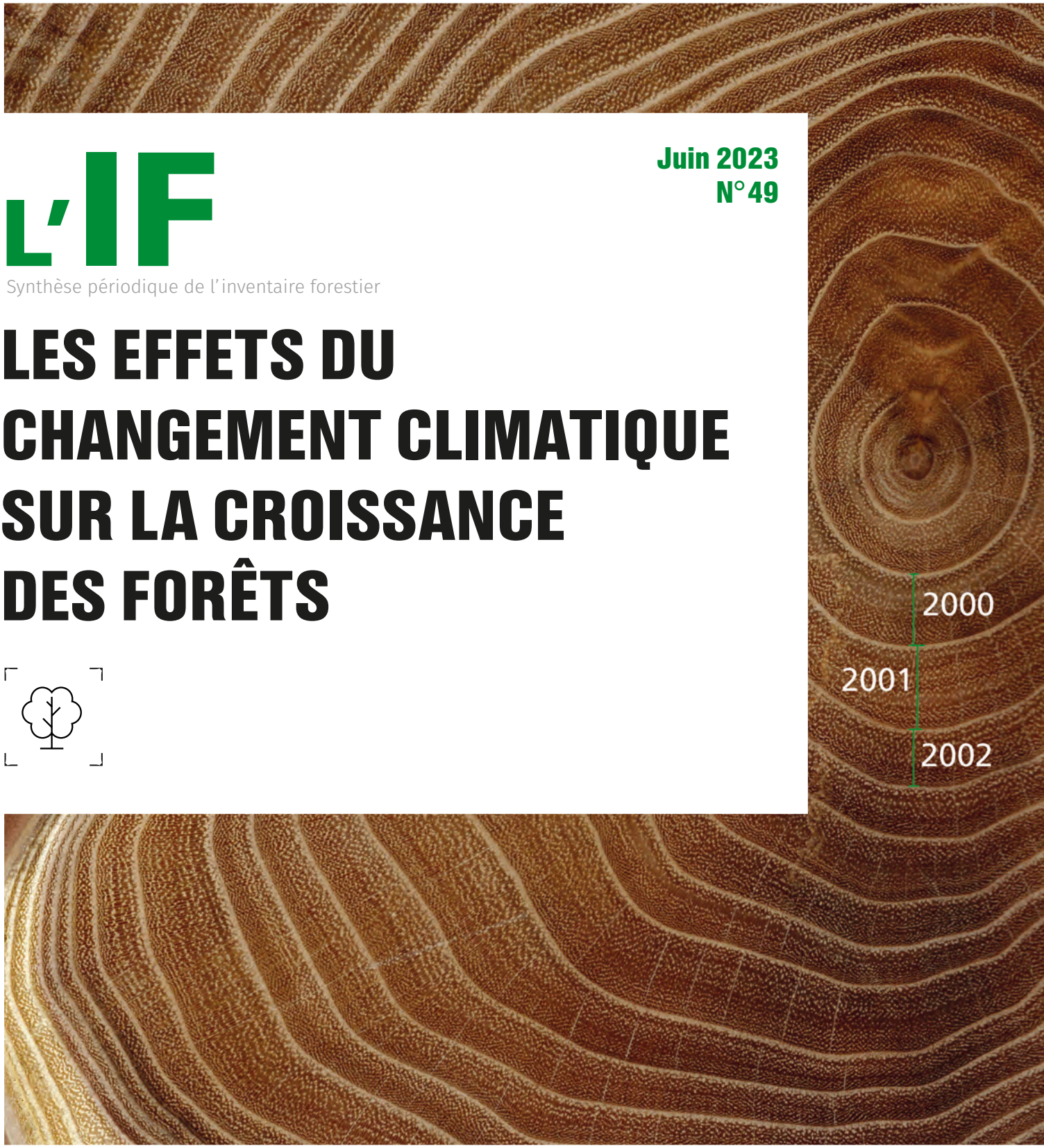
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

IGN
INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE

CHANGER D'ÉCHELLE




Juin 2023
N°49

# L'IF

Synthèse périodique de l'inventaire forestier

# LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA CROISSANCE DES FORÊTS

# SOMMAIRE


Changement climatique et croissance forestière : une histoire complexe 3

L'Inventaire forestier national : une collecte de données précieuses 4

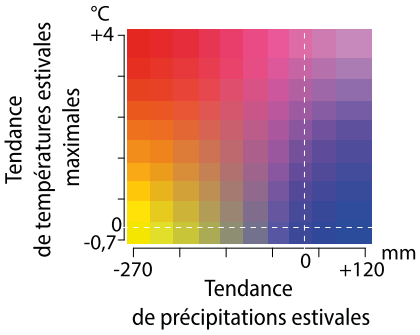
Une méthode statistique pour filtrer et quantifier les effets du climat sur la croissance forestière 6

Des tendances variables 10

Les systèmes fertiles davantage menacés 12

Vers un déploiement d'outils opérationnels de suivi des effets du changement climatique sur nos forêts 15

À retenir 16


*Les régions ayant subi un réchauffement et une diminution des précipitations les plus importantes sont dans les tons rouges.*

Photo de couverture : © IGN
Coupe d'un tronc de robinier faux-acacia mettant en évidence les cernes et la structure du bois (vaisseaux et rayons ligneux).
L'association d'une bande claire et d'une bande plus sombre correspond à la croissance radiale annuelle de l'arbre.

Le numéro 47 de *L'IF*, paru en novembre 2021, faisait le constat d'une augmentation importante de la mortalité forestière depuis l'année 2017, en particulier pour le châtaignier, le frêne et l'épicéa.

La dégradation de l'état de santé des forêts constatée ces dernières années est à mettre en lien avec les changements climatiques intervenus récemment. Ces changements se manifestent en particulier par des températures plus chaudes et des sécheresses plus fréquentes que par le passé. Ils augmentent également les risques liés aux bioagresseurs, comme les scolytes qui sont des insectes thermodépendants.
Certaines régions sont particulièrement à risque du fait de changements plus marqués (Figure 1, régions aux tons rouges).

Depuis 2007, les agents de terrain de l'Inventaire forestier extraient des carottes de bois permettant une mesure fine de l'accroissement radial des arbres. Grâce aux recherches conduites pendant plusieurs années au Laboratoire d'inventaire forestier (LIF ; rattaché à l'IGN), un système de filtrage statistique original des accroissements a été mis en place. Il permet de faire ressortir d'une part les effets attribuables à la variabilité locale et d'autre part les tendances climatiques.

Ce numéro de *L'IF* s'attarde sur les récents changements au sein des forêts françaises, en mettant l'accent sur les variations temporelles et spatiales des anomalies de croissance résultant du climat. Y sont notamment présentées les chronologies de croissance de 12 essences forestières à l'échelle des grandes régions écologiques (GRECO).

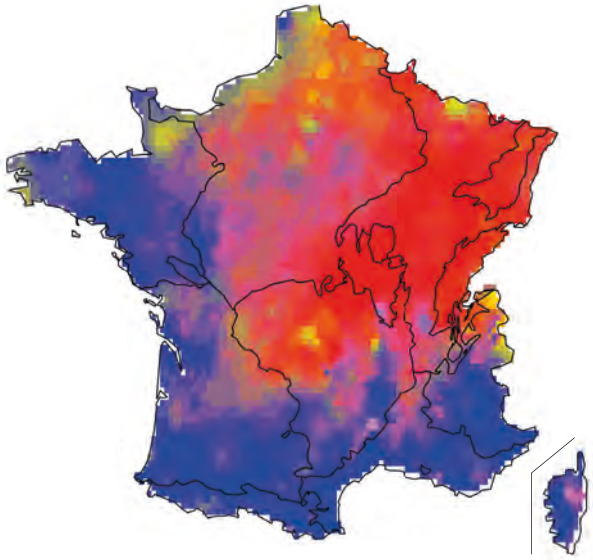


Figure 1 : Tendances estivales des températures maximales et des précipitations, entre 2006 et 2020.
Données source Copernicus ; jeu de données EOBS v 26.0e

# CHANGEMENT CLIMATIQUE ET CROISSANCE FORESTIÈRE : UNE HISTOIRE COMPLEXE

La forêt est au cœur d'enjeux sociétaux importants comme la production de bois, l'atténuation des effets du changement climatique via le stockage de carbone ou encore de services plus vitaux comme la purification de l'air, la rétention et la filtration d'eau. Ces dernières années le changement climatique a fragilisé les différents services écosystémiques rendus par les forêts à la société. Dépérissements, mortalité accrue, incendies, crises sanitaires, les exemples ne manquent pas et de nombreuses essences sont concernées. Cependant dans le même temps, la forêt française continue son expansion, tant en surface qu'en volume.

Dans ce contexte d'incertitudes grandissantes sur l'avenir des forêts métropolitaines, il reste compliqué d'isoler le rôle du changement climatique sur les dynamiques de croissance forestière. Les publications scientifiques sur le sujet se multiplient année après année avec des constats parfois contradictoires en fonction des régions, des essences et des types de forêts étudiés.

Avec un total de 190 espèces et 117 types de forêts différents définis selon la composition des peuplements, la France présente l'une des plus riches diversités forestières d'Europe.

Cette diversité, si elle constitue un atout indéniable, complexifie la question des conséquences du changement climatique sur nos forêts métropolitaines.

La croissance forestière est évidemment influencée par le climat mais pas seulement. Un grand nombre de facteurs s'ajoutent à l'équation, venant masquer les effets du climat.
Pour isoler ces effets climatiques, il faut connaitre ceux de tous les autres facteurs locaux pouvant faire varier la croissance, tels que la taille de l'arbre étudié, le nombre et les caractéristiques des arbres voisins, le type de sol ou encore la composition du peuplement dans lequel il pousse. De plus, la forêt comme tout écosystème, évolue continuellement et les observations faites durant certaines périodes ne permettent pas de prédire de manière certaine son évolution future.

Pour capturer de manière précise les effets du changement climatique sur les forêts françaises, la recherche de l'IGN développe une stratégie pour déployer de nouveaux systèmes d'observation en continu des forêts (monitoring spatio-temporel) jouant le rôle de systèmes d'alerte, face au changement climatique à venir.

Figure 2 : Carottage d'un arbre, préparation de la carotte de bois et mesure des cernes de croissance les plus récents

## L'Inventaire forestier national : un puissant outil de suivi

L'Inventaire forestier national ou IFN a été mis en place en 1958 par ordonnance du général de Gaulle. En 2005, la France a su refonder sa méthodologie d'inventaire pour en faire un puissant outil de suivi des dynamiques forestières. Elle s'appuie désormais sur une grille nationale à mailles carrées de 1 km de côté. Chaque année, et de façon systématique, près de 13 000 points d'inventaire, dont 6 500 nouveaux, sont visités à travers la France métropolitaine par les équipes de l'IFN afin d'y décrire de multiples caractéristiques de la forêt.

Chaque point, ou placette d'inventaire, prend la forme d'un cercle de 25 m de rayon à l'intérieur duquel la forêt est méticuleusement décrite. Le peuplement, sa structure, sa composition, mais également le sol et la végétation présente y sont étudiés. Le diamètre, la hauteur et les 5 dernières années d'accroissement radial sont mesurés sur les arbres. En tout, plus de 230 données sont saisies. Deux arbres du peuplement dominant de la placette sont carottés pour mesurer l'âge et l'accroissement radial des dernières années. Sur ces carottes, les agents de l'IFN mesurent la largeur de chacun des cinq derniers cernes de croissance complets au 10e de millimètre près (Figure 2).

# L'INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL : UNE COLLECTE DE DONNÉES PRÉCIEUSES

Les données de l'Inventaire forestier sont utilisées pour isoler, par modélisation, les effets des facteurs climatiques sur la croissance.
Entre 2017 et 2022, le Laboratoire d'inventaire forestier a mis pour la première fois à profit les mesures de largeur de cernes annuels pour étudier les réponses de croissance des principales essences forestières métropolitaines. Un premier ensemble d'espèces a été considéré, avec un accent mis sur les résineux pour leur rôle économique et leur susceptibilité au changement climatique, doublé de la facilité de lecture des cernes de croissance.
Attention : les 4 principaux feuillus du territoire ont été analysés, mais à titre plus exploratoire.

## Objets d'étude : les systèmes forestiers régionaux

Chacune de ces essences a été étudiée, lorsque possible, dans des régions aux caractéristiques bioclimatiques différentes (comme les montagnes, les plaines, ou la région méditerranéenne). L'échelle géographique utilisée était celle des grandes régions écologiques (GRECO, Figure 3).

**Les peuplements ciblés sont des peuplements purs et réguliers***, parce que de nombreux facteurs de la dynamique forestière peuvent être contrôlés aisément (densité, degré de maturité), ce qui en fait des communautés témoin où observer les comportements de croissance de façon privilégiée**. Pour les essences et GRECO étudiées, ces peuplements représentent 3,1 millions d'hectares (Tableau 1).

Pour pouvoir modéliser la croissance radiale au sein d'un système forestier régional (SFR, cf. encadré ci-dessous), au moins 10 placettes IFN par année étaient nécessaires. Ainsi, pour obtenir un nombre suffisant d'observations, les peuplements des GRECO « Grand Ouest cristallin et océanique » (A), « Centre Nord semi-océanique » (B) et « Grand Est semi-continental » (C) ont été, pour certaines essences, regroupés en une seule entité géographique nommée « Plaines du Nord » (AB ou ABC).

* Peuplements où une essence représente au moins 75 % du couvert et arbres aux dimensions à peu près similaires.
** Un programme de recherche pérenne a été initié en 2022 au LIF, afin d'étendre les diagnostics aux peuplements hétérogènes en composition et en structure, l'enjeu ultime étant de disposer d'un système de monitoring systématique sur l'ensemble des forêts du territoire.

### Systèmes Forestiers Régionaux

Pour une essence donnée, l'ensemble des peuplements purs et réguliers au sein d'une même GRECO est appelé système forestier régional (SFR).

Tableau 1 – Superficie des peuplements étudiés, par essence

| | Superficie*** des 27 SFR étudiés (ha) | Rapport entre les superficies*** des peuplements étudiés (27 SFR) et des peuplements ciblés (de l'essence) | des peuplements où l'essence est principale**** |
|---|---|---|---|
| Chêne pédonculé | 400 000 | 66 % | 19 % |
| Chêne rouvre | 600 000 | 84 % | 34 % |
| Chêne pubescent | 290 000 | 60 % | 21 % |
| Hêtre | 320 000 | 61 % | 21 % |
| **4 feuillus** | **1 600 000** | **69 %** | **24 %** |
| Pin maritime | 490 000 | 92 % | 48 % |
| Pin sylvestre | 290 000 | 91 % | 33 % |
| Pin laricio | 60 000 | 52 % | 33 % |
| Pin d'Alep | 100 000 | 100 % | 39 % |
| Sapin pectiné | 110 000 | 62 % | 19 % |
| Epicéa commun | 190 000 | 80 % | 34 % |
| Mélèze d'Europe | 30 000 | 87 % | 31 % |
| Douglas | 240 000 | 91 % | 56 % |
| **8 conifères** | **1 520 000** | **85 %** | **38 %** |
| **12 essences** | **3 120 000** | **76 %** | **29 %** |

*** Superficie des campagnes d'Inventaire forestier 2017-2021.
**** L'essence principale est celle des arbres dont les individus réunis ont le plus fort taux de couvert libre relatif.

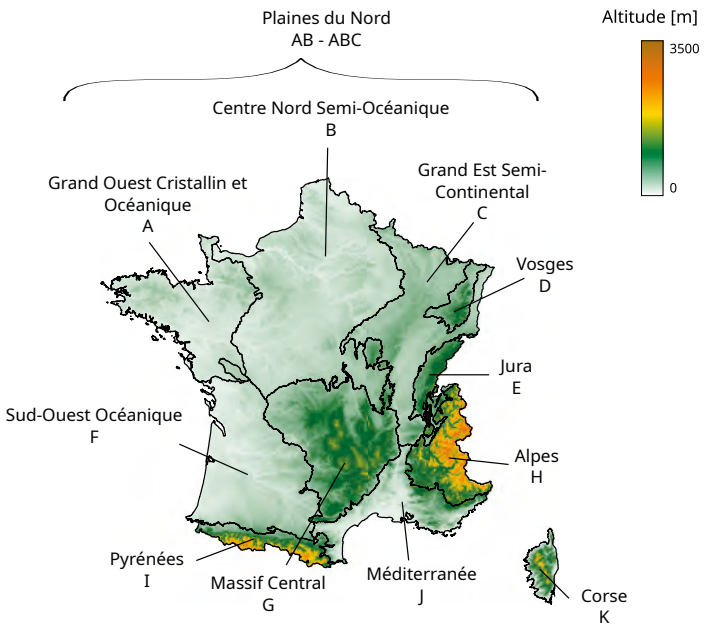



Figure 3 : Les grandes régions écologiques (GRECO)

En tout, **27 SFR ont pu être retenus pour des analyses approfondies** (16 avec des conifères et 11 avec des feuillus ; cf. Figure 4).

Le gradient altitudinal couvert par l'ensemble des SFR est très représentatif de la diversité des conditions bioclimatiques dans lesquelles poussent les conifères et les feuillus en France (Figure 4).

Les essences feuillues (forme ronde sur les figures) se retrouvent quasi-exclusivement en plaine (moins de 600 m d'altitude ; Figure 5). Les conifères (forme triangulaire sur les figures) se retrouvent dans des milieux plus contrastés.

Alors que le mélèze (orange) est localisé dans les milieux les plus en altitude (plus de 1750 m) et les plus frais, les pins laricio et maritime sont présents aux altitudes les plus basses (moins de 250 m) et dans des milieux parmi les plus chauds et secs (Figure 5).

Hormis quelques extrêmes thermiques, les feuillus et conifères couvrent des gradients de température moyenne et de précipitations annuelles très semblables.

**Le Laboratoire d'inventaire forestier**

Créé en 2013, un des trois principaux axes de recherche du LIF consiste au développement de nouveaux indicateurs forestiers dans un environnement non stationnaire.
Il travaille par ailleurs sur le développement et l'optimisation statistique du dispositif d'inventaire national et l'amélioration de sa résolution spatiale.

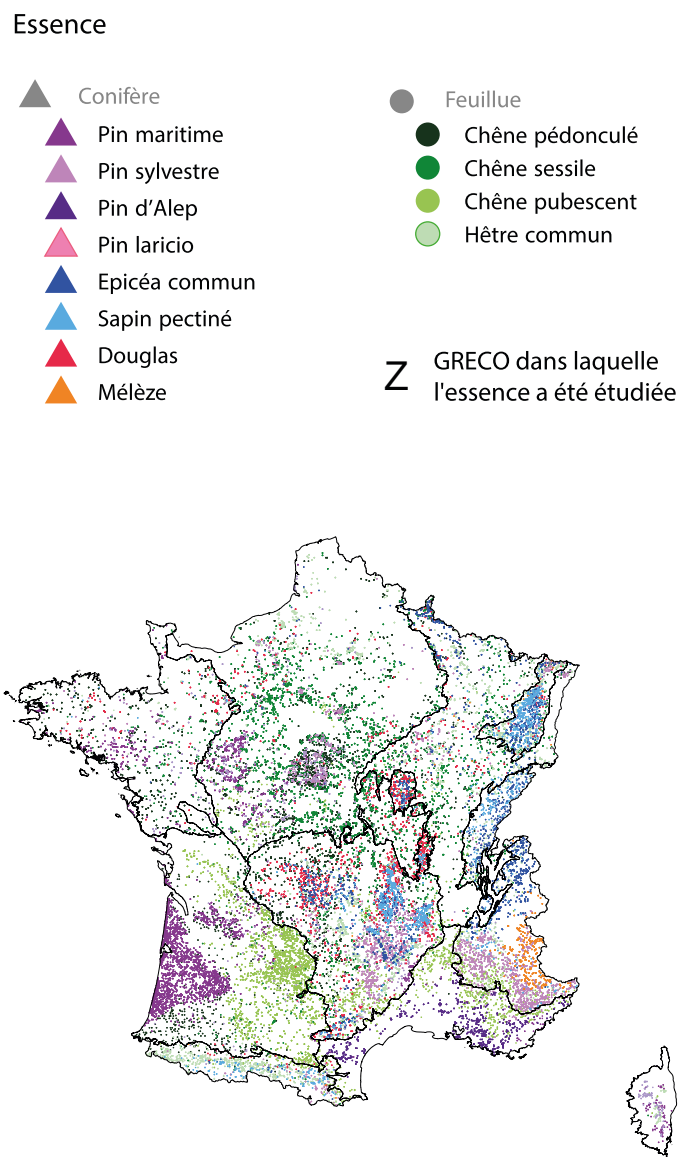



Figure 4 : Répartition des 27 systèmes forestiers régionaux (SFR)

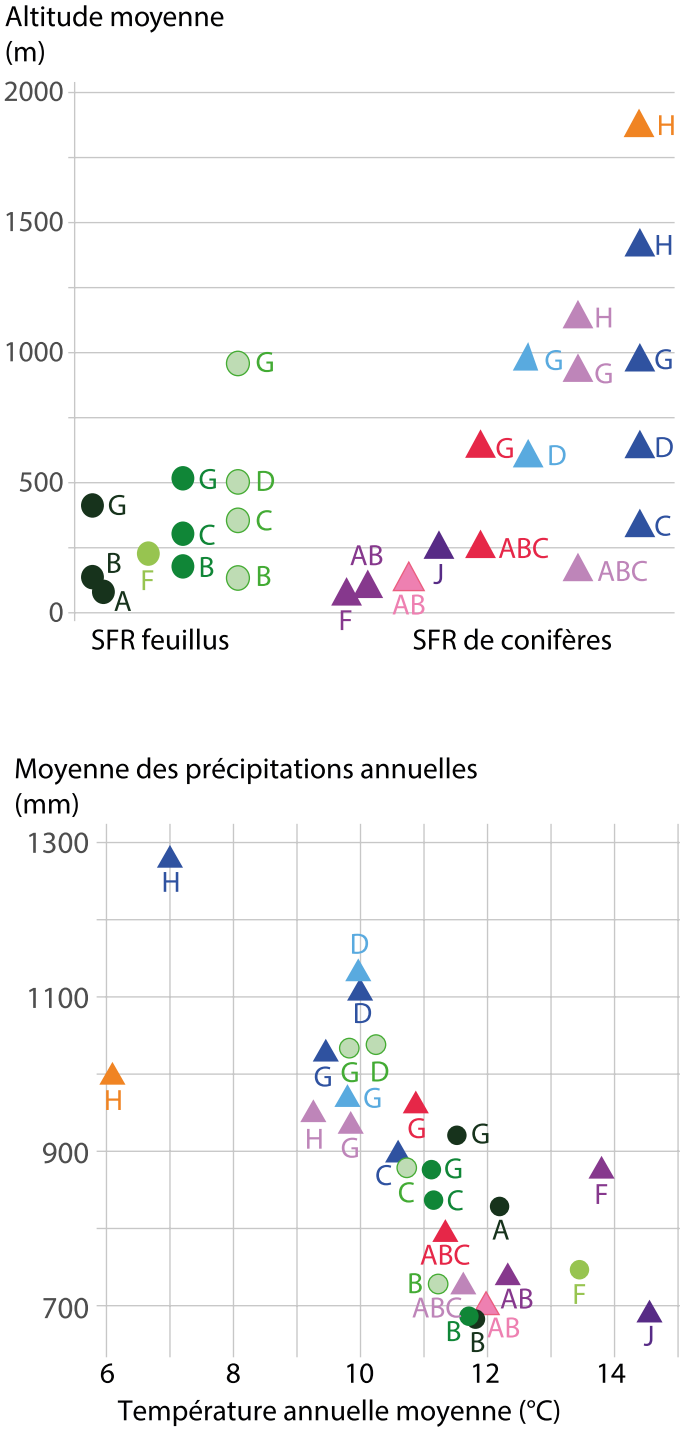



Figure 5 : Altitude moyenne et conditions climatiques des 27 SFR

# UNE MÉTHODE STATISTIQUE POUR FILTRER ET QUANTIFIER LES EFFETS DU CLIMAT SUR LA CROISSANCE FORESTIÈRE

La croissance d'un arbre dépend d'un grand nombre de facteurs. Pour étudier les effets du climat sur la croissance, il faut d'abord s'assurer de contrôler les effets de tous les autres facteurs locaux pouvant la faire varier (cf. page 3). Un très grand nombre de ces facteurs peuvent être quantifiés et filtrés des séries temporelles de croissance grâce aux données de l'Inventaire forestier et à la modélisation.

La croissance radiale de chaque SFR a été modélisée (Figure 6 page 7) en fonction de données :

- à l'échelle de l'arbre (comme son diamètre et sa position dans l'étagement vertical du peuplement) ;
- à l'échelle du peuplement (comme la densité d'arbres et leur hétérogénéité en termes de diamètre) ;
- à l'échelle du sol (tel que le type de sol et sa réserve utile en eau disponible) ;
- liées au climat saisonnier moyen des 30 dernières années (pour filtrer l'effet « climat moyen » sur la croissance) ;
- sous forme de bioindicateurs de pH du sol fournis par l'équipe de recherche d'écologie forestière d'AgroParisTech.

Enfin, un effet « année » a été ajouté au modèle afin de représenter les anomalies annuelles de croissance non expliquées par tous les autres facteurs. On fait ainsi l'hypothèse que cet effet représente de façon privilégiée l'influence du climat annuel. Cet effet annuel pourrait toutefois absorber des perturbations non contrôlées, comme des émergences de bio-agresseurs, des effets de gestion forestière intervenant de façon brève dans le temps ou des effets environnementaux non contrôlés. Les valeurs annuelles de cet effet sont ensuite combinées pour créer des chronologies d'anomalies de croissance.

## Aide à la lecture des chronologies

L'exemple étudié dans cet encadré concerne le pin sylvestre en France.

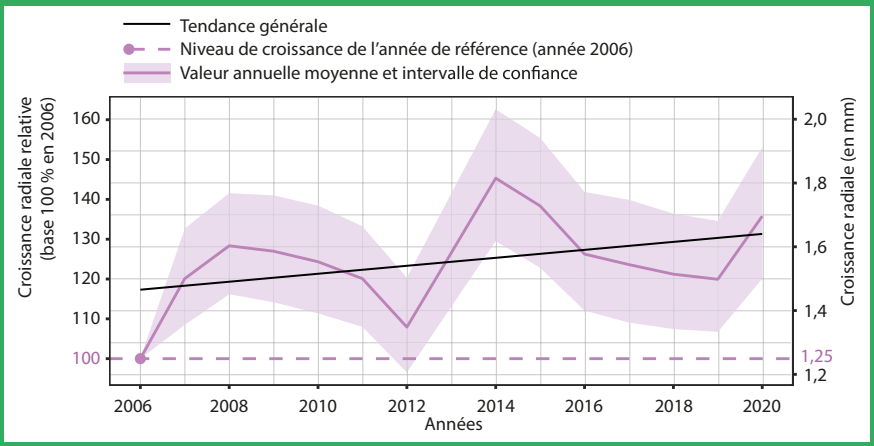
Les résidus représentent les anomalies de croissance de chaque année par rapport à une année de référence. **Les anomalies sont ici relatives à l'année de référence «2006»**.

Sur l'**axe de gauche** de la figure ci-dessous, les valeurs correspondent à une croissance relative à celle de 2006.

Ainsi, une valeur de 120 %, comme enregistré en 2019, représente une évolution de + 20 % supérieure à celle de l'année de référence. La croissance du pin sylvestre a été la plus faible en 2006 et a toujours été plus importante par la suite, d'où une croissance relative supérieure à 100 % pour les années suivantes. La **droite noire**, indiquant la tendance générale, souligne une augmentation de la croissance et donc un effet positif du climat pour cette essence.

Pour passer des anomalies relatives aux anomalies absolues (**axe de droite**), il suffit de multiplier les anomalies relatives par la croissance radiale moyenne durant l'année de référence, soit 1,25 mm pour le pin sylvestre.

L'axe des ordonnées représente alors des millimètres de croissance radiale. On voit dès lors que la croissance du pin sylvestre était, en 2020, de 135 % relativement à 2006, ce qui correspond, en valeur absolue, à un accroissement radial de 1,7 mm.




Chronologie de croissance radiale relative (axe de gauche) et absolue (axe de droite) du pin sylvestre en France

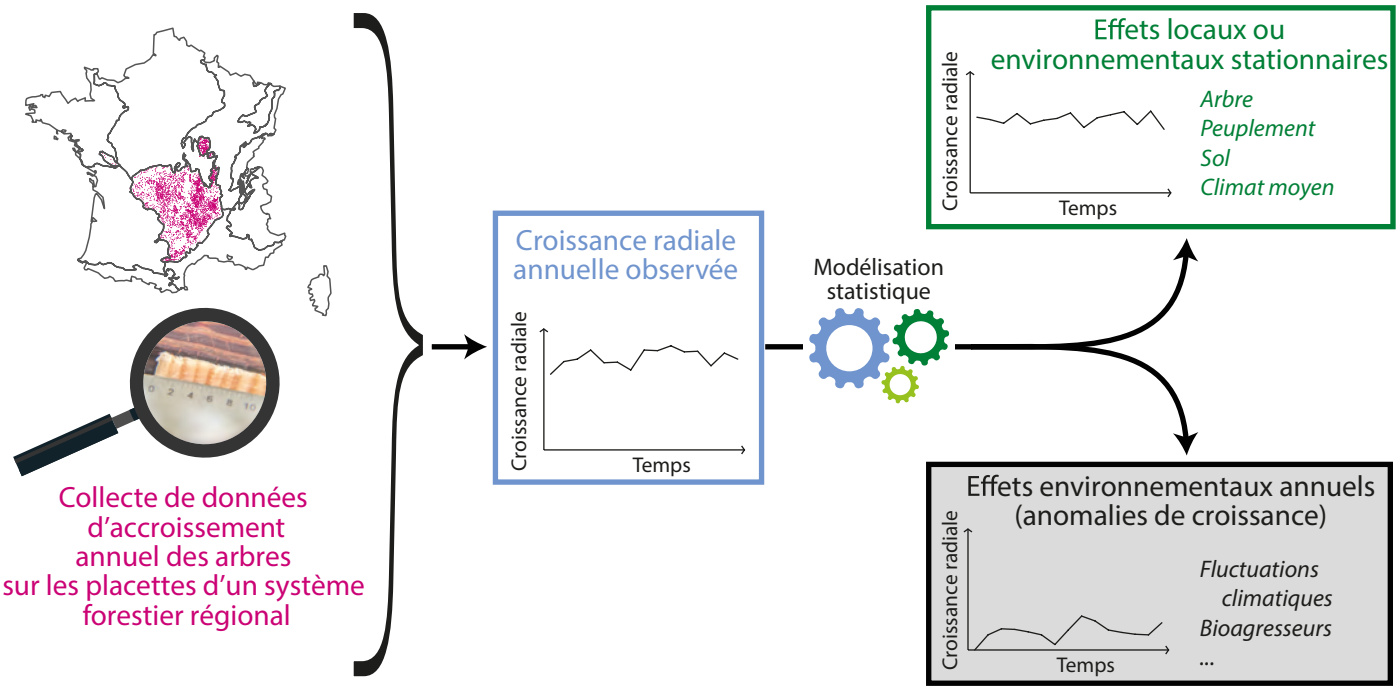



Figure 6 : Schéma conceptuel de la méthode d'extraction des anomalies de croissance

Les chronologies obtenues peuvent être déclinées de plusieurs façons pour les comparer :

- **Pour une essence donnée**, en fonction des GRECO (Figure 7). Par exemple pour le pin sylvestre, cela nous amène à constater une tendance de croissance presque nulle dans les plaines du Nord (courbe grise), une tendance de croissance positive dans le Massif central (courbe violette) et une très nette augmentation de croissance dans les Alpes (courbe verte).
- **Pour une GRECO donnée**, en fonction des essences (Figure 8). Par exemple dans les plaines du Nord, la croissance est en hausse pour le pin maritime (courbe violette) mais en baisse pour le Douglas (courbe rouge).

L'échelle relative (sur une base 100 %) rend plus aisée la comparaison des trajectoires de croissance. Sur la figure 7, on observe que les tendances de croissance du pin sylvestre sur 2006-2020 ont varié entre - 6 % (dans les Plaines du Nord) et + 56 % (dans les Alpes).

Toutefois ces tendances relatives sont à mettre en perspective avec le niveau moyen absolu de croissance radiale. Les graphiques des deux pages suivantes (Figure 9) sont présentés en millimètres de croissance radiale par an, pour comparer les croissances absolues. Lorsque la croissance radiale est faible (cas des chênes par exemple) la représentation en mm rend moins perceptible l'amplitude des variations annuelles et donc la tendance de croissance.

Les chronologies avec la mention n.s. sont celles dont la droite de tendance n'est pas significative. Cette tendance pourrait être uniquement le fruit du hasard d'échantillonnage et non une trajectoire avérée (avec un risque d'erreur inférieur à 5 %)

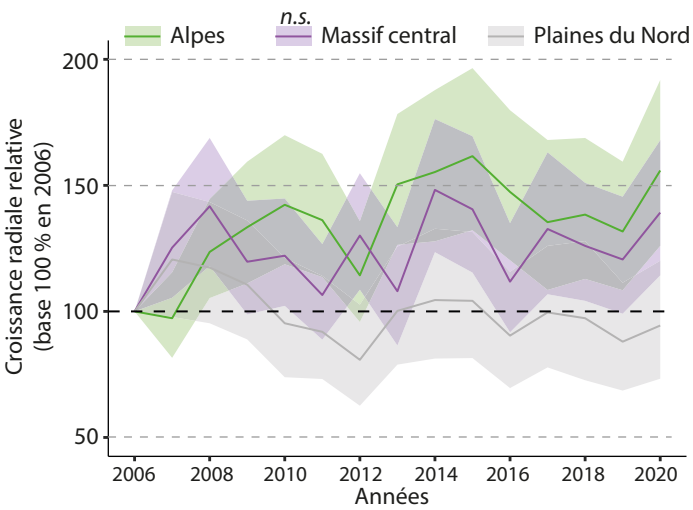



Figure 7 : Chronologies de croissance radiale relative du pin sylvestre au sein des différentes GRECO dans lesquelles l'essence est étudiée

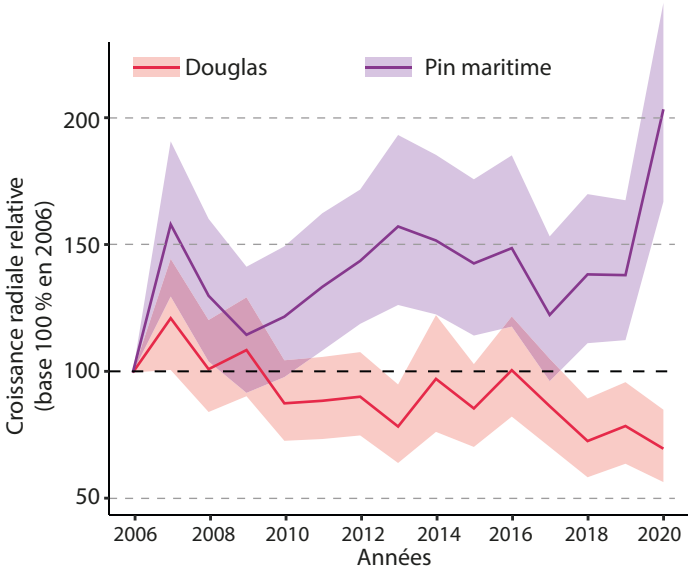



Figure 8 : Chronologies de croissance radiale relative du Douglas et du pin maritime dans les plaines du Nord

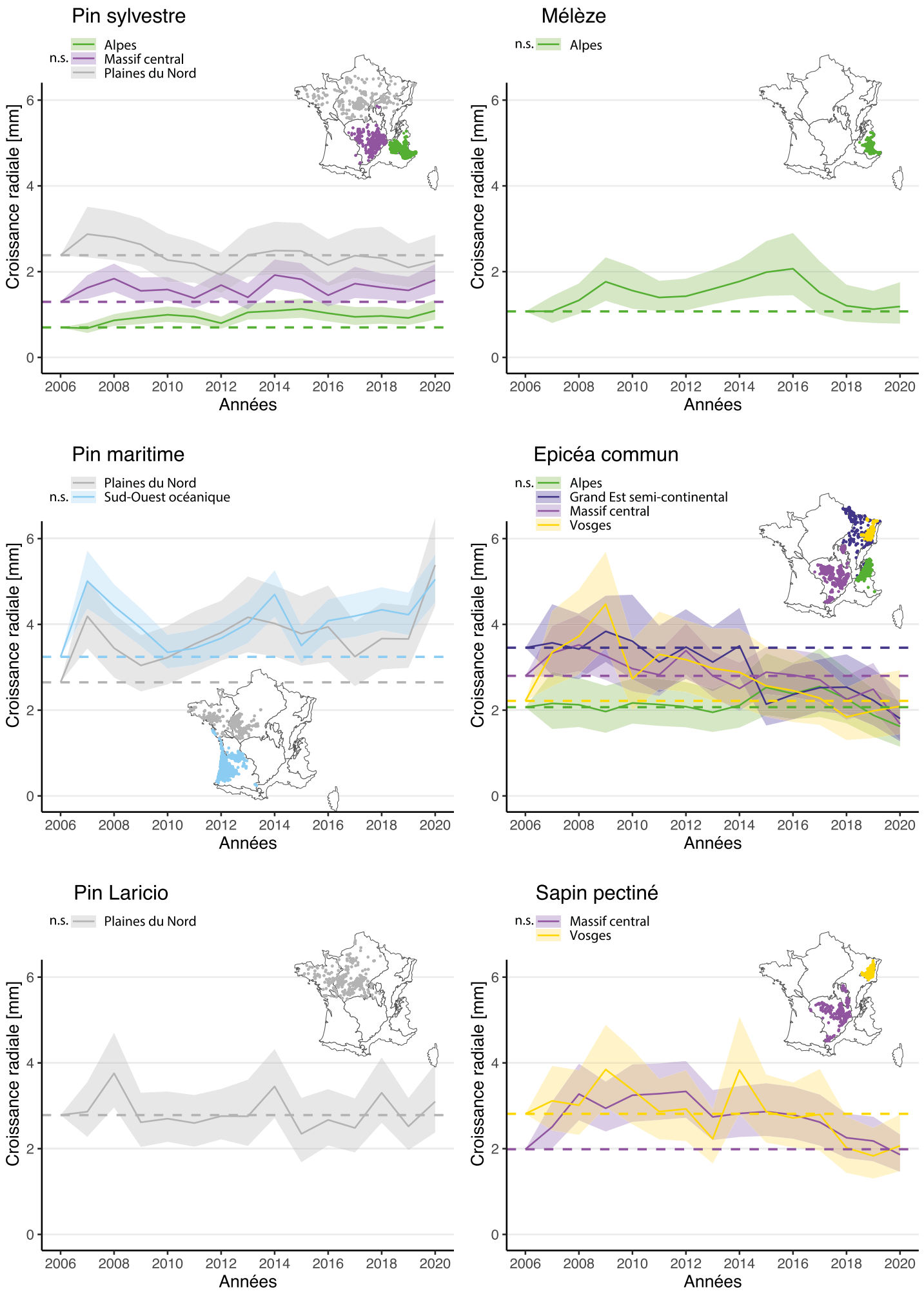



Figure 9 : Chronologies absolues de croissance, par essence et grandes régions écologiques

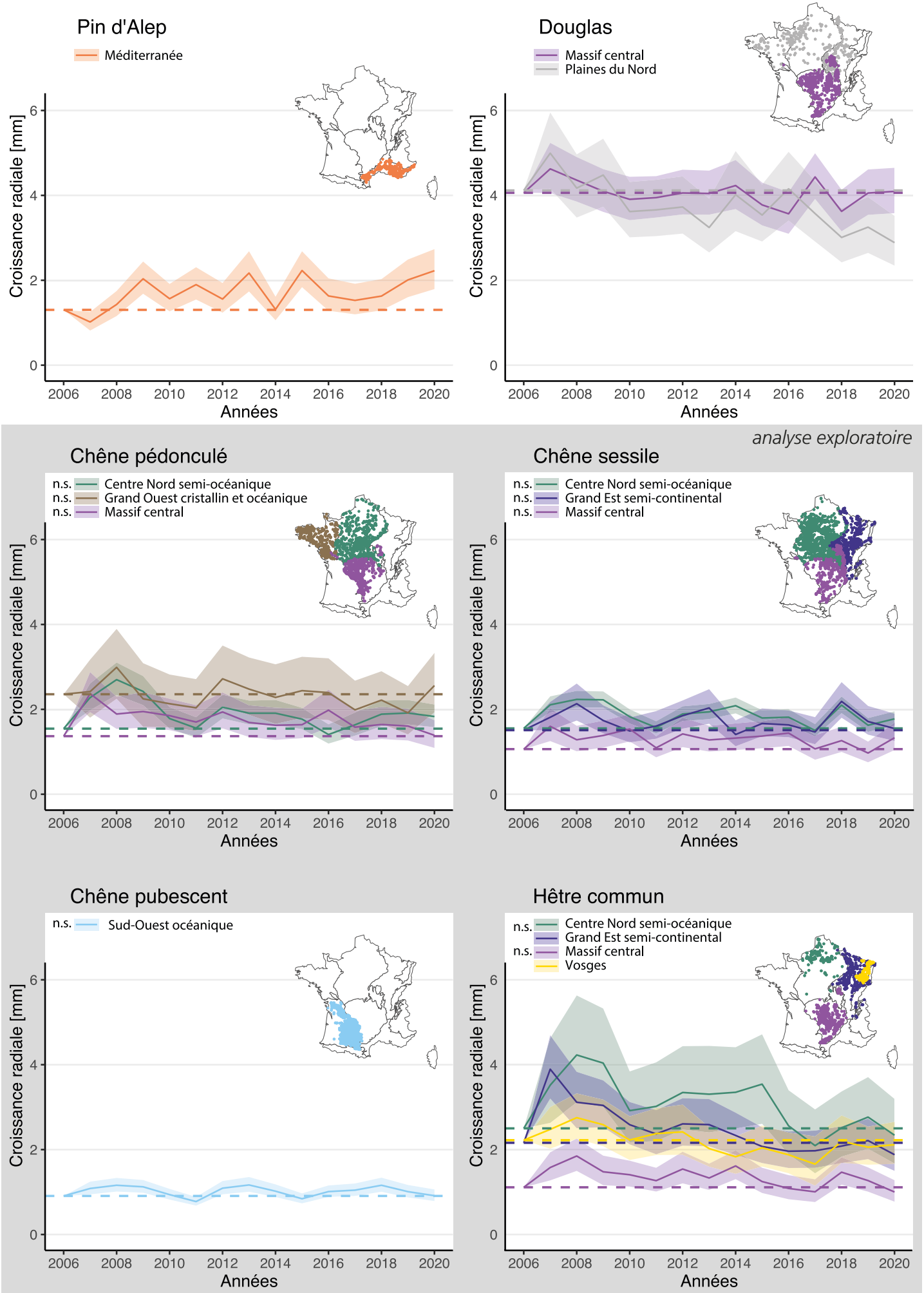



Figure 9 (suite)

# DES TENDANCES VARIABLES

## Un lien fort entre les tendances climatiques et les tendances de croissance...

Les tendances de croissance sur la période 2006-2020 sont fortement liées à l'intensité de la hausse des températures et à la baisse des précipitations estivales à laquelle les SFR ont fait face (Figure 10).

Les quelques SFR ayant une tendance de croissance positive (situées au-dessus de l'axe 0 en pointillé) sont ceux avec les conditions les plus proches de l'état initial (précipitations stables et réchauffement modéré sur la période : pin sylvestre et mélèze dans les Alpes H, pin d'Alep en zone méditerranéenne J et pin maritime dans les plaines du Nord AB et l'ouest océanique F). Celles aux tendances les plus négatives présentent un déficit de précipitations et/ou une hausse marquée des températures.

Cela suggère qu'un changement climatique plus prononcé tend à accentuer les effets négatifs sur la croissance radiale.

## ... surtout pour les conifères

Les **conifères** sont négativement affectés dans les régions où les tendances climatiques sont le plus intenses, mais voient leur croissance maintenue ou accélérée dans les environnements où le réchauffement et la diminution des précipitations sont plus modérés (Figure 11, page 11).
Les **chênes** semblent moins affectés par la hausse des températures ou la baisse des précipitations, ce qui n'est pas le cas du hêtre commun.

Ces résultats esquissent une résistance moindre des conifères aux évolutions climatiques récentes comparativement aux feuillus.

Les feuillus sont majoritairement localisés en plaine (à moins de 600 m d'altitude), tandis que les conifères sont présents dans un gradient altitudinal plus large (Figure 12, page 11). Cela laisse à penser que les différences entre feuillus et conifères sont le fruit d'un effet altitudinal, où les peuplements de montagne (à plus de 600 m d'altitude) profitent de conditions moins chaudes. Or, l'effet négatif du réchauffement estival est observé à la fois pour les SFR de plaine et de montagne (Figure 12).

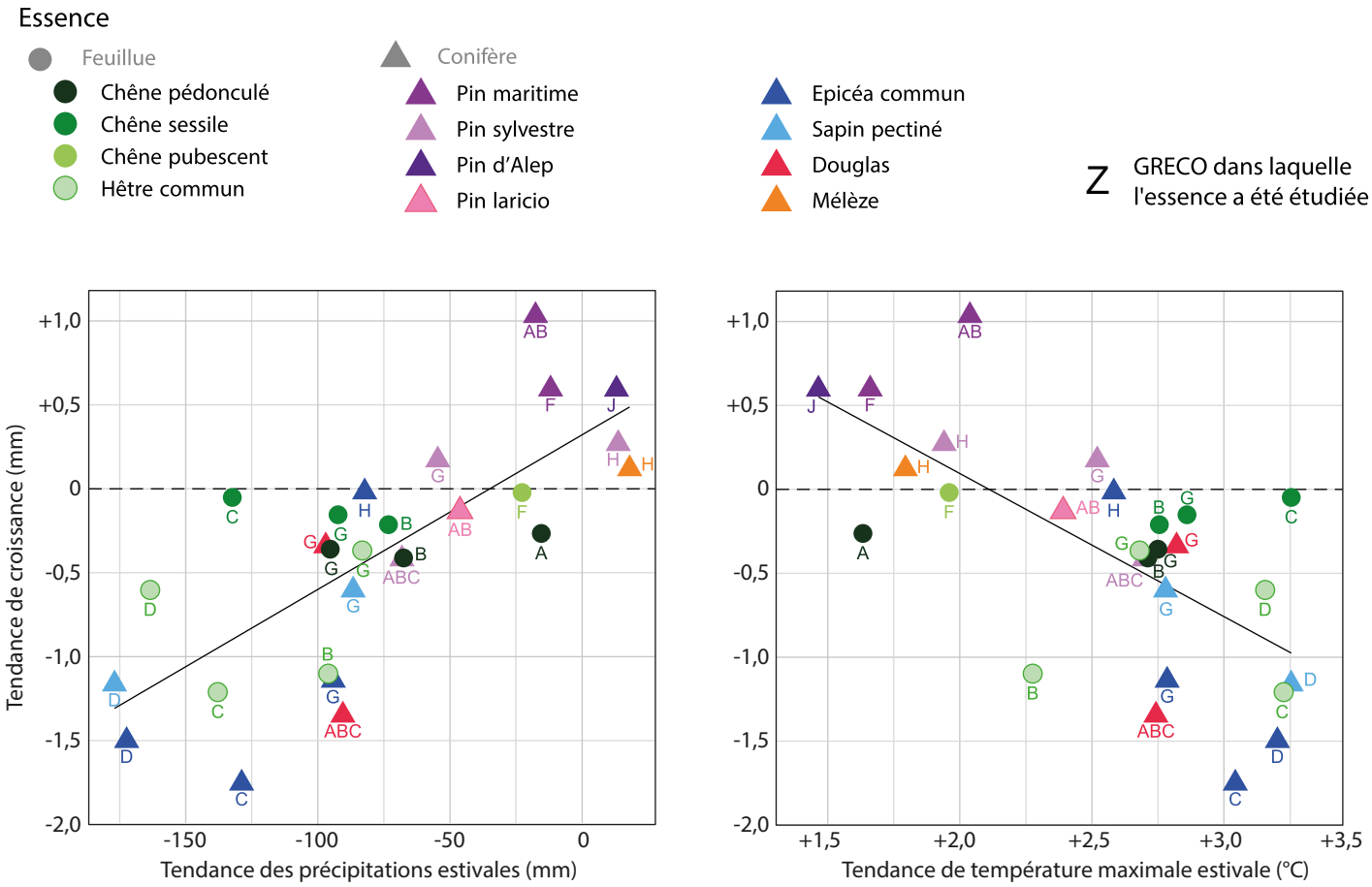



Figure 10 : Lien entre les tendances de croissance et les tendances climatiques sur 2006-2020

*légende page ci-contre*

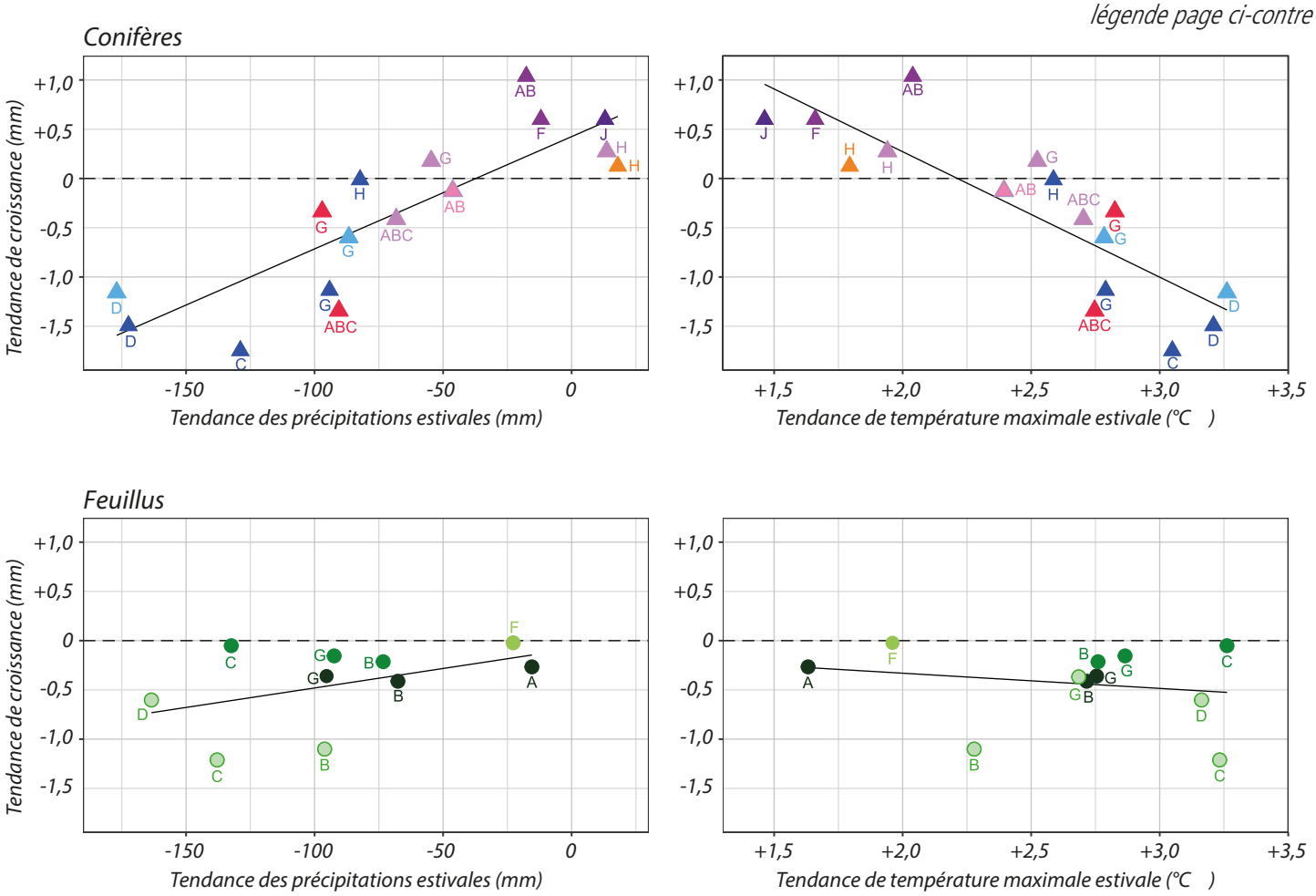



Figure 11 : Lien entre les tendances de croissance et les tendances climatiques sur 2006-2020, pour les essences feuillues et conifères

*légende page ci-contre*

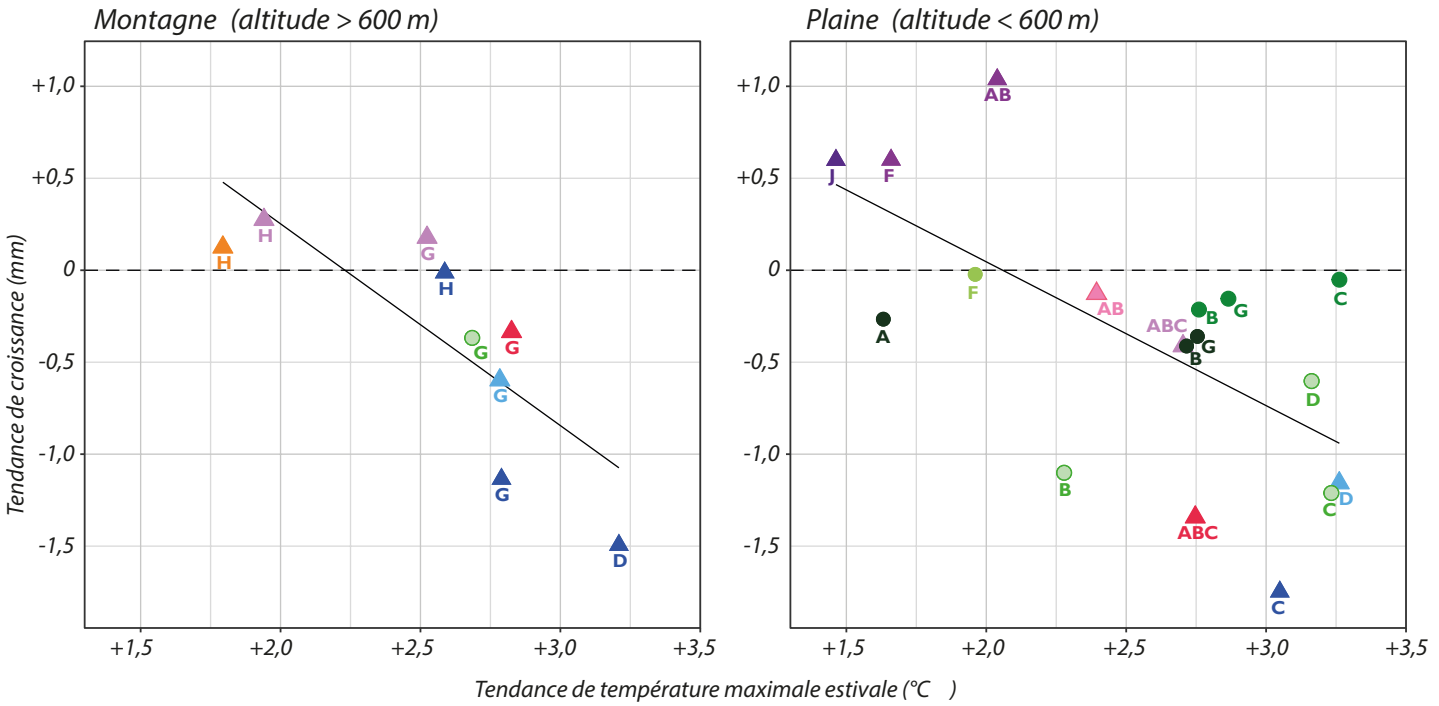



Figure 12 : Lien entre les tendances de croissance et les tendances de température maximale estivale sur 2006-2020, en montagne et en plaine

# LES SYSTÈMES FERTILES DAVANTAGE MENACÉS

Les tendances de croissance sur 2006-2020 sont négativement corrélées au niveau de croissance moyen en 2006 (Figure 13). Cela signifie que plus les arbres d'un SFR donné avaient une croissance radiale forte en 2006, plus celle-ci baisse.

Les tendances de croissance sont positives pour les essences résineuses à croissance modérée (comme le pin sylvestre, le mélèze ou le pin d'Alep) et pour le pin maritime.

À l'inverse, **les essences à croissance rapide, comme l'épicéa et le Douglas, sont celles qui enregistrent les tendances de croissance les plus négatives** (hors Alpes).

L'épicéa a été introduit dans les plaines (en GRECO C) ou à basse altitude (en GRECO D et G). À l'époque, les conditions (sol profond, saison de végétation plus longue, pluviométrie) offraient une meilleure croissance que dans son aire d'origine (montagnes de l'Est à partir de 700 m ; Figure14, la croissance moyenne en 2006 est de 2,1 mm pour la GRECO H et de 3,5 mm pour la GRECO C). Mais avec le changement climatique, les conditions pluviométriques ne lui conviennent plus car il a besoin d'un sol qui reste frais. De ce fait, les zones où l'essence a été introduite tendent à devenir moins favorables que l'aire naturelle (la croissance prédite pour 2020 reste de 2,1 mm pour la GRECO H et baisse à 2,1 mm pour la GRECO C).

La croissance du Douglas, originaire d'Amérique du Nord, était comparable dans les plaines du Nord et dans le Massif central (environ 4 mm en 2006). Elle tend à diminuer dans les plaines du Nord (3,1 mm) par rapport à 2006.

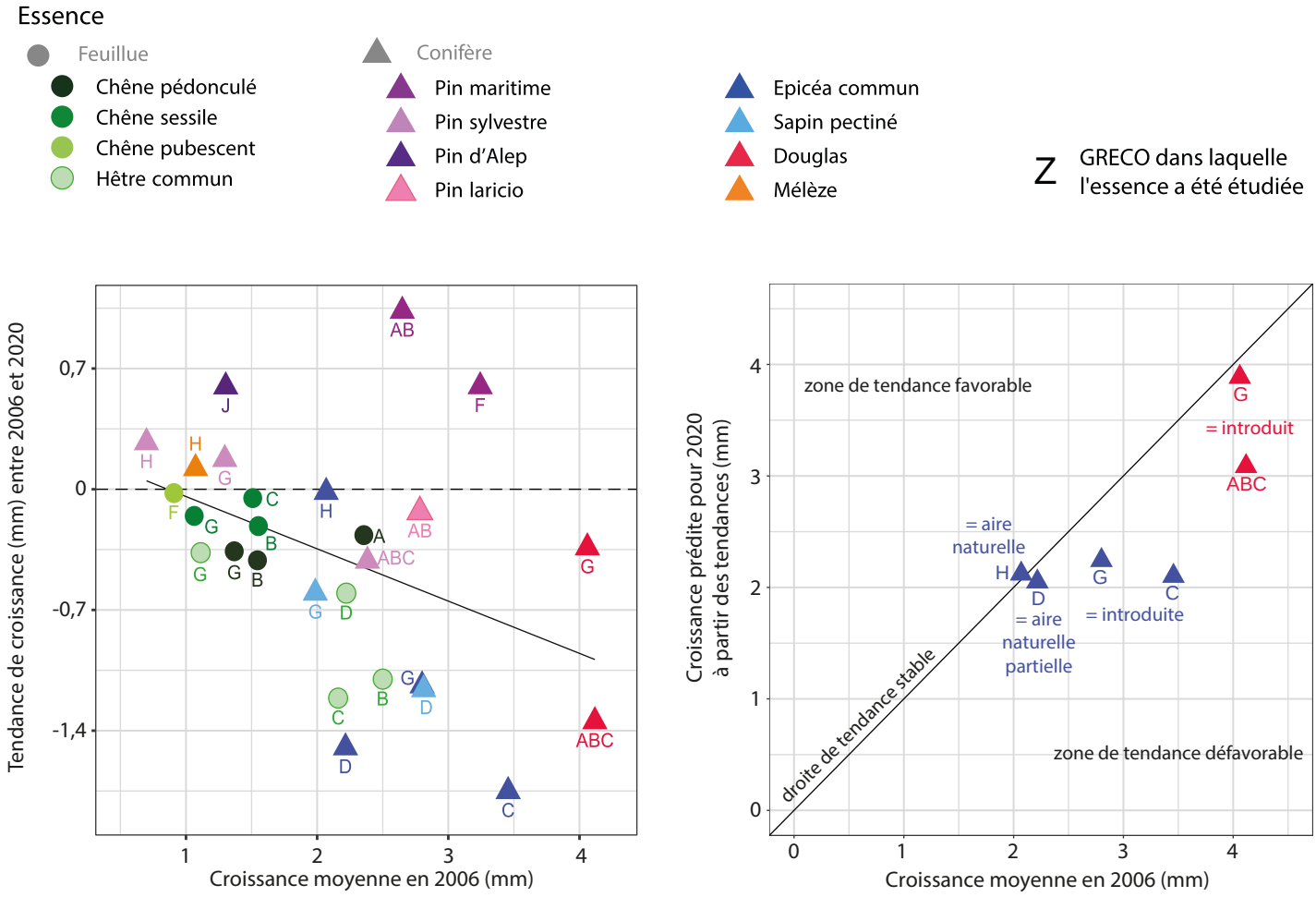



Figure 13 : Lien entre les tendances de croissance et la croissance moyenne durant l'année 2006 (année de référence)

Figure 14 : Lien entre la croissance de 2020, prédite à partir des tendances de croissance, et la croissance moyenne durant l'année 2006 (année de référence) pour l'épicéa et le Douglas

## L'importance de la disponibilité en eau

Les tendances de croissance semblent être étroitement liées aux contraintes hydriques des systèmes forestiers.

Les tendances de croissance négatives, représentées en rose sur la Figure 15, sont principalement observées dans des SFR où les précipitations moyennes estivales sont élevées mais où elles ont diminué entre 2006 et 2020.
Inversement, les tendances de croissance positives (en vert sur la figure) sont majoritairement observées dans des régions où les précipitations estivales ont peu évolué ces 15 dernières années.

**Dans un contexte de réchauffement climatique, l'évolution de la disponibilité en eau affecte donc de manière importante la croissance des différentes essences forestières.**

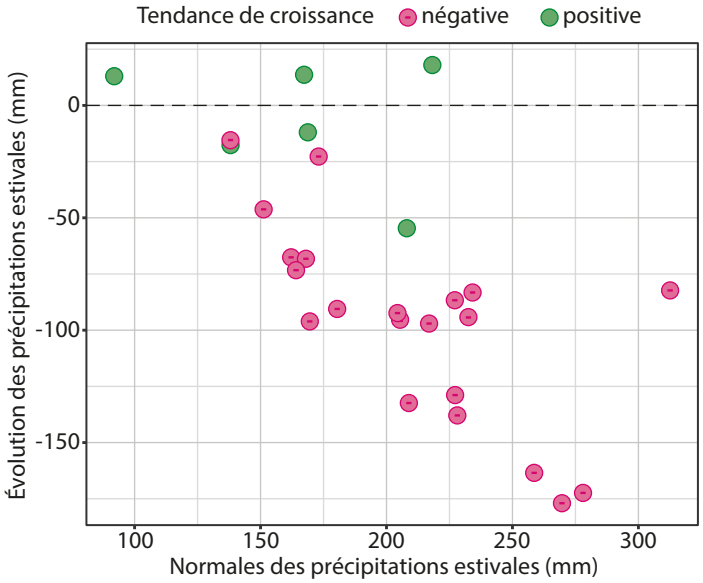



Figure 15 : Signe des tendances de croissance dans les 27 SFR, selon les normales des précipitations estivales et l'évolution des précipitations estivales (entre 2006 et 2020)

## Les sols à bonne réserve utile sont défavorisés en cas de déficit pluviométrique estival

Les tendances de croissance négatives sont généralement associées, de manière surprenante, à une bonne réserve utile (supérieure à 70 mm ; Figure 16) et les tendances positives à des réserves utiles plus faibles.
Le premier cas s'explique notamment par une forte baisse (d'environ moitié) des précipitations estivales sur ces SFR qui étaient auparavant bien pourvus.

**Réserve utile d'un sol**

Elle correspond à la quantité d'eau maximale qu'il peut absorber et restituer aux végétaux. Elle dépend de plusieurs caractéristiques du sol, dont sa texture, sa teneur en éléments grossiers et sa profondeur.

*légende page ci-contre*

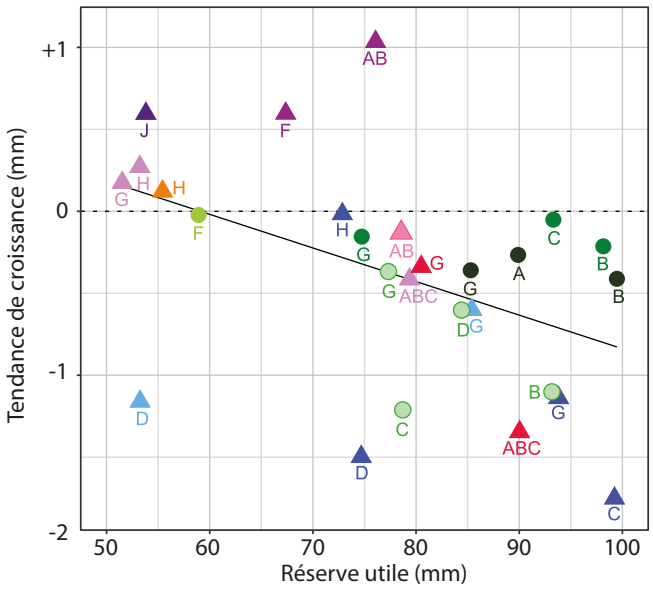



Figure 16 : Lien entre les tendances de croissance et la réserve utile du sol

## Synthèse

De manière générale, les SFR aux conditions de croissance « non optimales » verraient ainsi leurs conditions s'améliorer en contexte de changement climatique alors que les SFR aux conditions de croissance « optimales » verraient les leurs se détériorer.

Autrement dit, la croissance radiale apparait favorisée dans des SFR à faible croissance, situés en moyennes ou hautes montagnes et pour lesquels le changement climatique s'avère plutôt synonyme d'amélioration des conditions de croissance (réchauffement modéré conduisant à une saison végétative plus longue). La croissance radiale se révèle par contre défavorisée dans les SFR à forte croissance majoritairement situés en plaines (et introduits pour les conifères) pour lesquels le changement climatique est plutôt synonyme de détérioration des conditions de croissance (moins de précipitations, réchauffement très marqué conduisant à des températures élevées en été).

Flashez-moi pour accéder à l'outil de visualisation des anomalies de croissance

## Outil de visualisation des anomalies de croissance

Une application en ligne a été développée pour visualiser l'ensemble des combinaisons d'essences et de GRECO possibles. L'information souhaitée est à choisir parmi des listes.

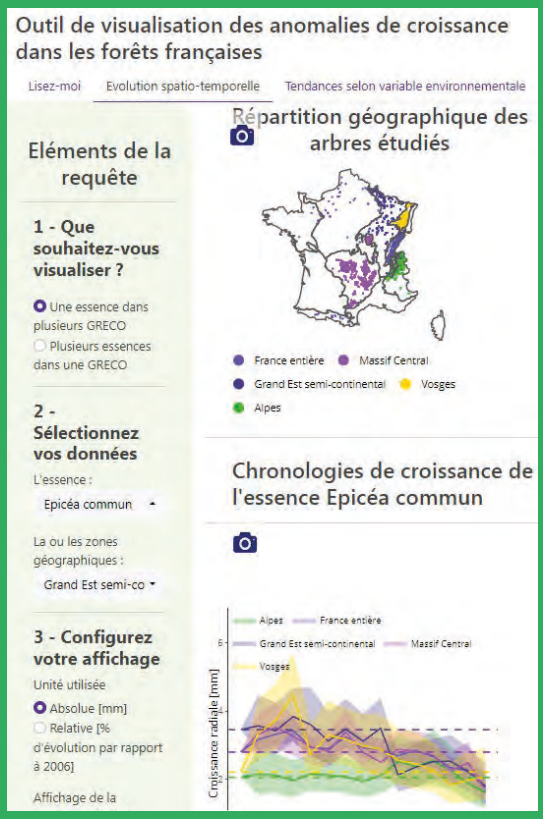
Par exemple, la Figure 8 présente uniquement les chronologies de croissance de deux essences dans le Massif central. L'application propose de une à six essences sur un même graphique.

De même, les relations entre les tendances de croissance et l'environnement, présentées dans les pages 10 à 13, ont été sélectionnées parmi une multitude de variables à découvrir sur l'application, comme par exemple le lien entre les tendances de croissance et le pH du sol ou encore l'âge de l'arbre.

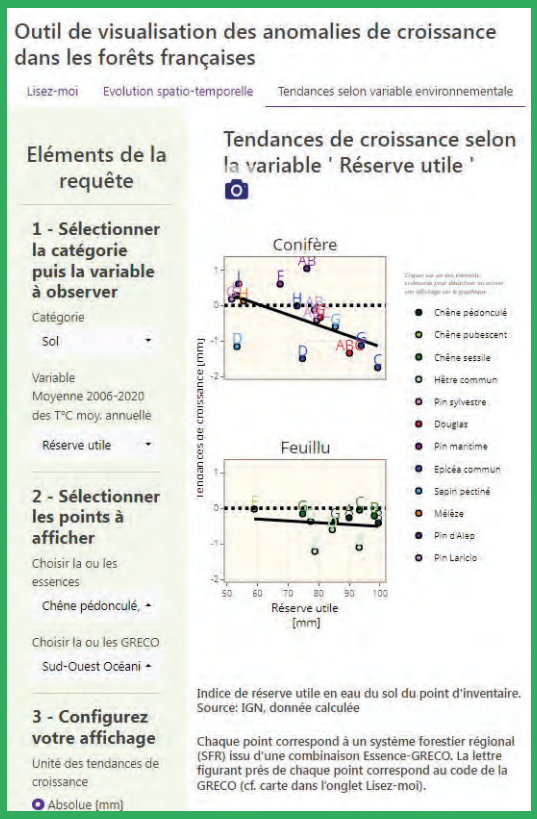
Cet outil est accessible en scannant le QR Code ci-dessus ou sur inventif.ign.fr/croissance/.

Les données sont téléchargeables et les graphiques sont exportables au format png.

A




B




Captures d'écran de l'outil en ligne.

**A** : l'onglet « Evolution spatio-temporelle » permet de visualiser les chronologies d'anomalies de croissance. La partie gauche de la page (« Sélection des données ») permet de sélectionner les GRECO et essences d'intérêt que l'on souhaite afficher.

**B** : l'onglet « Lien avec l'environnement » permet de visualiser les liens entre les tendances de croissance et les variables environnementales, sélectionnables sur la gauche de la page.

# VERS UN DÉPLOIEMENT D'OUTILS OPÉRATIONNELS DE SUIVI DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR NOS FORÊTS

La méthodologie développée tout au long du projet de recherche dont sont issus ces résultats est maintenant opérationnelle et pourra faire l'objet d'améliorations en continu.
Elle permet d'obtenir, avec un décalage de 2 ans, une image de la croissance de la forêt française à la suite de l'obtention et du traitement des mesures réalisées annuellement sur l'ensemble du territoire.
L'ensemble des chronologies produites sont de plus disponibles sur le site inventif.ign.fr/croissance/.
Elles y sont téléchargeables pour que chaque acteur du monde forestier puisse se saisir de ces résultats et réaliser ses propres analyses.

Un nouvel axe de travail consiste à généraliser les analyses pour davantage de types forestiers présents sur le territoire. En effet, les peuplements purs et réguliers représentent 30 % des forêts françaises en terme de superficie et ne sont ici pas tous étudiés. De plus, **l'intégration aux analyses des peuplements mélangés et à structure irrégulière donnera une vision plus globale des effets du changement climatique sur nos forêts**.
Ces peuplements ont fait l'objet d'une attention toute particulière ces dernières années. Il sera intéressant de connaître leur réponse au réchauffement global.
La modélisation de ces peuplements hétérogènes se heurte toutefois à des difficultés conceptuelles, auxquelles la science forestière ne s'est qu'imparfaitement attelée. Il s'agit à l'évidence d'un défi critique de recherche, qui fera à coup sûr progresser tant la théorie de la production écologique appliquée aux forêts que le monitoring forestier dans ce domaine.
Les perspectives de progrès sont de l'ordre de quelques années.

Par ailleurs, l'échelle géographique des GRECO ne permet pas de connaitre précisément les réponses locales, c'est-à-dire celles qui intéressent le plus les gestionnaires. **Des réflexions ont été amorcées pour spatialiser les chronologies** et seront poursuivies pour produire d'ici quelques années des cartes d'anomalies de croissance liées au climat (exemple à la Figure 17).
Ces travaux donneront sans nul doute naissance à des outils encore plus précis et utiles aux acteurs du monde forestier pour une gestion forestière plus durable et intégrant une meilleur prise en compte des effets du changement climatique, notamment dans un contexte de construction de l'Observatoire des forêts françaises.

L'importance de l'information produite par ces études démontre la possibilité de déployer un système de suivi national des forêts basé sur l'Inventaire forestier national et maintient la place de l'IGN en tant qu'opérateur de référence en matière d'information géographique et forestière.

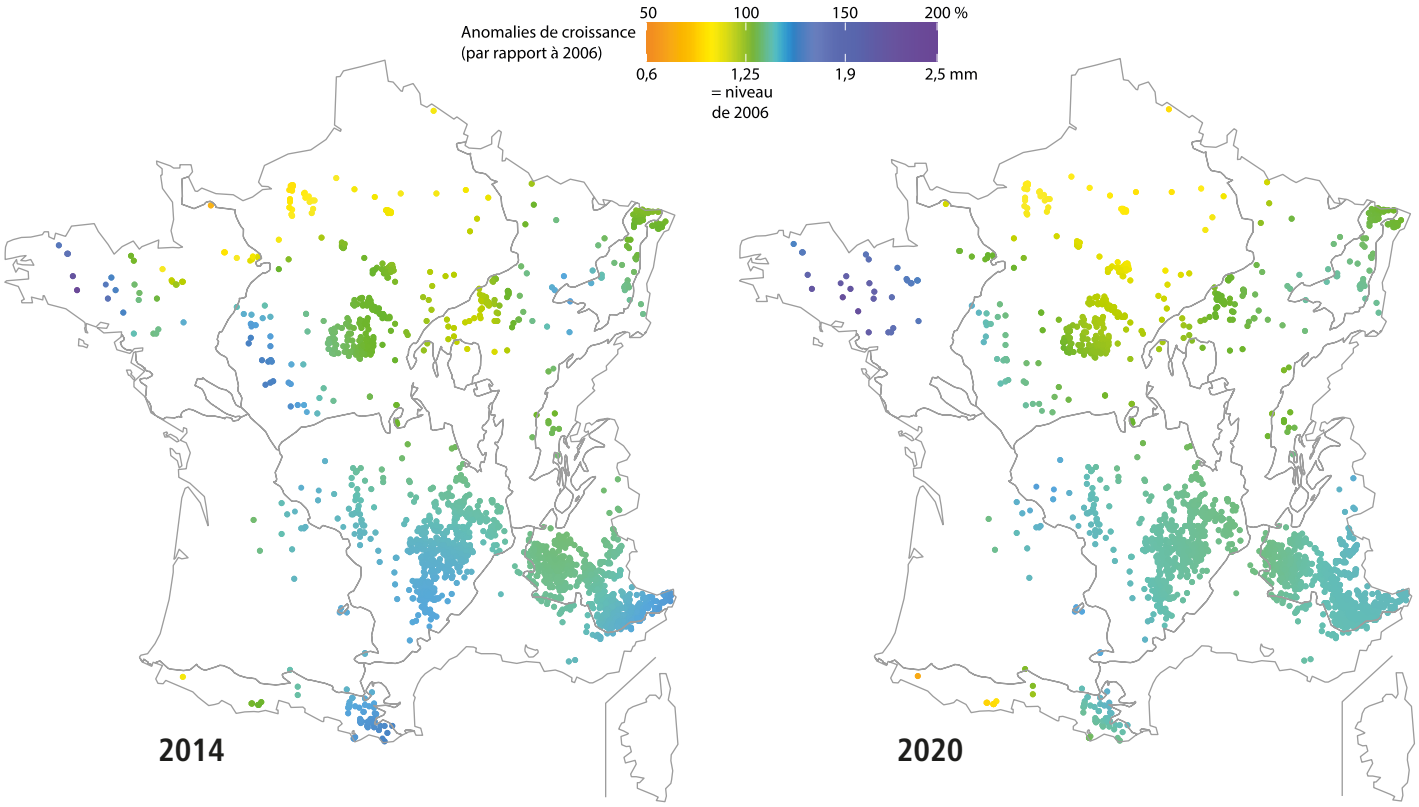



Figure 17 : Analyse exploratoire sous forme de cartes des anomalies de croissance du pin sylvestre pour les années 2014 et 2020

## À RETENIR

Les données de croissance radiale de l'Inventaire forestier national offrent de multiples possibilités pour évaluer les effets du réchauffement global sur la croissance forestière.

La vaste couverture géographique des placettes d'inventaire permet une bonne représentation de la forêt française métropolitaine et la prise en compte de sa diversité.

Cette première analyse des données montre que les peuplements purs et réguliers les plus négativement affectés sont ceux qui subissent une importante baisse de pluviométrie et une hausse des températures, notamment estivales.

Cela affecte plus fortement les conifères que les feuillus.

Afin d'obtenir une image la plus complète possible de l'impact du changement climatique sur nos forêts, des analyses plus poussées incluant l'ensemble de la diversité forestière, dont les peuplements mélangés et les essences moins communes, sont nécessaires.

Le LIF conduit également un programme de recherche pérenne sur le monitoring des effets du changement climatique. Les méthodes de suivi progresseront donc dans les années à venir.

Cette problématique souligne tout l'intérêt d'entourer la mission d'Inventaire forestier d'une mission de recherche, ainsi qu'il l'a été envisagé dans d'autres pays européens.

Les développements méthodologiques déjà réalisés ont pu profiter à l'inventaire forestier autrichien, dans une collaboration avec le Laboratoire d'inventaire forestier.

## BIBLIOGRAPHIE


Ols C., Hervé J.-C., Bontemps J.-D., 2020. Recent growth trends of conifers across Western Europe are controlled by thermal and water constraints and favored by forest heterogeneity. *Science of The Total Environment,* vol.742, 140453. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140453

Ols & Bontemps. 2021. Pure and even-aged forestry of fast growing conifers under climate change: on the need for a silvicultural paradigm shift. *Environmental Research Letters,* 16 024030. iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abd6a7

Ols *et al.* 2021. Unexpected negative effect of soil water availability on conifer forest growth trends detected across an oceanic-continental European gradient in a warming context. *Ecosystems.* doi.org/10.1007/s10021-021-00663-3

Ols C., Bontemps J.-D., Gschwantner T., 2019. Nadelbäume – wie reagiert das Wachstum auf die Klimaerwärmung? *BFW Praxisinformation, n°50.* bfw.ac.at/webshop/index.php?controller=attachment&id_attachment=538

Informations sur les Grandes régions écologiques : inventaire-forestier.ign.fr/?article773

Données collectées par l'inventaire forestier : inventaire-forestier.ign.fr/?rubrique240

Informations sur le Laboratoire d'inventaire forestier : inventaire-forestier.ign.fr/?rubrique245

Outil de visualisation et téléchargement des données brutes de l'inventaire forestier : inventaire-forestier.ign.fr/dataifn/

Outil de visualisation des anomalies de croissance : inventif.ign.fr/croissance/



L'IF

La synthèse périodique de l'inventaire forestier

inventaire-forestier.ign.fr





Autrices et auteur : Clémentine OLS, William MARCHAND, Nathalie DERRIERE.