



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Service Régional de la Forêt et du Bois



Sud Est

Occitanie – PACA – Corse

département de la santé des forêts

Note du 01/09/2025

Elaboré par Vincent Bisquay Gracia – Pôle SE de la Santé des Forêts

Relecture : Jean-Baptiste Daubrée – Expert problèmes abiotiques en Santé des Forêts

Julien Goullier-Lagadec – Pôle SE de la Santé des Forêts

Réseau de suivi du douglas au sud du Massif Central Bilan 2025



Exercice d'intercalibration dans une placette du réseau DSMC, photo : JB Daubrée

Table des matières

Introduction.....	4
Contexte	4
Présentation du réseau	5
I. Analyse du déficit foliaire	6
I.1. Un état des houppiers qui s’est dégradé ses 6 dernières années	6
I.1.1. Plus de la moitié des arbres sont dégradés	7
I.1.2 Plus d’un quart des placettes se sont améliorées.....	7
I.2 La sécheresse estivale : la raison de la dégradation des houppiers	8
I.3. Expliquer la variabilité spatiale : les facteurs de vulnérabilité.....	12
I.3.1. La dégradation est importante en conditions drainantes et minime sur sol chargé en éléments grossiers.....	12
I.3.2. La dégradation est importante en bas de versant et minime en zone plane	13
I.3.3. La dégradation est maximale en exposition sud-ouest et minimale en exposition nord.	14
I.3.4. Les placettes en basse altitude se sont plus dégradées	14
II. Analyse de la croissance	16
II.1. L’accroissement en surface terrière permet de s’affranchir des corrélations avec l’âge...	16
II.2. La croissance est particulièrement bonne en 2025	17
II.3 Le lien entre sécheresse estivale et croissance n’est pas démontré	18
II.4. Expliquer la variabilité spatiale : les facteurs de vulnérabilité.....	19
III.4.1. La croissance est maximale en zone plane et minimale en versant et bas de versant	19
III.4.2. La croissance est maximale pour les arbres exposés est et nord-ouest et minimale pour les arbres exposés nord-est.....	20
III.4.3. Le lien entre fertilité et croissance pourrait révéler une surdensité des peuplements	21
III. Lien entre l’état des houppiers et l’accroissement.....	22
IV. Analyse de la mortalité	24

V. Limites et perspectives.....	25
V.1. Limites	25
V.1.1. Manipulation des données	25
V.1.2. Rigueur statistique	25
V.1.3. Confusion d'effets	25
V.2. Perspectives	26
V.2.1. Caractériser le réseau DSMC.....	26
V.2.2. Réaliser une analyse multivariée des données stationnelles	26
V.2.4. Intégrer d'autres variables.....	26
Conclusion	28
ANNEXE : Cartographie	30

Introduction

Contexte

Le douglas est une essence de première importance en France avec un volume d'environ 131 millions de m³ de bois sur pied et représente l'essence principale sur 426 000 hectares de forêts. Dans le Massif Central en particulier, il apparaît souvent comme la meilleure alternative économique.

Au vu des dégâts liés aux sécheresses de 1990 et de 2003 au sud du Massif Central (voir figure 1), un réseau de suivi a été mis en place en 2008 par le CNPF et repris par le DSF avec un nouveau protocole en 2018. Ce réseau DSMC (réseau de suivi sanitaire du Douglas au Sud du Massif Central) permet de surveiller l'état sanitaire du Douglas au sud de son aire de répartition en France.

L'objectif est ici d'analyser la défoliation du douglas et les éventuels dépérissements. Les données utilisées proviennent :

- Des mesures annuelles des Correspondants Observateurs du réseau DSMC,
- De modélisations météorologiques issues du [module SAFRAN](#), permettant d'avoir des données météo pour chaque placette.

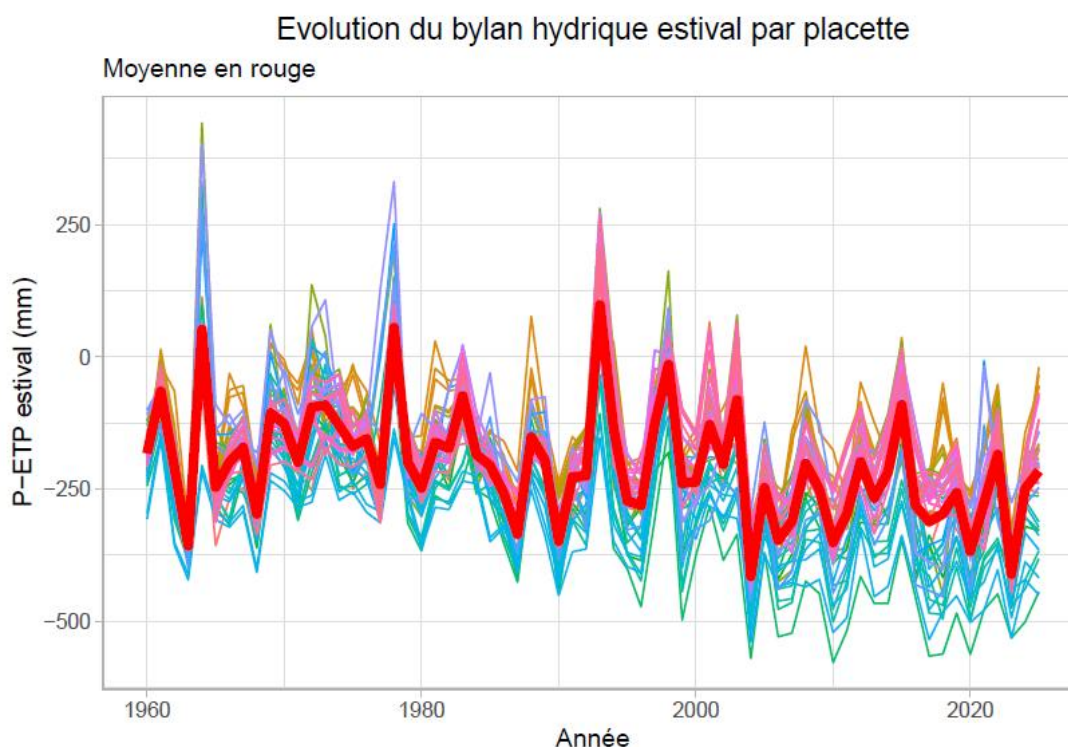


Figure 1 : Evolution du bilan hydrique estival du réseau (voir partie I.2.). Un net décrochage est visible en 2023.
Données SAFRAN

Présentation du réseau

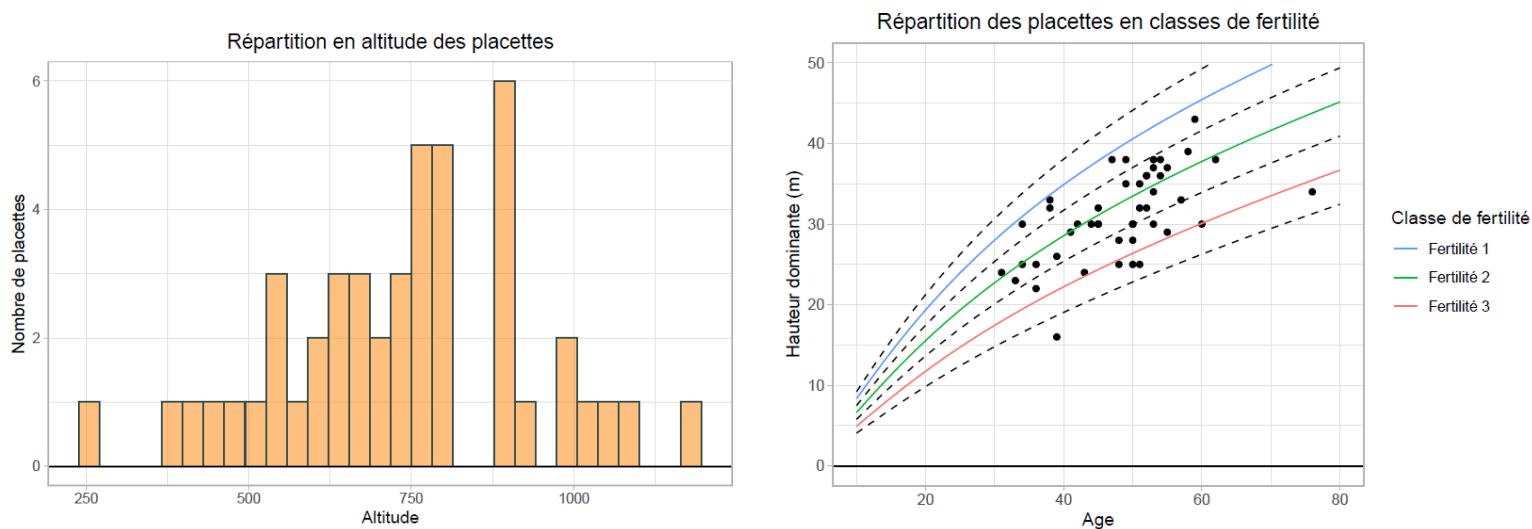
Les peuplements échantillonnés sont tous des futaies régulières adultes issues de plantations, la majorité ayant entre 50 et 55 ans. Les 47 placettes sont disposées suivant un gradient d'altitude de 250 à 1300m (figure 2), sachant que l'optimum de l'essence se situe entre 600 et 1000m d'altitude. Elles sont disposées en fonction de la surface de douglas environnante (plus le quadrat 16kmx16km comprend de surface en douglas, plus le nombre de placettes est important) et en fonction du risque BioclimSol, sur des parcelles de propriétaires forestiers volontaires. Différentes cartographies permettent de situer géographiquement le réseau (cf. ANNEXE).

Les placettes sont composées de 20 douglas dominants, soumis à une sylviculture classique.

En croisant la hauteur dominante des placettes avec l'âge des peuplements, les classes de fertilité (1 : bonne fertilité à 3 : mauvaise fertilité) ont été calculées. Les courbes de fertilité sont issues des [Rendez-vous techniques de l'ONF - n° 11 - hiver 2006](#).

Le réseau DSMC présente un bon gradient de fertilité, avec une grande majorité de placettes en fertilité moyenne (figure 2).

La proportion d'arbres présentant des symptômes imputables à un problème identifié (fomès, blessures...) reste très faible et ne permet pas un suivi régulier. Les deux indicateurs utilisés pour suivre la santé des arbres sont donc **l'état du houppier** (au travers du déficit foliaire) et **la croissance** (au travers de l'accroissement en surface terrière).



I. Analyse du déficit foliaire

L'état de santé du houppier est évalué en mesurant le déficit foliaire, c'est-à-dire la somme des branches mortes et des aiguilles manquantes sur le houppier hors concurrence par rapport à un arbre de référence. Les notes varient de 0% à 100% en classes de 5. Afin de ne pas négliger la mortalité, lors du traitement des données, les arbres morts sont réintégrés, avec un déficit foliaire de 100.

I.1. Un état des houppiers qui s'est dégradé ces 6 dernières années

Le déficit foliaire moyen a augmenté de 15 points entre 2018 et 2025 en passant de 35% à 50% (voir photographies figure 3), montrant une dégradation des arbres au cours de cette période. S'il y a une grande diversité d'état des houppiers selon les placettes, leur dégradation ces 6 dernières années semble généralisée (figure 3).

La figure 4 reprend les défoliations moyennes et les compare les unes aux autres : si deux moyennes sont associées à des lettres différentes, alors elles sont significativement différentes.

Il est intéressant de noter que la note moyenne de déficit foliaire a connu trois augmentations significatives : entre 2018 et 2019, entre 2022 et 2023 et enfin de 2023 à 2024. L'état moyen des houppiers en 2025 est resté très proche de celui de 2024.

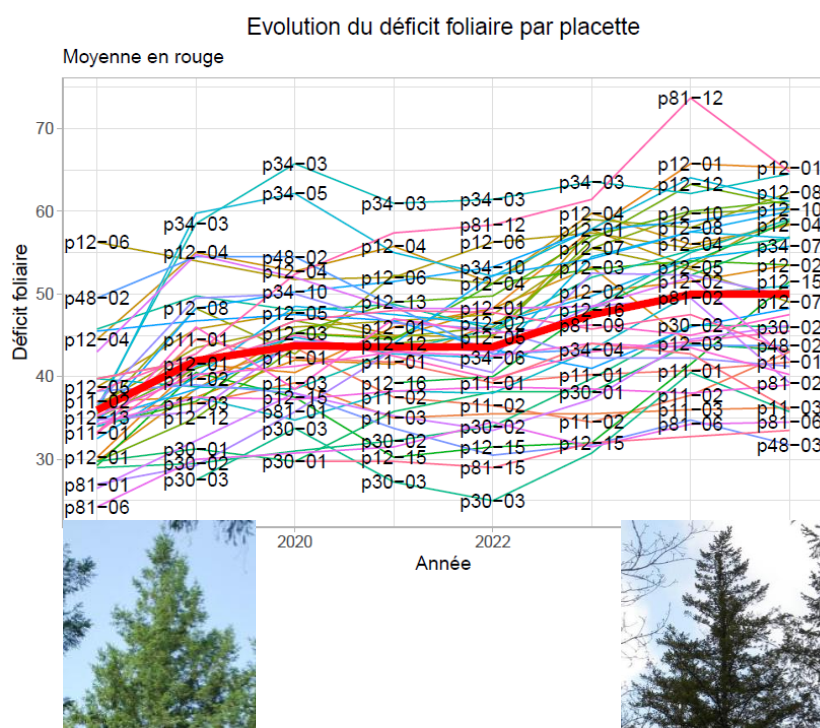
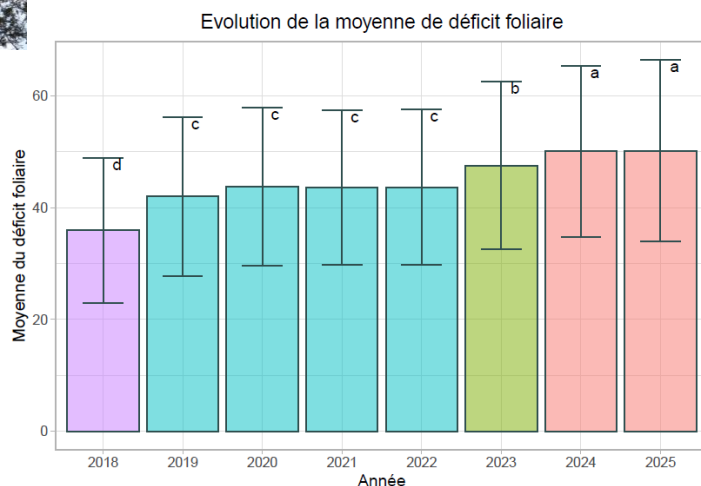


Figure 3 : Evolution du déficit foliaire par placette. Bien que les placettes soient très hétérogènes, la dégradation semble généralisée. Les photographies représentent un arbre à 30% (à gauche) et un à 60 % (à droite) de déficit foliaire.

Figure 4 : Evolution de la moyenne du déficit foliaire. Des lettres et couleurs différentes signifient que les moyennes sont statistiquement différentes (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type.



1.1.1. Plus de la moitié des arbres sont dégradés

Une autre façon de visualiser l'évolution du réseau est d'observer la proportion d'arbres dégradés. On entend par arbre dégradé, un arbre dont le déficit foliaire est d'au moins 50%.

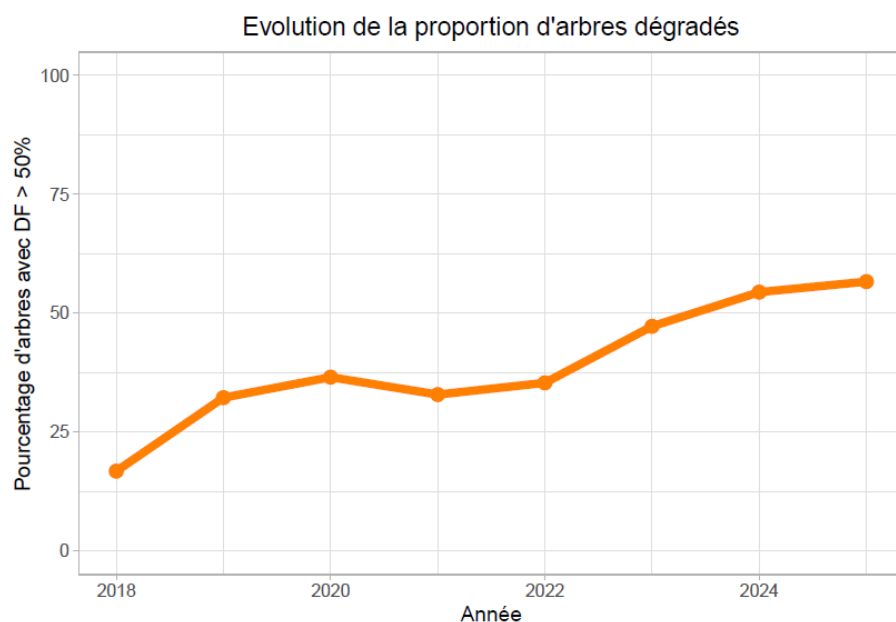


Figure 5 : Evolution de la proportion d'arbres présentant un déficit foliaire de 50% ou plus sur l'ensemble du réseau.

Pour plus d'informations sur cet indicateur, vous pouvez vous référer au bilan des [Indicateurs de l'état de santé des forêts du pôle Sud Est](#).

On constate que la proportion d'arbres dégradés suit presque exactement l'évolution du déficit foliaire : une forte dégradation en 2019, suivie d'une dégradation plus faible en 2020 puis d'un plateau en 2021 et 2022. Les arbres se sont ensuite fortement dégradés en 2023 et 2024 de manière moins importante (figure 5).

Si à l'installation du réseau, seuls 16,8% des arbres sont concernés, en 2024 on passe la barre des 50%. Cela se confirme en 2025 avec 56,6% des arbres concernés. Si l'on considère le réseau comme un peuplement, il est devenu dégradé au sens DSF dès la deuxième année, c'est-à-dire présentant 20% de tiges dont le déficit foliaire est supérieur à 50%. Une carte des défoliations moyennes est disponible en ANNEXE.

1.1.2 Plus d'un quart des placettes s'est amélioré

Derrière les moyennes précédemment présentées, les placettes se comportent différemment. On regarde ici la dynamique des placettes deux années consécutives selon les classes suivantes :

Evolution de la note de déficit foliaire moyen de la placette	Classe
Augmentation de plus de 10	Forte dégradation
Augmentation entre 1 et 10	Dégradation
Entre augmentation de 1 et diminution de 1	Stable
Diminution entre 1 et 10	Amélioration
Diminution de plus de 10	Forte amélioration

Il est intéressant de noter que les fortes dégradations ont marqué les années d'augmentation du déficit foliaire observée plus haut.

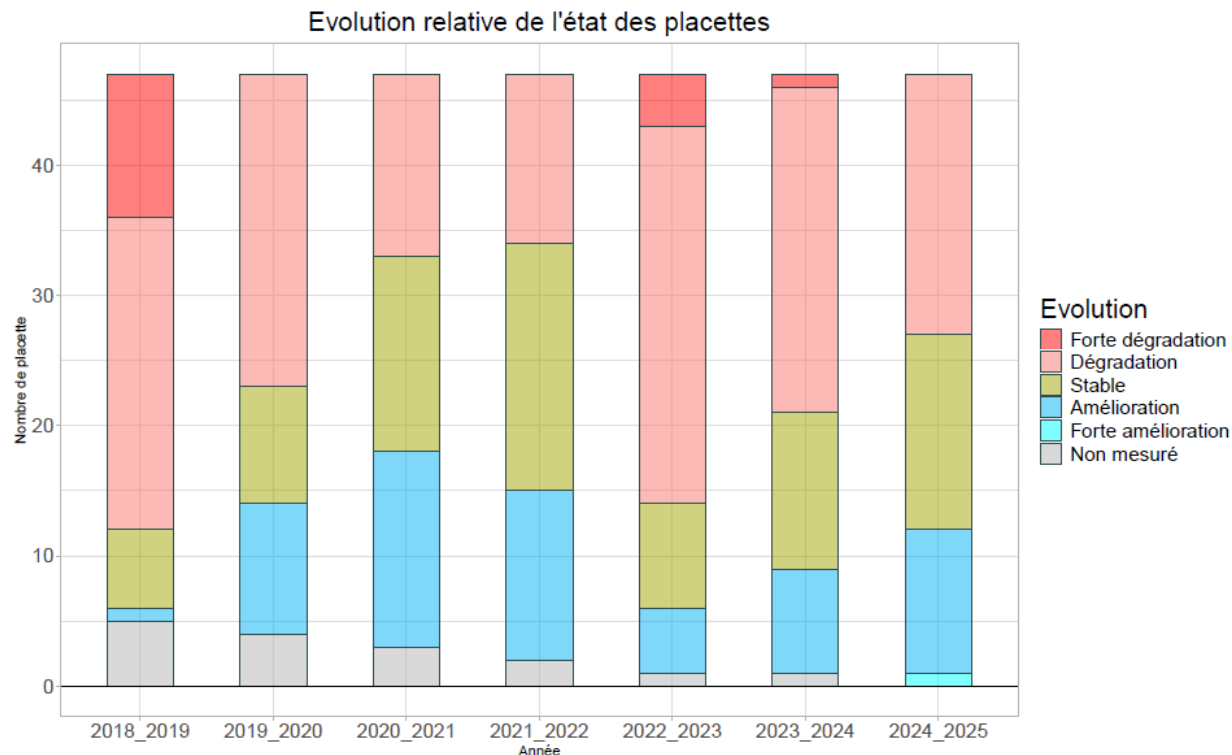


Figure 6 : Différence du déficit foliaire de chaque placette entre chaque année consécutive.

Par rapport à l'année dernière, un nombre plus important de placettes (25,5%) montrent une amélioration, notamment sur les Monts de Lacaune (figure 7). Depuis 2022, 2025 est la première année où la majorité des placettes ne se dégrade pas. Depuis la création du réseau, une seule placette a connu une forte amélioration, et ce en 2025 (figure 6).

1.2 La sécheresse estivale : la raison de la dégradation des houppiers

La dégradation en palier de l'état des houppiers est probablement liée au changement climatique ou du moins aux tendances météorologiques. En particulier, la physiologie du douglas est mise en difficulté si exposée à un bilan hydrique inférieur à -250mm pendant la saison de végétation et -220mm entre juin et août (Lemaire, 2013)¹. Une seconde étude, portant sur les plantations dans le Tarn, montre l'influence d'un bilan hydrique entre juin et août inférieur à -170mm sur les taux de survie (Petroff et Nouky, 2019)².

¹ Jean Lemaire. *Comment intégrer le risque de sécheresse dans la gestion du douglas ?* Forêt-entreprise, janvier 2013, n°208, pp. 37-42

² Alexandre Petroff et Gregory Nouky. *Evaluation du renouvellement de la ressource forestière dans les forêts privées du Tarn*. CNPF. https://occitanie.cnpf.fr/sites/occitanie/files/2022-12/2019_CRPF_tarn_syndicat_dsf_renouvellement_ressource_final.pdf

$$BH = (P_6 + P_7 + P_8) - (ETPr_6 + ETPr_7 + ETPr_8)$$

Avec :

- BH le Bilan Hydrique.
- P_i la somme des Précipitations liquides du mois i issue des données SAFRAN.
- $ETPr_i$ la somme des Evapo-Transpirations réelles du mois i issue des données SAFRAN.

Les données climatiques de la placette p34-07 sont remplacées par celles de la p34-06. En effet, les données climatiques sont affectées à chaque placette en recoupant leur position avec la maille des quadrats SAFRAN (8km x 8km). Les placettes p34-07 et p34-06 sont proches et dans le même contexte montagnard. Or, le quadrat retenu pour la p34-07 est en très grande majorité situé en zone méditerranéenne, simulant des données météorologiques ne traduisant pas les conditions stationnelles de la placette.

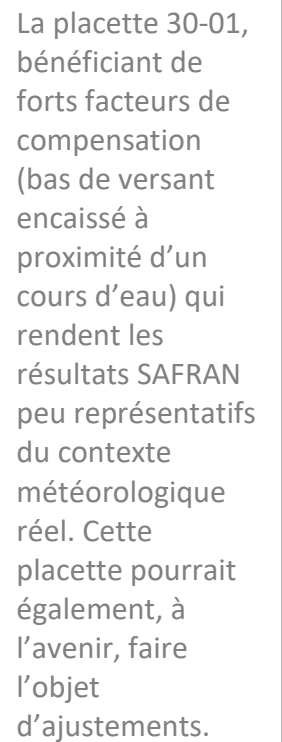


Figure 7: Carte des placettes sur les 6 départements concernés.

Les notations du réseau DSMC ayant lieu après la saison de végétation (entre janvier et mars), on utilise les données estivales de l'année précédente. Pour la notation 2025 ce sont donc les données 2024 qui sont utilisées.

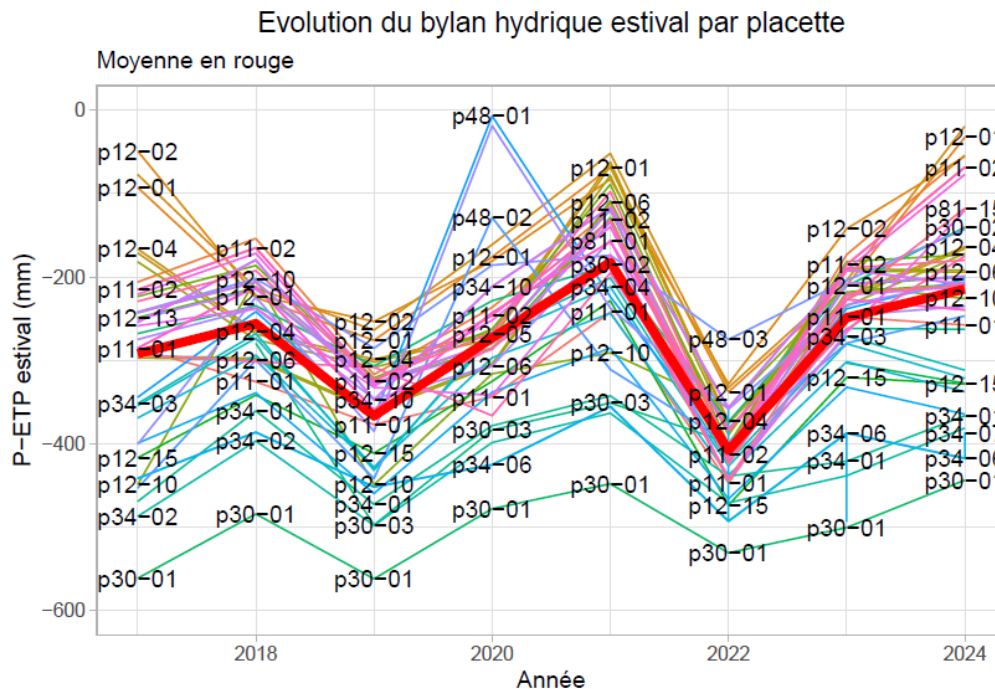


Figure 8 : Evolution du P-ETP de juin à août du réseau. En raison de la notation hivernale, ces données météo influenceront les mesures de l'année n+1.

En moyenne, le stress hydrique a été très modéré en 2025 (figure 8), ce qui n'a toutefois pas permis aux houppiers de se reconstituer. On remarque qu'en moyenne, le réseau est très souvent en dessous des recommandations citées plus haut. Des cartes décrivant les bilans hydriques estivaux des placettes du réseau pour chaque année sont disponibles en ANNEXE.

On note bien les 3 années exceptionnelles en matière de déficit hydrique estival : 2017, 2019 et 2022, correspondant aux sauts de déficit foliaire notés les hivers suivants. L'année 2022, très marquée en matière de déficit hydrique, induit également un nombre important de placettes présentant une forte dégradation.

Cependant, la relation entre bilan hydrique et déficit foliaire n'est pas facilement démontrable. Les notations 2025 permettent de mettre en lumière le lien entre les deux variables (figure 9). Ce lien n'est pas significatif ou très faible pour les autres années, ou pour toutes années confondues. La relation n'apparaît plus si l'on s'intéresse aux données par placette et non plus par arbre.

Si l'on s'intéresse à l'ensemble des données, la dynamique temporelle très différente des deux variables complexifie l'analyse. En effet, si le bilan hydrique augmente ou diminue d'une année sur l'autre, le déficit foliaire s'accumule. En revanche, l'utilisation du bilan hydrique cumulé permet de faire apparaître ce lien de manière plus évidente.

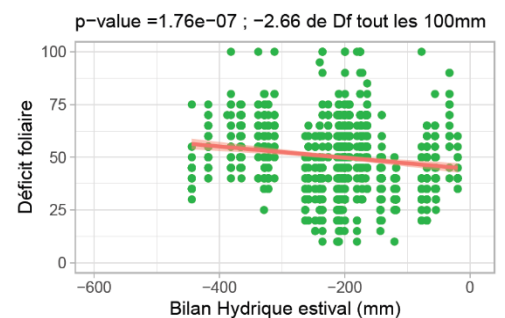


Figure 9 : Relation entre le P-ETP de juin à août 2024 et le déficit foliaire 2025. Données par arbre et non par placette.

Au vu des travaux cités plus haut, on s'intéressera ici aux bilans hydriques inférieurs à -200mm. Enfin, on prend l'inverse du bilan hydrique afin d'avoir des valeurs positives et faciliter la lecture. On parle alors d'un déficit hydrique estival supérieur à 200mm cumulé (figure 10).

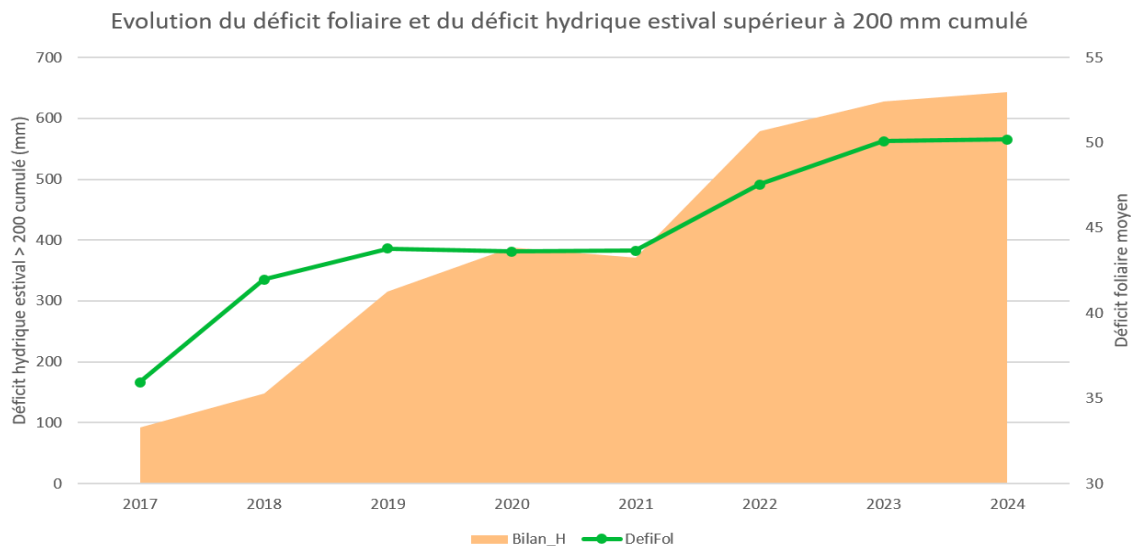


Figure 10 : Evolution du déficit foliaire moyen du réseau (en vert) et du déficit hydrique estival dépassant les 200mm cumulés (en beige). Les données météo sont celles de l'année affichée, les données de déficit sont celles de l'année suivante. En 2021 le déficit hydrique estival est inférieur à 200 mm, le cumul diminue donc par rapport à 2020. Les deux variables semblent liées.

Une régression entre les deux variables permet de montrer une relation nette (figure 11). Bien que la pente soit faible (les douglas gagnent 2% de déficit foliaire en moyenne si le bilan hydrique estival descend de 100mm en dessous de 200) on peut imaginer que des sécheresses à répétition marquent fortement l'état de santé des houppiers.

Il est intéressant de noter que la relation est temporelle, mais pas spatiale : si l'on s'intéresse aux déficits foliaires et aux bilans hydriques par placette ou par département (et non par année) on n'obtient plus de relation.

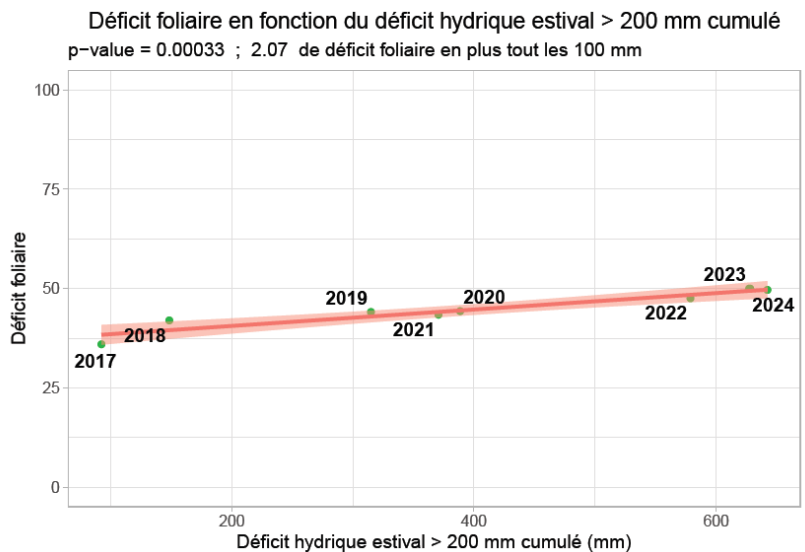


Figure 11 : Relation entre le déficit foliaire moyen par année et le déficit hydrique estival dépassant les 200mm cumulés.

On peut donc penser que les différences d'état sanitaire entre placettes sont dues à d'autres variables : les facteurs de vulnérabilité.

I.3. Expliquer la variabilité spatiale : les facteurs de vulnérabilité

Si le déficit foliaire a globalement augmenté, les placettes n'ont pas toutes le même comportement, probablement en lien avec les caractéristiques stationnelles. L'objectif ici est d'identifier les variables environnementales rendant les peuplements plus vulnérables aux à-coups climatiques.

Parmi les variables testées, la lithologie et la fertilité ne semblent pas expliquer le déficit foliaire et son évolution (non présenté).

I.3.1. La dégradation est importante en conditions drainantes et minimales sur sol chargé en éléments grossiers

Sur les 47 placettes du réseau en 2025, 20 ont un facteur limitant du sol signalé à l'installation.

Comme montré par la figure 12, le sol a bien une influence statistique sur le déficit foliaire. En 2025, celui-ci est moindre en cas de forte charge en éléments grossiers (45% de déficit moyen) et important en cas de facteur limitant non identifié (Autre) ou de situation topographique drainante (respectivement 57% et 58%).

La dynamique de l'état des houppiers est aussi impactée par le sol : le déficit foliaire est resté constant dans les sols à forte charge en éléments grossiers et dans les sols très filtrants. En revanche, le déficit foliaire augmente pour les autres placettes, en particulier celles en position topographique drainante (environ de 30% en 2018 à plus de 55% en 2025).

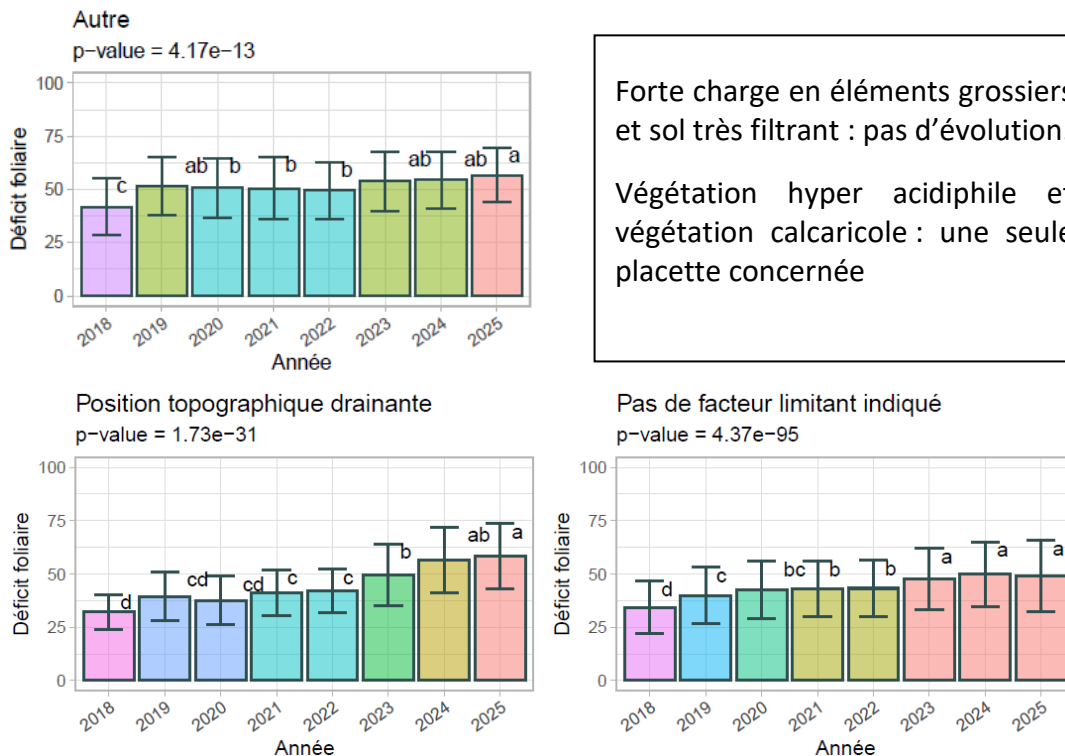


Figure 12 : Evolution du déficit foliaire en fonction du facteur limitant du sol indiqué par les CO à l'installation des placettes. Des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type.

1.3.2. La dégradation est importante en bas de versant et minime en zone plane

60% des placettes sont positionnées sur des versants. La figure 12 permet de constater que le déficit foliaire a augmenté dans toutes les situations topographiques hormis les placettes en zone plane qui ne semblent pas montrer d'évolution et restent les moins dégradées.

Les notes de déficit foliaire ont subi une dégradation et sont importantes en haut de versant. Cela pourrait s'expliquer simplement par des situations plus drainantes, faisant le lien avec les facteurs limitants du sol vus précédemment.

En bas de versant, les arbres semblent présenter des houppiers plus dégradés qu'ailleurs, et ce pour toutes les années. Cela pourrait s'expliquer par la présence de la *Rouille Suisse* (*Phaeocryptopus gaeumannii*), facteur de chute d'aiguilles. Une autre explication porterait sur la disparition de l'effet des facteurs de compensation du fait de l'évolution climatique.

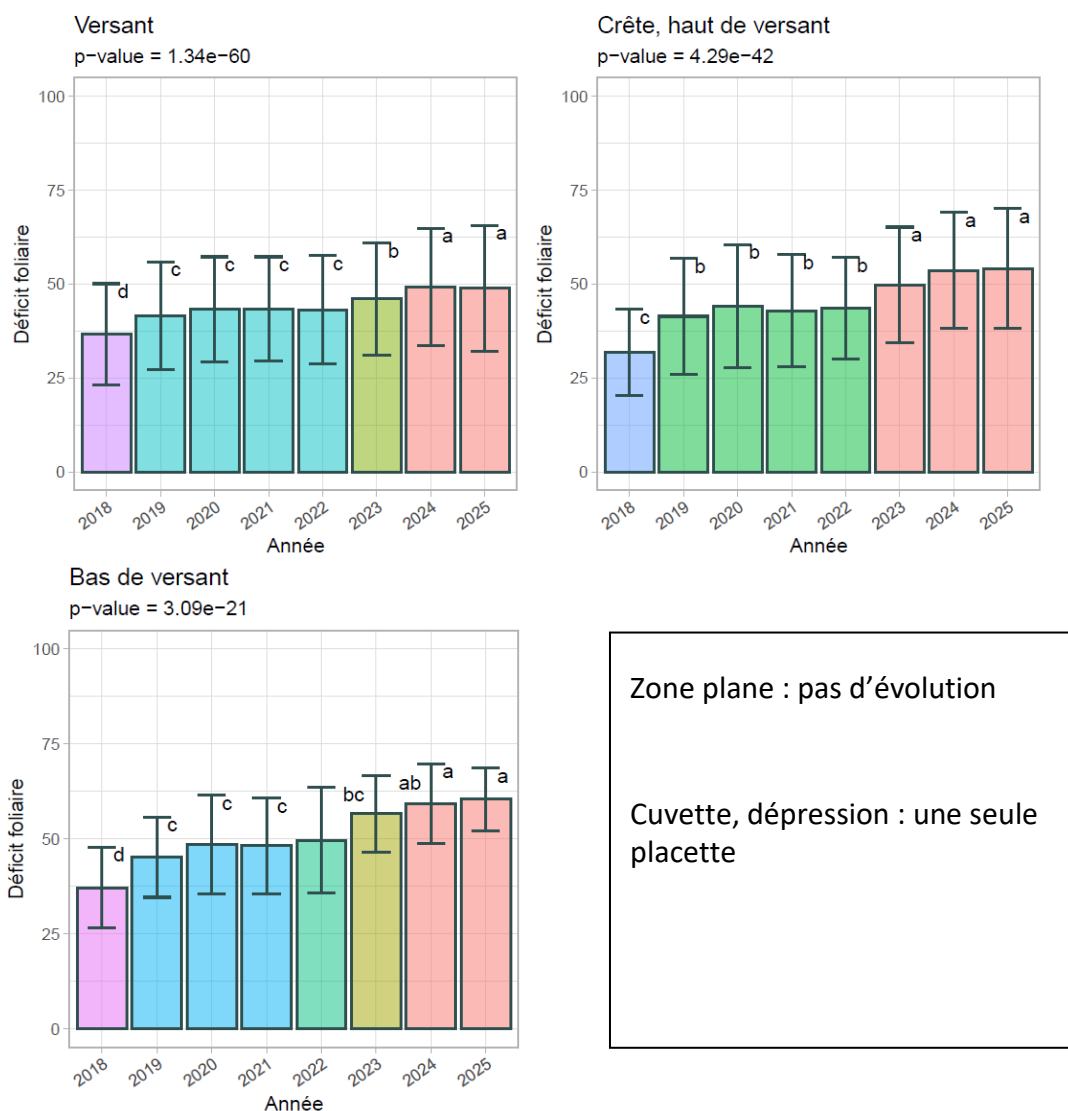


Figure 12 : Evolution du déficit foliaire en fonction de la topographie indiquée par les CO à l'installation des placettes. Des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type.

1.3.3. La dégradation est maximale en exposition sud-ouest et minimale en exposition nord.

La répartition des placettes suivant l'exposition est relativement équilibrée. Comme évoqué précédemment, le déficit foliaire des placettes en zone plane est resté bas. Si l'on s'intéresse aux autres expositions, on peut représenter leur évolution sous forme d'une rose des vents (figure 13).

On observe que la dégradation des houppiers est survenue, dans un premier temps, au sein des expositions nord-ouest, sud et sud-est en 2018.

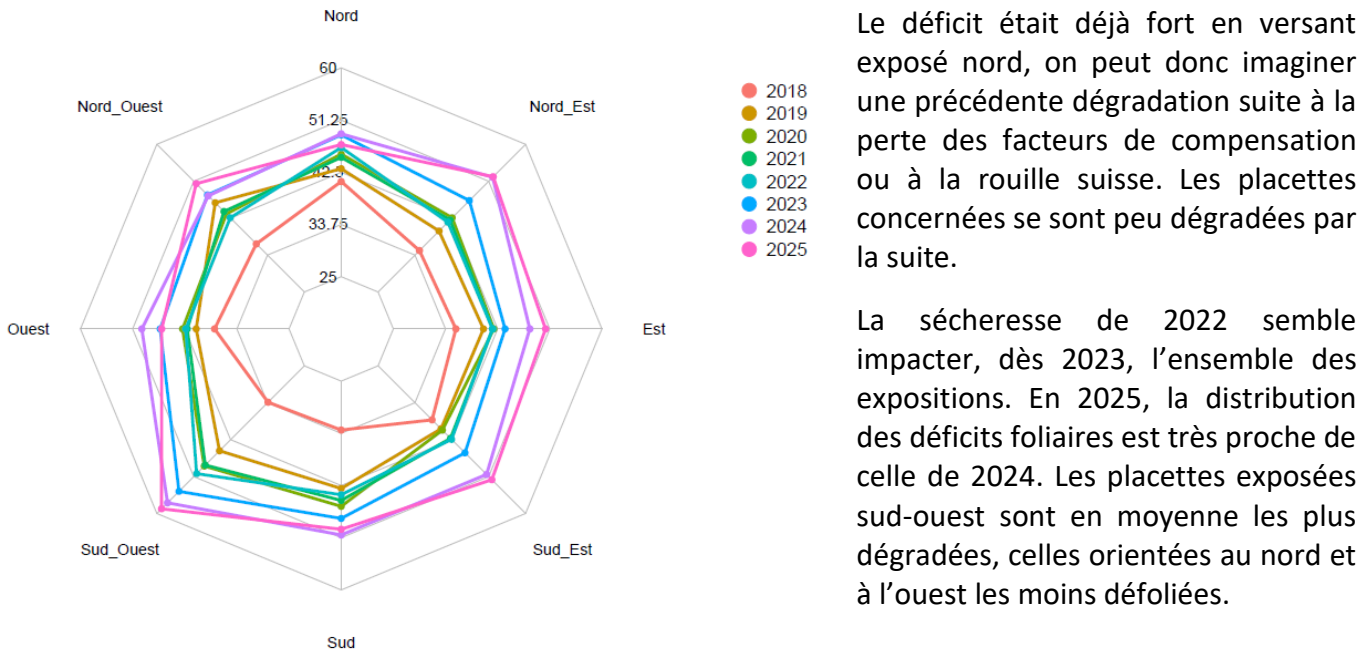


Figure 13 : Evolution du déficit foliaire en fonction de l'exposition indiquée par les CO à l'installation des placettes. Seules les placettes avec une exposition (hors zone plane) sont présentées ici.

1.3.4. Les placettes en basse altitude se sont plus dégradées

Sur la figure 14, on observe, en 2018, une relation positive entre altitude et déficit foliaire, avec des placettes en moyenne plus défoliées en altitude. Cela est peut-être dû au risque de gel agissant alors en facteur limitant.

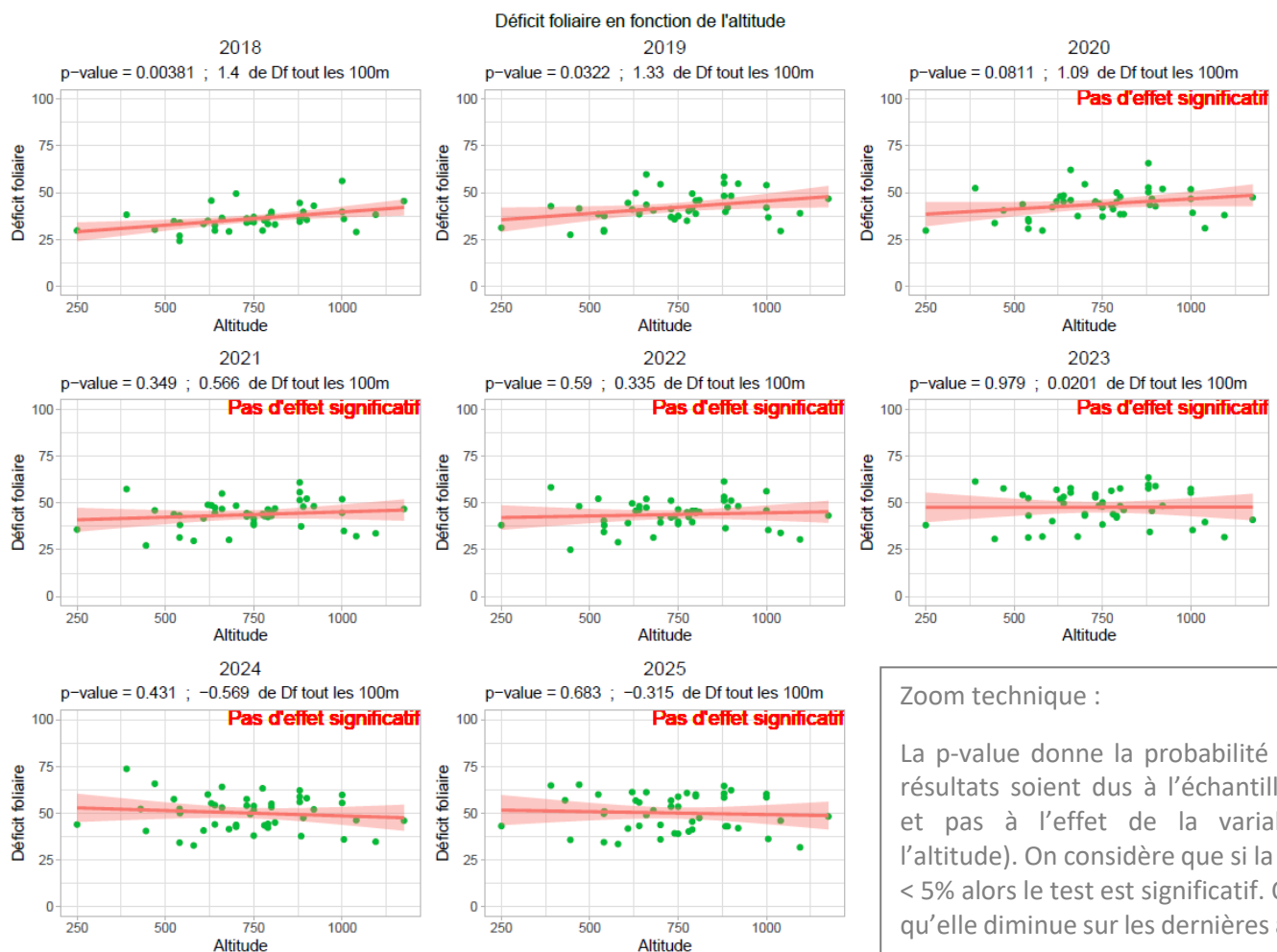


Figure 14 : Relation entre le déficit foliaire en fonction de l'altitude indiquée par les CO à l'installation des placettes. Si la relation est positive en 2018, elle perd en significativité et semble même s'inverser.

Il est intéressant de remarquer que la relation se dégrade au fur et à mesure des années. Si l'on calcule tout de même la pente de la régression, on constate que la tendance s'inverse : le déficit foliaire augmente en basse altitude alors qu'il évolue peu chez les placettes les plus hautes. On remarque même que cette relation se précise en 2024 et 2025 (voir zoom technique). On peut imaginer que dans les années à venir, le réseau montre une corrélation négative significative entre altitude et déficit foliaire.

Cette inversion pourrait être due au changement climatique, le facteur limitant cessant d'être le gel en haute altitude mais la chaleur en basse altitude, que ce soit en condition humide favorisant la rouille suisse ou en condition sèche accentuant alors l'évapotranspiration.

II. Analyse de la croissance

II.1. L'accroissement en surface terrière permet de s'affranchir des corrélations avec l'âge

En plus des données sanitaires, les CO relèvent annuellement sur chaque arbre la circonférence. Cela permet le calcul de deux variables liées à la croissance (figure 15) :

- L'accroissement (en cm/an), soit la différence en circonférences : $C_n - C_{n-1}$ avec C_n et C_{n-1} respectivement les circonférences de l'année n et de l'année précédente.
- Le BAI (en cm²/an), l'accroissement en surface terrière (ou "incrément de surface basale", *Basal Area Increment* en anglais).

La prise en compte du BAI permet de corriger le biais induit par l'âge du peuplement, à la fois dans le temps (pas de diminution avec l'âge) et dans l'espace (permet la comparaison de peuplements d'âges différents). Pour ces raisons, on utilisera en priorité ce dernier (figure 16).

Le calcul du BAI suppose une forme cylindrique des tiges (ce qui est acceptable pour le Douglas) et s'obtient en calculant la surface entre le cerne de l'année $n - 1$ et le cerne de l'année n . Avec des circonférences, la formule devient :

$$BAI = \frac{C_n^2}{4\pi} - \frac{C_{n-1}^2}{4\pi}$$

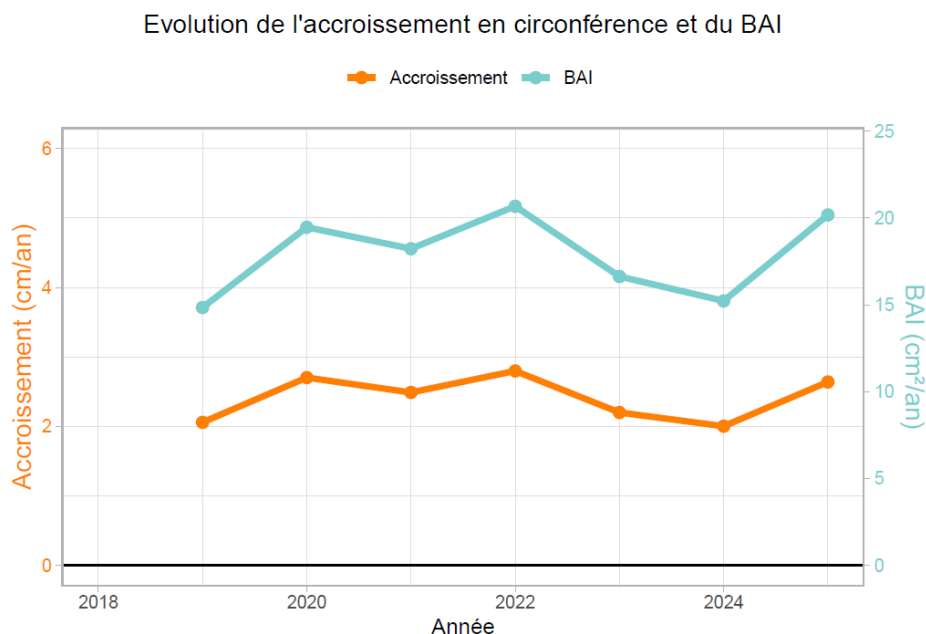


Figure 15 : Evolution de l'accroissement annuel en circonférence et du BAI (croissance en surface terrière). Les deux variables traduisent le même phénomène de croissance.

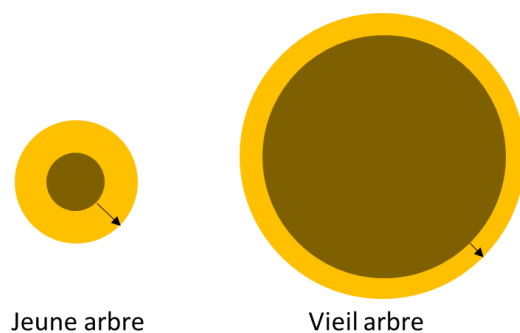


Figure 16 : En évaluant la croissance avec la différence de circonférence, l'arbre jeune a plus grandi que l'ancien. Or, ils ont tous deux produit la même quantité de bois. L'utilisation de la croissance en surface terrière (surface de bois produit à 1m30) permet d'éviter ce biais.

II.2. La croissance est particulièrement bonne en 2025

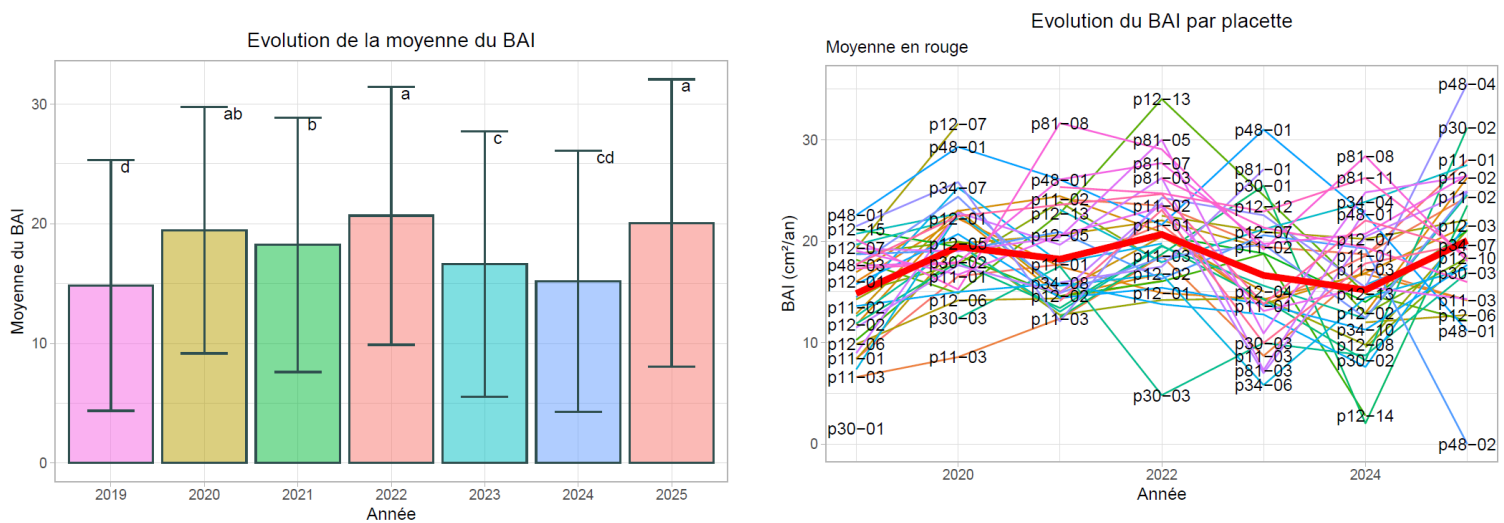


Figure 17 : Evolution de l'accroissement en surface terrière (BAI) du réseau. A droite : comparaison des moyennes annuelles, des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type. A gauche : Evolution par placette.

Bien que les distinctions ne soient pas aussi franches que pour le déficit foliaire, deux groupes se dessinent : 2019, 2023 et 2024 avec une faible croissance ; 2020, 2021, 2022 et 2025 avec une meilleure croissance. Les années 2022 et 2025 correspondent aux croissances les plus importantes.

Contrairement à ce qui pourrait être supposé, la croissance des arbres dominants du réseau varie avec les années mais ne se dégrade pas en lien avec le déficit foliaire. En effet, on pourrait s'attendre à une baisse de la croissance liée aux multiplications des stress abiotiques ou à la montée en puissance de la rouille suisse.

Les croissances moyennes sont très différentes d'une placette à l'autre, avec un comportement des placettes parfois opposé la même année (figure 17, figure 19).

De manière analogue au déficit foliaire, on cherchera à expliquer la variabilité de la production par les conditions météo et les conditions stationnelles.

II.3 Le lien entre sécheresse estivale et croissance n'est pas démontré

Comme précédemment, les données de bilan hydrique estival ont été utilisées afin de déterminer un lien entre elles et la croissance en BAI. Bien qu'aucun lien significatif n'ait été observé (cf. figure 19), il est tout de même intéressant de noter que le BAI est en moyenne supérieur dans les placettes au meilleur bilan hydrique.

Figure 18 : Lien entre la croissance en surface terrière (BAI) et le bilan hydrique estival. Bien que non significatif, on observe une tendance qui pourrait se confirmer à l'avenir.

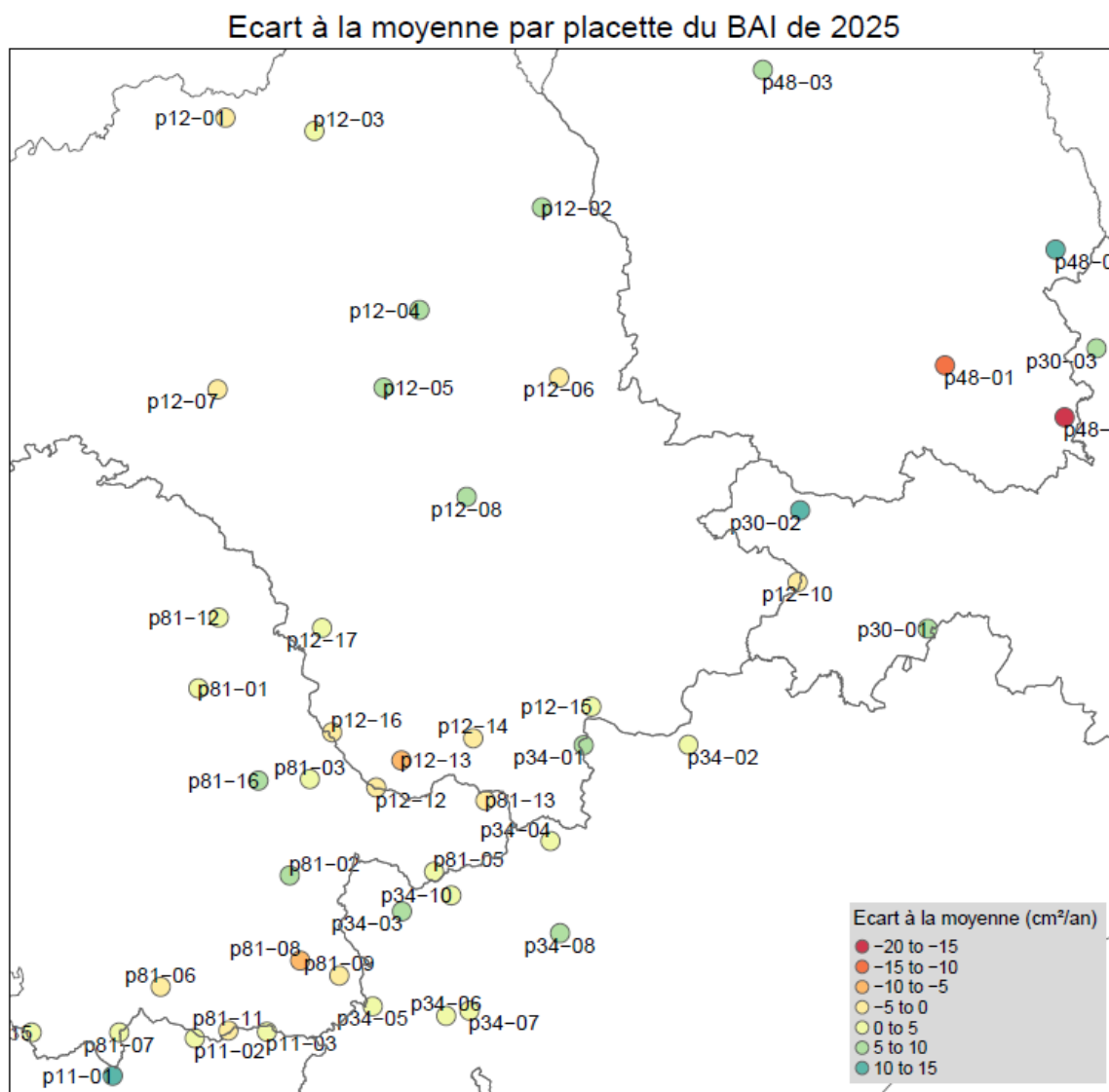
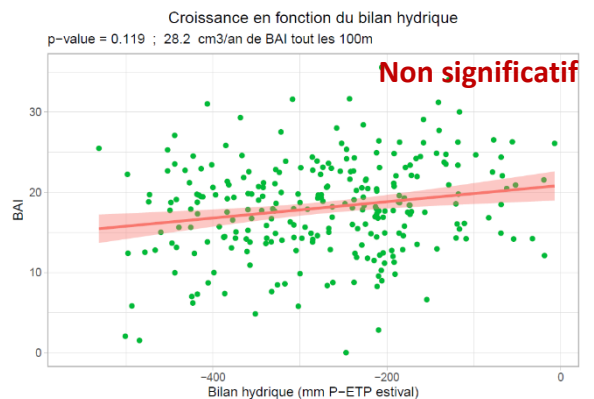


Figure 19 : Ecart de la croissance en surface terrière (BAI) entre la note 2025 et la moyenne (2018-2025) par placette. La croissance est supérieure en 2025 pour la majorité des placettes. La moyenne du réseau est montrée en ANNEXE.

II.4. Expliquer la variabilité spatiale : les facteurs de vulnérabilité

Les écarts entre arbres et entre placettes sont importants. Comme précédemment pour le déficit foliaire, on recherche ici des variables environnementales pouvant expliquer ces écarts. Cependant, il est important de rappeler que la mesure des accroissements, portant sur 20 arbres dominants dans la placette, est fortement liée à des données sylvicoles indépendantes du réseau.

Parmi les variables testées, la lithologie et l'altitude ne semblent pas expliquer le BAI et son évolution. Concernant les facteurs limitants du sol, les écarts sont minimes (notamment au regard des écarts types) et ne présentent pas de groupes distincts (non montré dans ce document).

III.4.1. La croissance est maximale en zone plane et minimale en versant et bas de versant

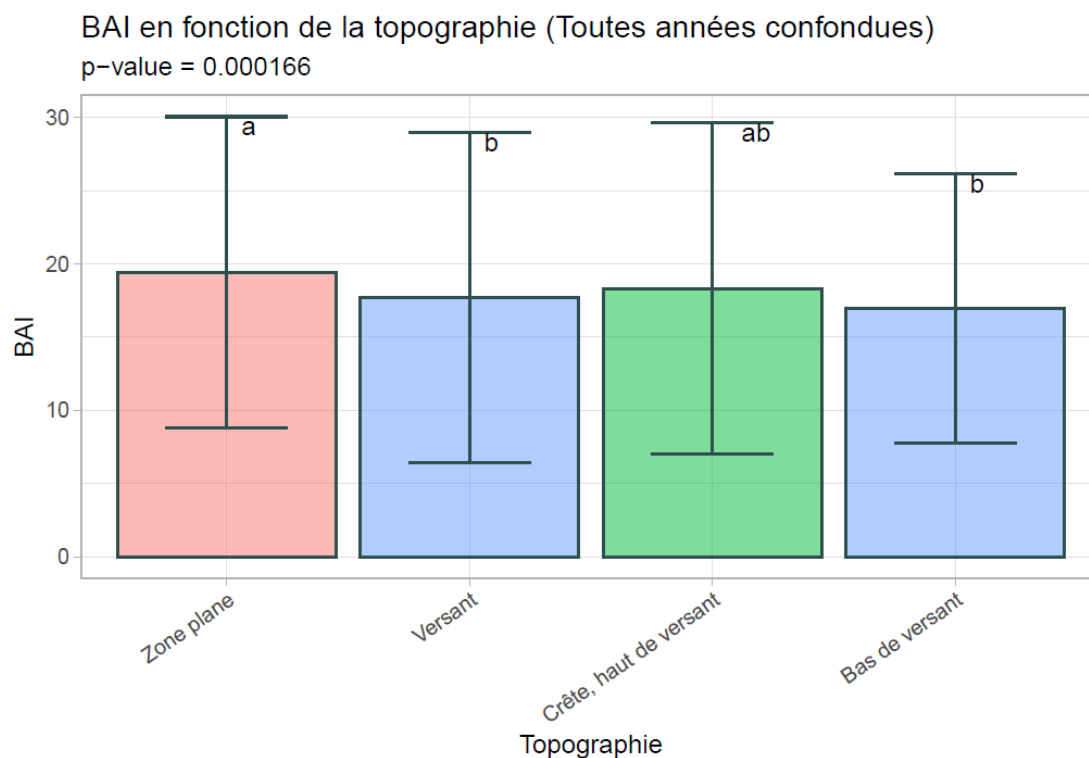


Figure 20 : Comparaison de la croissance en surface terrière (BAI) des arbres en fonction de la position topographique indiquée lors de l'installation de la placette. La modalité « Cuvette, dépression » a été retirée car ne concernant qu'une placette. Des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type.

La croissance semble être plus importante en zone plane, et moins importante en versant et bas de versant (figure 20). Bien que les croissances entre ces deux groupes soient significativement distinctes, les écarts types sont importants et se chevauchent en grande partie.

III.4.2. La croissance est maximale pour les arbres exposés est et nord-ouest et minimale pour les arbres exposés nord-est

BAI en fonction de l'exposition (Toutes années confondues)

p-value = 5.45e-07

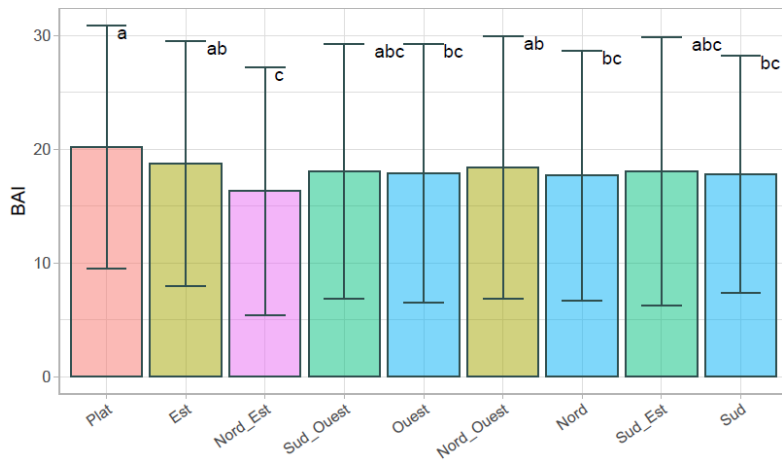


Figure 21 : Comparaison de la croissance en surface terrière (BAI) des arbres en fonction de l'exposition de leur placette indiquée à l'installation. Des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type.

Outre les placettes en conditions planes (résultat déjà visible au chapitre précédent), la croissance semble plus importante sur les placettes exposées à l'est et au nord-ouest et moins importante pour les expositions nord-est (figure 21). Cependant, bien que les différences soient statistiques ($p\text{-value} < 0.05$), les différences entre les groupes sont peu tranchées et les écarts-types se chevauchent de manière importante.

Une autre manière de visualiser la croissance consiste à afficher l'évolution de la circonférence moyenne par exposition (figure 22). La lecture du graphique ainsi obtenu permet de noter, en 2025, une croissance plus importante pour les placettes exposées nord-ouest et ouest ainsi qu'au sud.

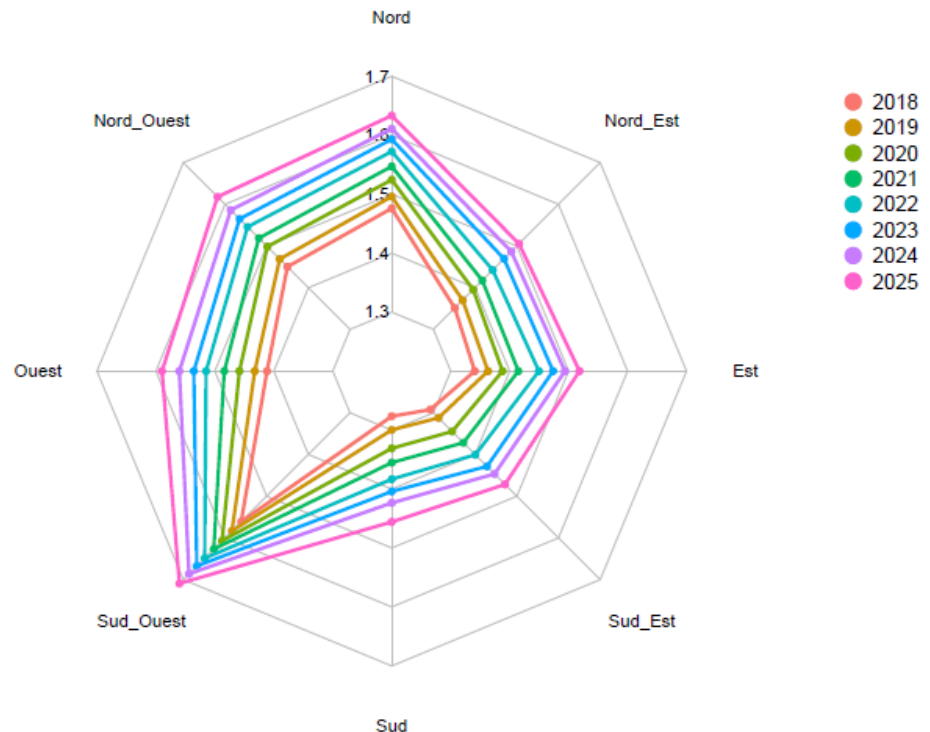


Figure 22 : Evolution de la circonférence moyenne en fonction de l'exposition. La lecture du graphique se réalise de manière analogue à celle des cernes d'un tronc. Les arbres exposés au sud-ouest sont en moyenne plus larges que les autres. Seules les placettes avec une exposition (hors zone plane) sont présentées ici.

III.4.3. Le lien entre fertilité et croissance pourrait révéler une surdensité des peuplements

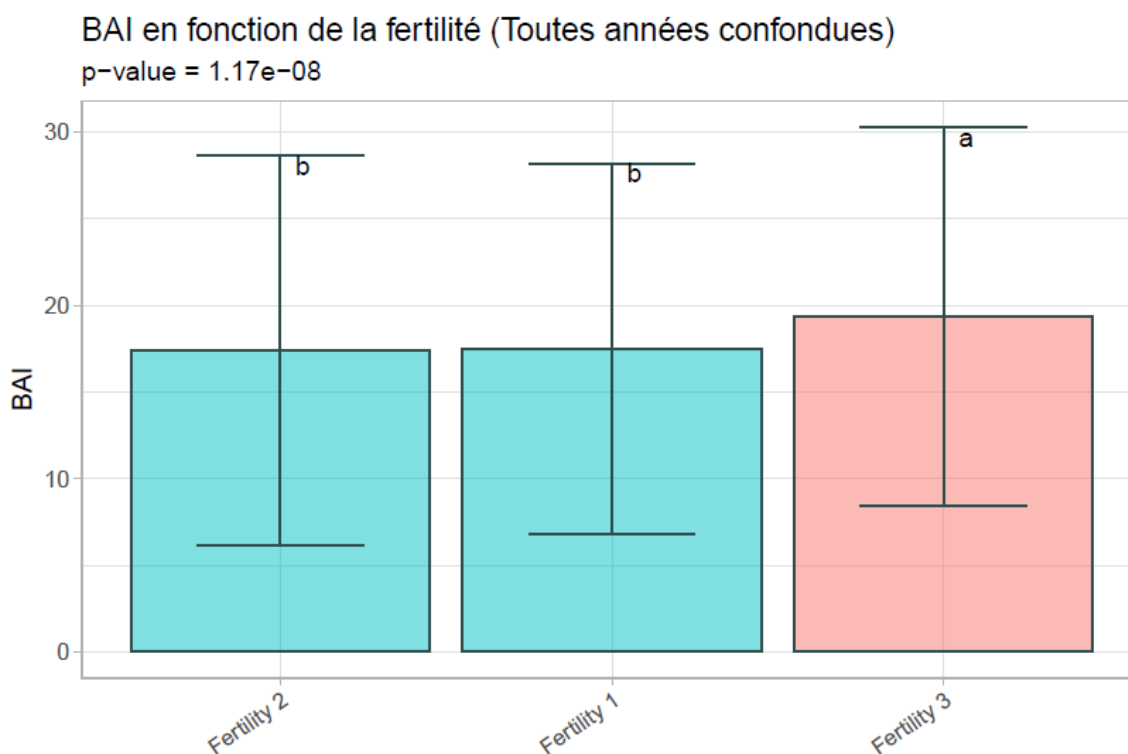


Figure 23 : Comparaison de la croissance en surface terrière (BAI) des arbres en fonction de la fertilité de la placette. Des groupes avec des lettres différentes montrent une différence statistique (ANOVA et test de Tukey). Les barres représentent l'écart-type. Le calcul des fertilités a été réalisé dans le cadre d'un projet étudiant (Master FEN, Université de Lorraine et AgroParisTech Nancy).

Les résultats pourraient sembler contre-intuitifs : la croissance est plus importante dans les stations les moins fertiles (fertilité 3). Pour rappel, la fertilité est déterminée par la croissance primaire des arbres non concurrencés (hauteur dominante, voir figure 2) alors que la croissance secondaire (et donc le BAI) est directement liée à la concurrence. La croissance plus faible des peuplements en bonne fertilité pourrait donc s'expliquer par une surdensité de tiges ne permettant pas à la croissance radiale de suivre la croissance en hauteur.

Avant d'en conclure des conseils de gestion, il convient de valider cette hypothèse par des diagnostics sylvicoles sur le terrain par les gestionnaires forestiers.

III. Lien entre l'état des houppiers et l'accroissement

Il semble évident qu'un douglas au houppier très peu chargé en aiguilles voit son activité photosynthétique amoindrie, impactant donc directement la quantité d'assimilats produits par unité de temps, ce qui affecte la croissance. Ce lien entre déficit foliaire et croissance est facile à montrer avec des arbres extrêmes : les 25% des arbres les plus défoliés du réseau DSMC ont une croissance inférieure aux 25% les moins défoliés. Inversement, les 25% des arbres les plus productifs ont un déficit foliaire inférieur aux 25% les moins productifs (résultat non monté ici).

L'objectif de cette partie est d'identifier les seuils de déficit foliaire à partir desquels il existe un effet significatif sur la croissance. Pour ce faire, les données (toutes années confondues) ont été séparées en deux échantillons : les arbres dont le déficit foliaire est au-dessus du seuil S et ceux en dessous. On compare alors leur croissance moyenne respective $Acc_{Df>S}$ et $Acc_{Df\leq S}$ et ce pour chaque seuil $S \in [5,95]$.

Les comparaisons de moyennes sont réalisées au moyen d'un test de Mann-Whitney duquel est extraite la P-value. Le test est réalisé uniquement quand les deux échantillons comparés ont un effectif de plus de 20 arbres (l'équivalent d'une placette), ce qui réduit les seuils testés à $S \in [10,85]$.

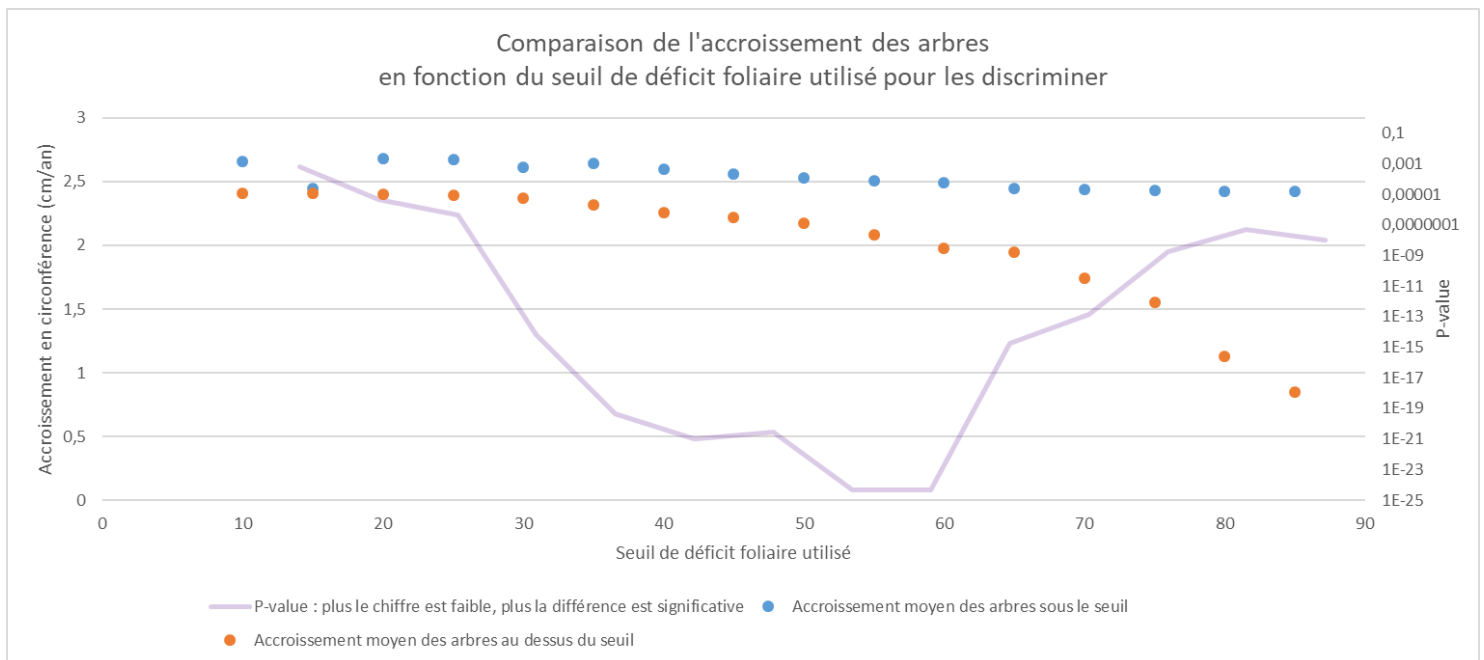


Figure 24 : Comparaison des accroissements moyens en circonférence des arbres au-dessus et en dessous d'un seuil de déficit foliaire. Les seuils affichés (de 10 à 85) sont ceux qui gardent plus de 20 arbres dans les deux groupes. La P-value (probabilité que la différence soit liée à l'échantillonnage et non à un vrai effet du déficit foliaire) n'est affichée que si inférieure à 5%. La comparaison de moyennes associées est un test de Mann-Whitney. Le seuil le plus significatif retenu est celui de 60%.

Sur l'ensemble des seuils testés, ceux situés entre 15 et 85 permettent de séparer les arbres du réseau en deux groupes à l'accroissement significativement différent (*i.e.* avec P-value < 0,05). Si l'on cherche à minimiser la P-value, le seuil de 60% en déficit foliaire est celui qui ressort (figure 24). La comparaison des BAI suivant la même méthode permet d'arriver aux mêmes conclusions (figure 25).

Le résultat peut être formulé ainsi :

Les arbres avec un déficit foliaire supérieur à 60% ont une croissance statistiquement inférieure aux autres arbres. En moyenne : -0,5 cm/an en accroissement en circonférence ; -3,75 cm²/an en accroissement en surface terrière.

Le seuil de 60% est retenu car le plus significatif, mais tous les seuils entre 15 et 85 restent valides. En particulier, si l'on s'intéresse à la différence de BAI et que l'on souhaite trouver un seuil suffisamment discriminant chez les arbres les moins défoliés, le seuil de 20% semble intéressant : +0,3 cm/an ou +3,15 cm²/an pour les arbres inférieurs à 20% de déficit foliaire, respectivement en circonférence et en BAI.

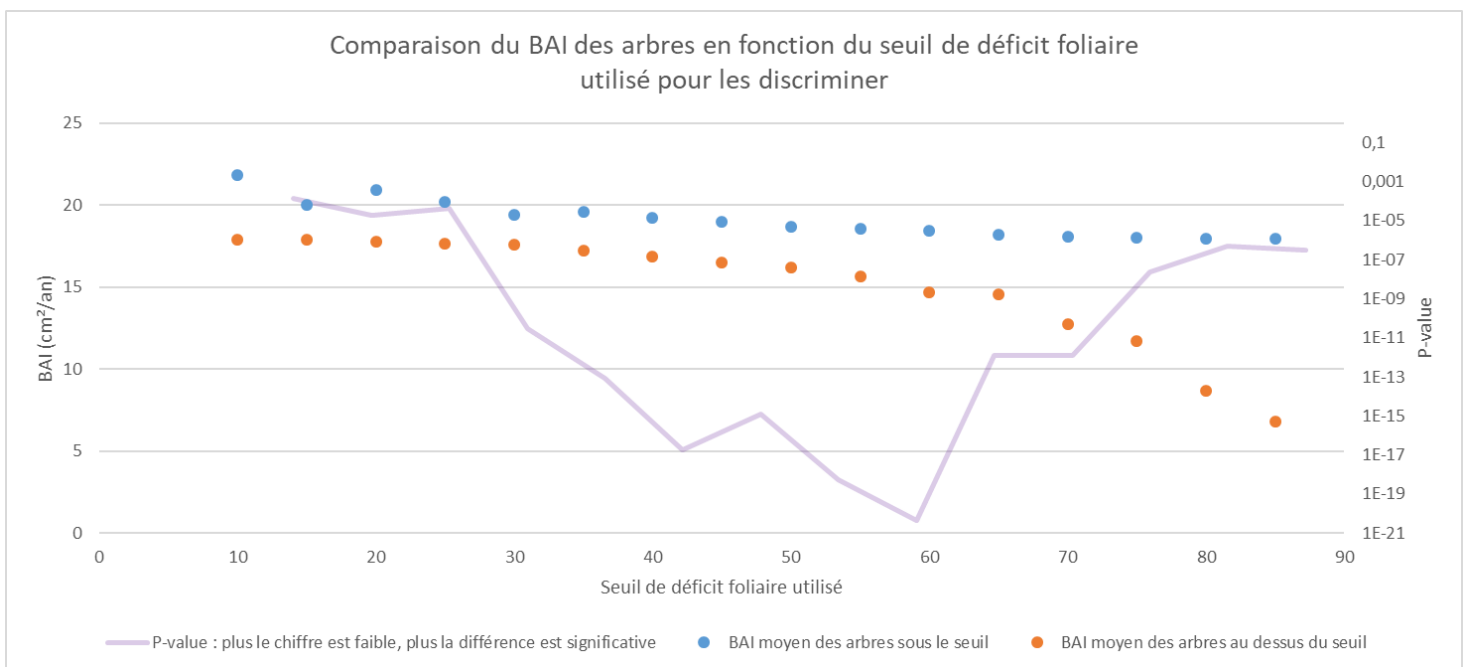


Figure 25 : Comparaison des accroissements moyens en surface terrière (BAI) des arbres au-dessus et en dessous d'un seuil de déficit foliaire. Les seuils affichés (de 10 à 85) sont ceux qui gardent plus de 20 arbres dans les deux groupes. La P-value (probabilité que la différence soit liée à l'échantillonnage et non à un vrai effet du déficit foliaire) n'est affichée que si inférieure à 5%. La comparaison de moyennes associées est un test de Mann-Whitney. Le seuil le plus significatif retenu est celui de 60%.

IV. Analyse de la mortalité

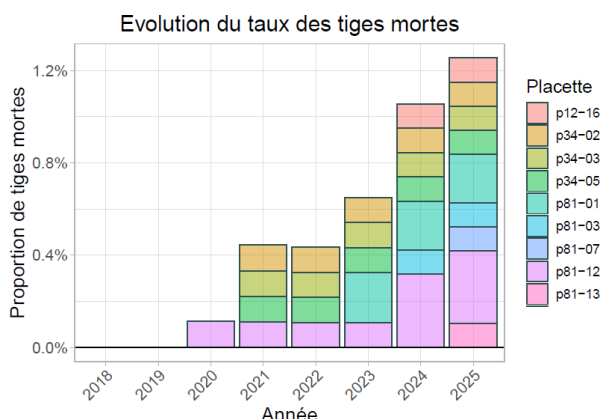


Figure 26 : Mortalité cumulée au sein du réseau DSMC par placette. Au total 12 arbres sont morts entre 2018 et 2025.

Tout comme l'état des houppiers et la croissance, la mortalité de tiges pourrait également permettre d'identifier des facteurs de vulnérabilité. Cependant, entre 2018 et 2025, 12 arbres sont morts sur l'ensemble du réseau (figure 26). Ces chiffres sont pour l'instant trop faibles pour permettre de conclure sur les facteurs à l'origine de ces mortalités.

On peut en revanche s'intéresser au déficit foliaire, au BAI et au déficit hydrique estival des arbres (ou des placettes) concernés afin d'identifier des signes avant-coureurs de mortalité en comparant à la moyenne du réseau.

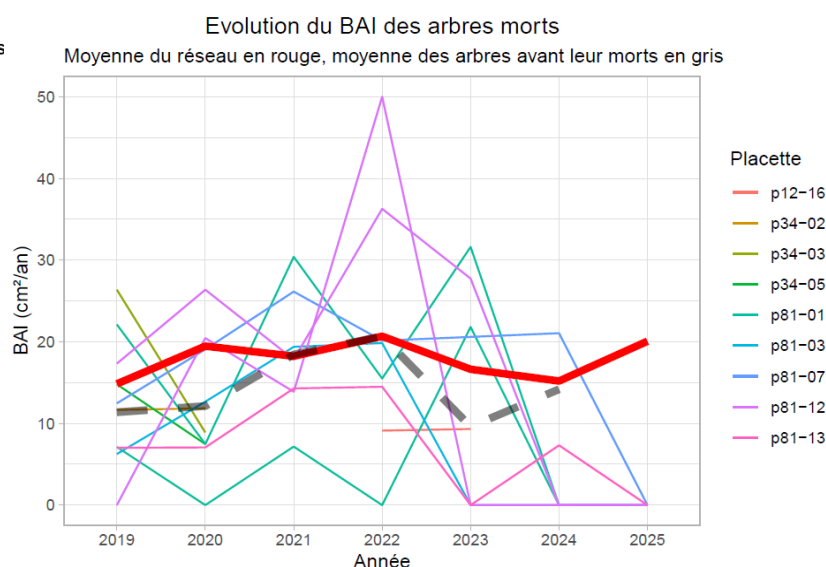
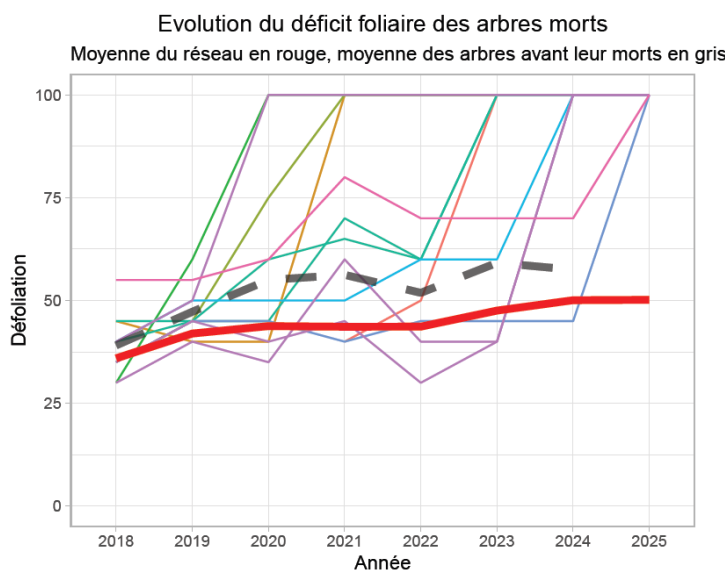


Figure 27 : A gauche : Evolution du déficit foliaire des arbres morts. Le déficit foliaire des arbres morts a été mis à 100% et ajouté lors des années suivantes lors du traitement des données. La moyenne des arbres morts (en gris) ne prend en compte les notes des arbres uniquement avant leur mort. A droite : Evolution de l'accroissement en surface terrière (BAI) des arbres morts.

La moyenne du déficit foliaire des arbres ayant connu une mortalité (évaluée sans prendre en compte leur déficit foliaire à 100% une fois mort) est supérieure à celle du réseau. Il semble donc y avoir un lien entre un déficit foliaire plus important et le risque de mortalité (figure 27). Néanmoins, on n'assiste pas à une dégradation progressive des arbres morts : seuls 30% des arbres ont eu des déficits foliaires supérieurs à 50% l'année précédant leur mort.

De manière moins marquée, la croissance des arbres ayant connu de la mortalité semble inférieure à celle de la moyenne du réseau.

Enfin, le bilan hydrique moyen des placettes ayant connu de la mortalité n'est pas différent de la moyenne du réseau (non montré ici).

V. Limites et perspectives

V.1. Limites

V.1.1. Manipulation des données

De nombreuses opérations ont été appliquées aux données, visant leur uniformisation et complétude (calcul automatique de l'âge, valeurs stationnelles invariants, etc.). Notamment, les circonférences qui mènent à des calculs d'accroissements aberrants (supérieurs à 10 ou négatifs) sont modifiées au regard des données antérieures et postérieures. Lorsque ces modifications concernent l'année en cours, les modifications apportées sont relativement arbitraires et systématiquement vérifiées l'année suivante. Bien que cela concerne une faible proportion d'arbres par rapport à l'entièreté de l'échantillon, cela révèle une certaine incertitude sur les données de circonférence et donc de croissance.

Lors des campagnes de mesure, les arbres morts sont notés l'année de leur mort et ne sont plus notés par la suite. Afin de donner de l'importance à ces arbres dans l'analyse (et d'éviter d'avoir des placettes qui s'améliorent car les arbres les moins bons sont morts), les arbres morts ont été ajoutés artificiellement après leur année de mesure avec une note de déficit foliaire de 100%. Les risques de biais introduits n'ont pas été évalués, et l'augmentation du déficit foliaire par année est possiblement surestimée du fait de ces arbres morts réintroduits. En revanche, la même opération n'a pas été réalisée pour la croissance.

V.1.2. Rigueur statistique

Hormis pour le test de Mann-Whitney utilisé au chapitre III, aucun des tests statistiques n'a été réalisé en vérifiant que les données respectaient le domaine de validité du test. En particulier, toutes les comparaisons de plusieurs échantillons à la fois (graphiques en barre avec des lettres) ont utilisé une ANOVA suivie d'un test de Tukey, sans vérifier l'indépendance des échantillons ni la normalité de leur distribution.

Le déficit foliaire est une donnée qualitative (classes de 5), il ne faudrait donc pas, en toute rigueur, agréger les résultats en moyennes. Un modèle logistique serait alors plus approprié (en utilisant le seuil de « plus ou moins de 20% des arbres notés à plus de 50% » pour avoir une distribution binomiale) mais plus complexe à interpréter.

V.1.3. Confusion d'effets

L'échantillonnage n'est pas équilibré : il existe des corrélations entre les différentes variables stationnelles explorées. Les conclusions des effets de la topographie, de l'exposition, etc. en matière de croissance et de santé des houppiers ne doivent donc pas pour l'instant être généralisées en conseils de gestion.

V.2. Perspectives

Les mesures des 47 placettes par les Correspondants Observateurs et les notateurs ont permis la mise en place d'une base de données conséquente, portant sur un sujet à enjeux. Cependant, le temps et les compétences nécessaires à l'analyse sont importants. Sont listées ci-dessous les pistes d'exploration de la base de données qui n'ont pas pu être réalisées.

V.2.1. Caractériser le réseau DSMC

Les résultats présents dans ce document sont valables dans la zone d'étude, à savoir le sud du Massif Central. Il semble alors important de caractériser le réseau en le comparant aux autres peuplements :

- Evaluer la représentativité du réseau à partir des données bioclimatiques (à l'échelle du Sud du Massif Central, à l'échelle du Massif Central et à l'échelle nationale).
- Positionner le réseau par rapport aux autres réseaux existants : comparaison des moyennes et du comportement en matière de défoliation et de croissance par rapport aux placettes douglas RENECOFOR, du RSSDF et de l'IFN.

V.2.2. Réaliser une analyse multivariée des données stationnelles

Afin d'éviter les confusions d'effet évoquées plus haut, il conviendrait de réaliser une analyse prenant en compte l'ensemble des variables, en appliquant le modèle (ENCOVA, GLM...) le plus approprié au vu de la distribution des données (normalité ou non, indépendance ou non...).

V.2.4. Intégrer d'autres variables

a) Variables de peuplement

Certaines variables liées au peuplement n'ont pas été intégrées à l'analyse ci-dessus : l'importance de la présence du Fomès lors de l'installation, la surface terrière et l'âge. Après d'éventuelles vérifications sur le terrain et une homogénéisation des données (comme appliqué pour les autres variables), il serait intéressant d'observer leurs effets sur la croissance et l'état des houppiers. Ces données pourraient également confirmer ou infirmer l'hypothèse de retard d'éclaircie énoncée en partie III.4.3.

b) Considérer d'autres variables météorologiques

L'unique variable météo utilisée est le bilan hydrique estival, dont l'effet est connu sur le déficit foliaire. En revanche, il serait pertinent d'évaluer l'effet d'autres variables météorologiques concernant la croissance. En particulier, les variables météo en lien avec le développement de la rouille suisse (printemps humide et hiver doux).

D'autres sources de données (Aurelhy notamment) toutes aussi pertinentes pourraient également être explorées.

c) Explorer la notation Archi

Le réseau DSMC constitue une intensification du réseau de placettes du CNPF ayant servi à la mise en place de la [clé Archi](#). De plus, la notation Archi est encore réalisée sur tous les arbres du réseau, une année sur deux. Il serait intéressant de se pencher en détail sur cette variable suivant trois problématiques :

- **Lien entre Archi et le déficit foliaire.** L'objectif serait de vérifier qu'une correspondance existe entre le déficit foliaire et la classe archi et de déterminer l'avenir des différentes classes d'architectures (un résilient s'améliore-t-il ? Un dépérissant irréversible meure-t-il ? etc.).
- **Lien entre Archi et croissance.** Comme pour le point précédent, il serait intéressant d'explorer si un lien existe entre la classe Archi et la croissance.
- **Intégrer les résultats antérieurs à 2018.** Parmi les données du réseau CNPF préexistant (2008 – 2017) les notes Archi sont disponibles. Les intégrer aux mesures récentes permettrait d'observer l'évolution de l'architecture des houppiers sur un plus grand pas de temps.



*Placette aveyronnaise,
photo : JB Daubrée*

Conclusion

Le réseau de suivi du douglas au sud du Massif-Central, après 8 ans de notation par les correspondants observateurs et les notateurs du DSF, offre maintenant le recul suffisant pour caractériser l'état de santé de l'essence et son évolution, ainsi que ses dynamiques de production. Les résultats principaux, résumés figure 28 et dans le paragraphe suivant, mériteraient une confirmation à la fois temporelle (continuer les observations), méthodologique (consolider les méthodes d'analyse) et contextuelle (comparer avec d'autres sites).

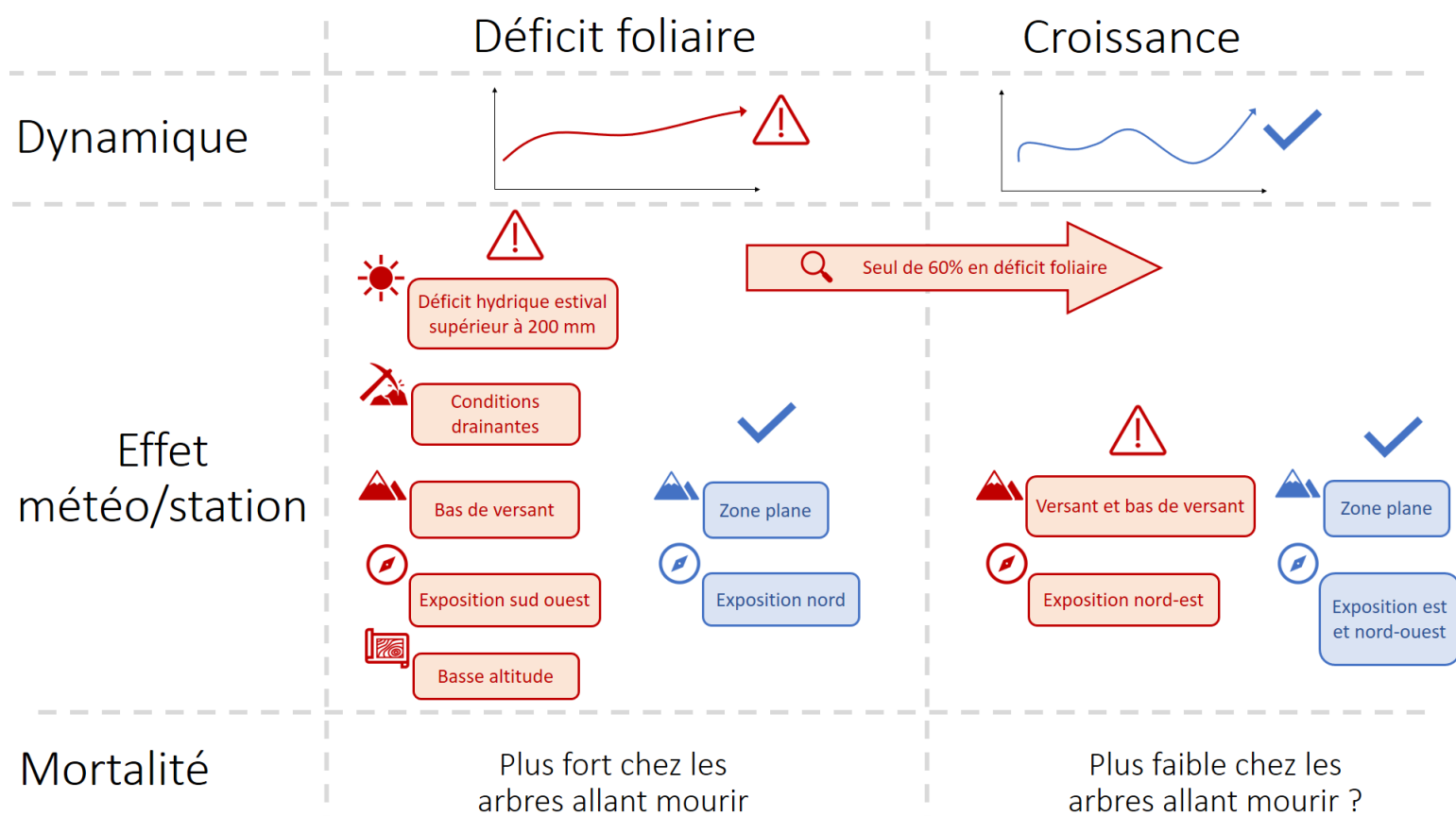


Figure 28 : Diagramme synthétique des différents résultats obtenus lors de l'analyse des données du réseau de suivi du douglas au sud du Massif-Central mesurées par les correspondants observateurs et les notateurs du DSF. Les résultats concernant les données de station (hors climat) sont à confirmer par des analyses plus poussées et ne sont donc pas à généraliser.

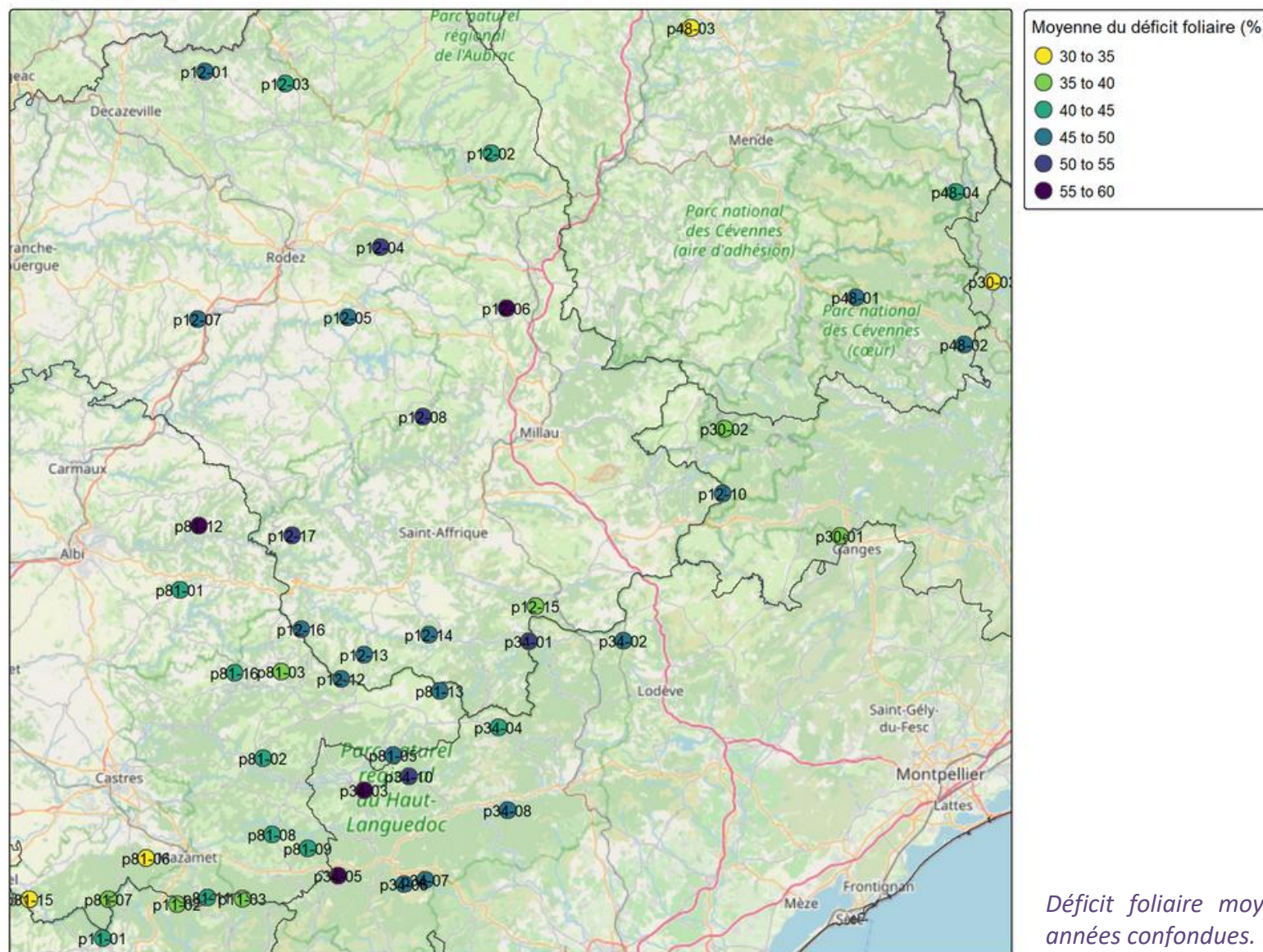
Déficit foliaire : Entre 2018 et 2025, il est passé de 35 % à 50 %, avec plus de la moitié des arbres dégradés en 2025. Il y a eu trois phases de forte dégradation : 2019, 2023 et 2024. 25 % des placettes se sont améliorées en 2025, en particulier sur les Monts de Lacaune. La sécheresse estivale joue un rôle clé dans cette évolution : les années à fort déficit hydrique estival (+ de 200 mm) correspondent à des sauts de défoliation. Spatialement, le déficit hydrique estival ne semble pas expliquer le déficit foliaire à l'inverse d'autres facteurs stationnels : sols drainants, bas de versant, exposition sud-ouest et basses altitudes (tendance inversée depuis 2018) favorisent la dégradation des placettes. A l'inverse, une localisation en zone plane et une exposition nord-ouest minimisent la dégradation des houppiers.

Croissance (BAI) : Bonne en 2025 et proche du pic de croissance de 2022. Elle a été faible en 2019, 2023 et 2024. Il n'a pas été identifié de lien net avec le déficit hydrique estival. La croissance est maximale en zone plane et en exposition nord-ouest et minimale en bas de versant et en exposition nord-est. Les stations moins fertiles montrent parfois une meilleure croissance, possiblement liée à une moindre concurrence (en lien très probable avec la gestion). La croissance est liée au déficit foliaire : au-delà de 60 % de déficit on observe une baisse très significative de la croissance.

Mortalité : Elle reste faible (12 arbres en 8 ans), mais semble liée à un déficit foliaire élevé et à une croissance inférieure à la moyenne. Aucun lien clair avec le déficit hydrique estival n'a été identifié.

ANNEXE : Cartographie

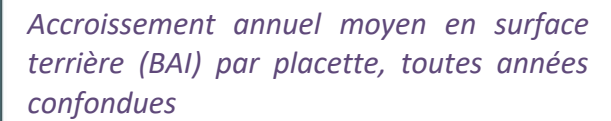
Moyenne par placette du déficit foliaire



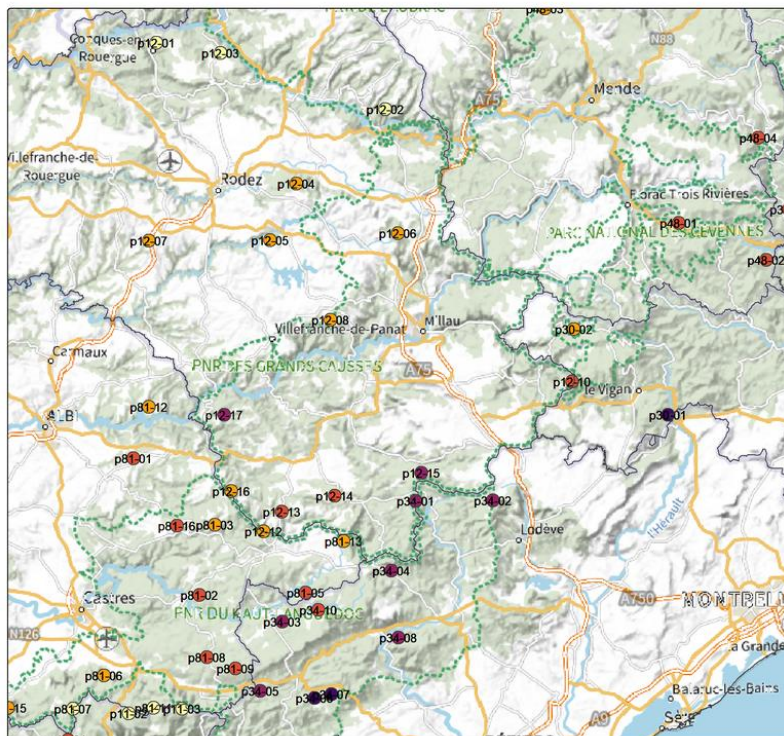
Déficit foliaire moyen par placette, toutes années confondues.

The map displays the Occitanie region in France, with the following features:

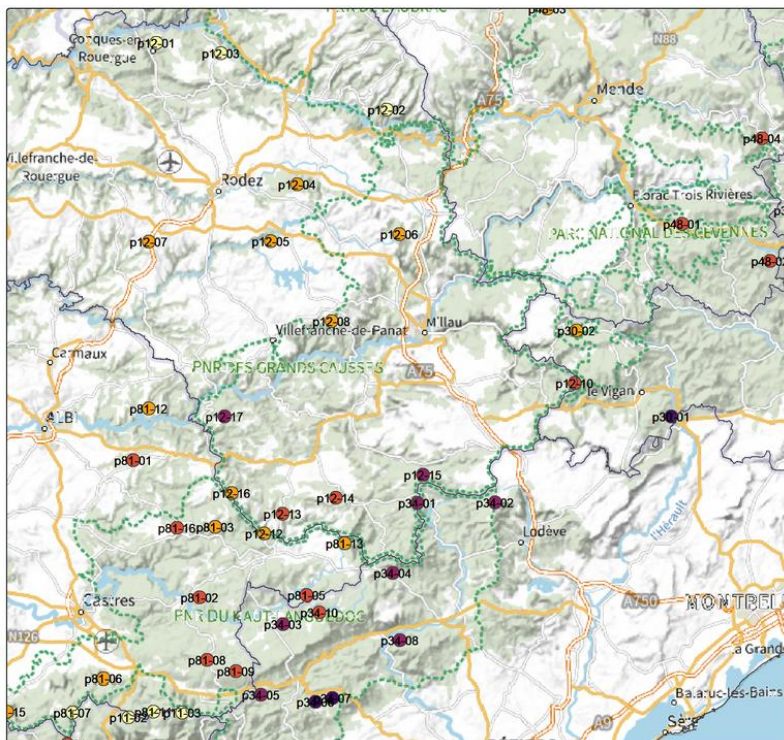
- Geographical Features:** The Mediterranean Sea is visible in the southeast. Major cities include Montpellier, Nîmes, Toulouse, and Albi. The map also shows the boundaries of the Occitanie region and the Mediterranean Sea.
- Natura 2000 Sites:** 48 sites are marked with colored dots and labels:
 - Green dots:** p12-01, p12-03, p12-02, p12-04, p12-05, p12-08, p12-10, p12-13, p12-12, p12-14, p12-15, p12-16, p12-17, p12-18, p12-19, p12-20, p12-21, p12-22, p12-23, p12-24, p12-25, p12-26, p12-27, p12-28, p12-29, p12-30, p12-31, p12-32, p12-33, p12-34, p12-35, p12-36, p12-37, p12-38, p12-39, p12-40, p12-41, p12-42, p12-43, p12-44, p12-45, p12-46, p12-47, p12-48.
 - Yellow dots:** p48-01, p48-02, p48-03, p48-04, p48-05, p48-06, p48-07, p48-08, p48-09, p48-10, p48-11, p48-12, p48-13, p48-14, p48-15, p48-16, p48-17, p48-18, p48-19, p48-20, p48-21, p48-22, p48-23, p48-24, p48-25, p48-26, p48-27, p48-28, p48-29, p48-30, p48-31, p48-32, p48-33, p48-34, p48-35, p48-36, p48-37, p48-38, p48-39, p48-40, p48-41, p48-42, p48-43, p48-44, p48-45, p48-46, p48-47, p48-48.
 - Purple dots:** p3-01, p3-02, p3-03, p3-04, p3-05, p3-06, p3-07, p3-08, p3-09, p3-10, p3-11, p3-12, p3-13, p3-14, p3-15, p3-16, p3-17, p3-18, p3-19, p3-20, p3-21, p3-22, p3-23, p3-24, p3-25, p3-26, p3-27, p3-28, p3-29, p3-30, p3-31, p3-32, p3-33, p3-34, p3-35, p3-36, p3-37, p3-38, p3-39, p3-40, p3-41, p3-42, p3-43, p3-44, p3-45, p3-46, p3-47, p3-48.
- Other Labels:** The map includes labels for various regions and departments, such as "Parc naturel régional de l'Aubrac", "Parc national des Cévennes (aire d'adhésion)", "Parc national des Cévennes (cœur)", "Parc naturel régional du Haut-Languedoc", "Occitanie", "Aude", "Gard", "Hérault", "Tarn", "Tarn-et-Garonne", "Lot", "Lot-et-Garonne", "Gers", "Haute-Garonne", "Haute-Pyrénées", "Pyrénées-Orientales", "Ariège", "Cantal", "Corrèze", "Creuse", "Indre", "Indre-et-Loire", "Loire-Atlantique", "Mayenne", "Sarthe", "Morbihan", "Finistère", "Bretagne", "Normandie", "Basse-Normandie", "Haute-Normandie", "Centre-Val de Loire", "Loiret", "Nièvre", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "Paris", "Île-de-France", "Champagne-Ardenne", "Marne", "Aube", "Haute-Marne", "Meuse", "Moselle", "Lorraine", "Alsace", "Bas-Rhin", "Haut-Rhin", "Grand Est", "Normandie", "Bretagne", "Occitanie", "Provence-Alpes-Côte d'Azur", "Côte d'Azur", "Alpes-Maritimes", "Alpes-de-Haute-Provence", "Hautes-Alpes", "Alpes-du-Haut-Provence", "Vaucluse", "Drôme", "Rhône", "Isère", "Savoie", "Haute-Savoie", "Ain", "Jura", "Doubs", "Côte-d'Or", "Yonne", "Seine-et-Marne", "Seine-Saint-Denis", "



2017



2019



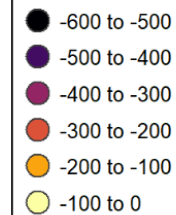
2018



2020

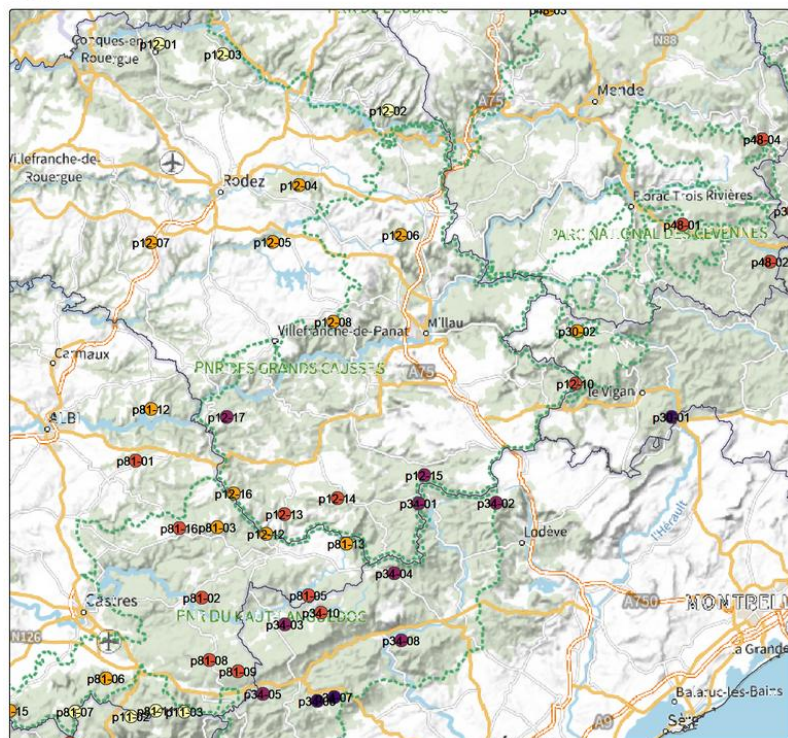


Bilan hydrique estival

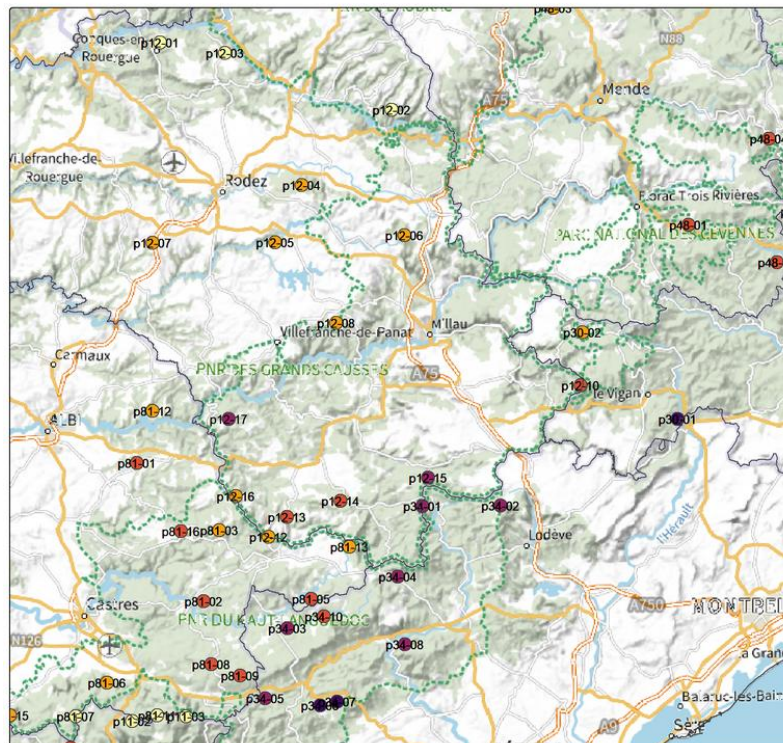


*Bilans hydriques (P-ETP)
estivaux (juin, juillet,
août) par placette.
Données SAFRAN.
Partie 1.*

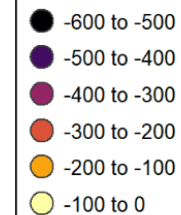
2021



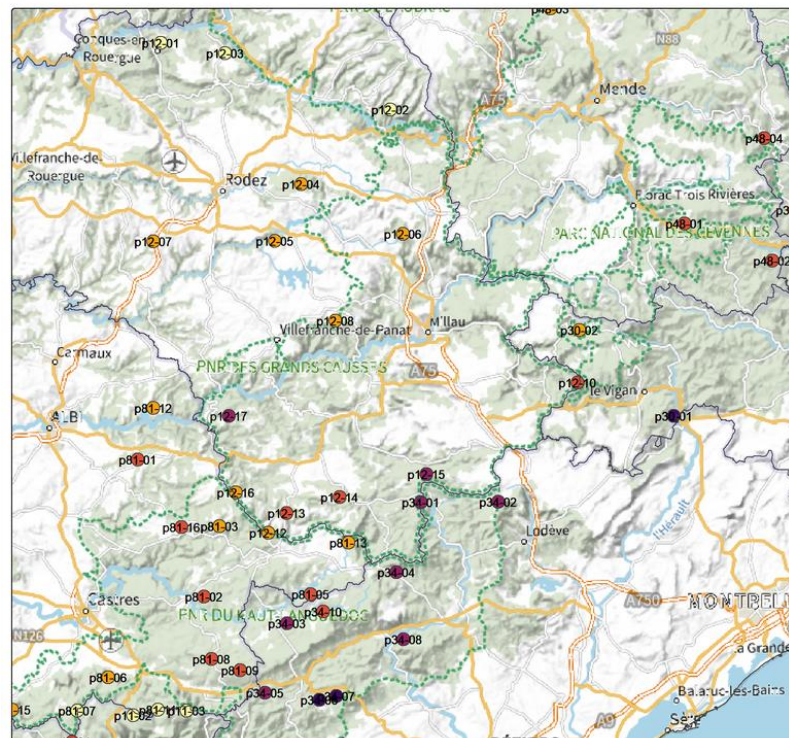
2022



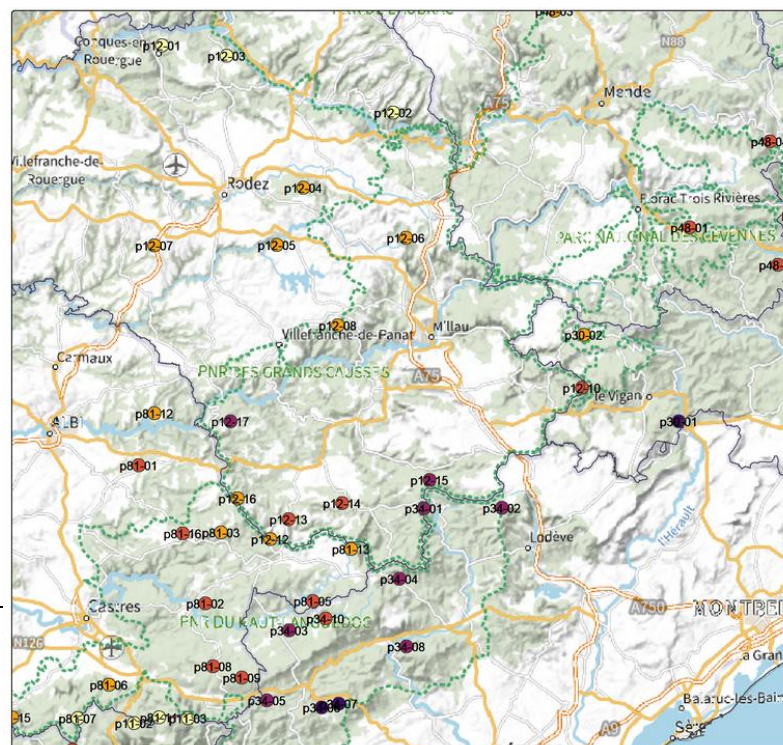
Bilan hydrique estival



2023



2024



*Bilans hydriques (P-ETP)
estivaux (juin, juillet,
août) par placette.
Données SAFRAN.
Partie 2*