

The background of the entire page is a photograph of a forest. In the foreground, there are out-of-focus green leaves. In the background, several tall, thin tree trunks are visible against a bright sky. A solid red vertical bar is positioned on the left side of the page, partially overlapping the forest image and the white text area.

Service des forêts et de la
nature

Novembre 2022

—

Étude en vue d'identifier les
peuplements les plus
vulnérables au changement
climatique



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Direction des Institutions, de l'agriculture et des forêts
DIAF
Direktion der Institutionen und der Land- und
Forstwirtschaft ILFD

Identification des peuplements les plus vulnérables au changement climatique

1. Contexte et buts de l'étude

Dans son [Plan d'action pour l'adaptation de la forêt fribourgeoise face au changement climatique](#)¹, le SFN a développé 10 mesures urgentes pour garantir les prestations fournies par la forêt. Une de ces 10 mesures urgentes consiste à identifier des peuplements vulnérables ainsi que de déterminer quelles interventions les rendront plus stables, plus résistants et plus résilients. Ces travaux essentiels bénéficient d'un appui financier du Plan Climat Cantonal² par sa mesure S 5.9 « conversion des peuplements inadaptés ».

L'étude proposée servira d'aide à la réalisation de la mesure S 5.9 du Plan Climat cantonal. La section forêts et dangers naturels du SFN y aborde trois questions cruciales pour la forêt fribourgeoise:

- Comment identifier les massifs forestiers les plus touchés par le changement climatique?
- Quelle est l'ampleur du phénomène dans le canton?
- Où prioriser les interventions?

Les réponses à ces questions fourniront des éléments déterminants pour les dispositifs de subventionnement de la prochaine convention programme (2025-2028) et pour l'élaboration de nouvelles recommandations sylvicoles. Pour 2023, le Plan Climat cantonal (PCC) prévoit des moyens destinés à intervenir dans les peuplements vulnérables. **Les moyens pour la mesure S5.9 du PCC (150'000 CHF) permettront de réaliser 8 interventions sylvicoles pilotes, 2 par arrondissement forestier. Les interventions seront documentées et feront l'objet d'un suivi pour évaluer leur succès et encadrer leur réplification future dans tous les peuplements vulnérables.** Les interventions auront pour objectif d'augmenter la résistance des peuplements les plus sensibles face aux perturbations, d'augmenter leur potentiel de résilience et leur capacité d'adaptation pour garantir les prestations que la forêt fournit auprès de la population fribourgeoise.

2. En quoi identifier les peuplements vulnérables peut nous être utile?

En tant qu'écosystème, la forêt forme un milieu vulnérable face à une multitude de phénomènes et d'organismes. En fonction de son adaptation aux conditions qui l'entourent, la forêt présente une vulnérabilité plus ou moins marquée.

Le degré de vulnérabilité de nos forêts aux phénomènes amenés par le changement climatique constitue une information essentielle dans l'élaboration des dispositifs de subventions pour la prochaine CP (2025-2028).

¹ Les forêts subissent des pressions du changement climatique qui menacent leurs fonctions essentielles pour la société. Le Conseil d'Etat a adopté en avril 2023 le Plan d'action du SFN qui suit les recommandations définies par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). Les 5 principes directeurs du WSL (Annexe 1) sont déclinés en 12 objectifs stratégiques. Cette étude s'inscrit dans les objectifs stratégiques qui concernent l'augmentation de la diversité des essences et l'augmentation de la diversité structurale.

² La mesure S 5.9 du Plan Climat Cantonal prévoit de *convertir les peuplements non adaptés à leur station afin de garantir la pérennité des forêts fribourgeoises face au changement climatique*. Elle fait partie du paquet de mesures du Plan Climat Cantonal mises en œuvre par les sections nature et paysage et forêt et dangers naturels au sein du Service de la forêt et de la nature.

Il peut servir de base de planification pour la gestion des forêts. Une fois ce degré de vulnérabilité connu, il permettra de connaître le total des surfaces et volumes potentiellement impactés, d'estimer le volume des moyens nécessaires pour la réalisation des interventions sylvicoles et de **cibler les interventions selon leur priorité (intérêt public), afin d'assurer la continuité des fonctions forestières** (biodiversité, production, protection, accueil du public) lorsqu'elles sont les plus menacées.

3. Comment le changement climatique affecte-t-il nos forêts?

Le changement climatique affecte le territoire par des effets chroniques (augmentation des températures moyennes), mais aussi par des événements extrêmes dont la fréquence et la gravité tendent à augmenter. La végétation subit les aléas climatiques, par exemple tempêtes, sécheresses et canicules. Ce sont les effets directs, abiotiques, du changement climatique sur les forêts.

Les insectes ravageurs et maladies infectieuses sont aussi affectés par le changement climatique, par leur localisation, leur limite altitudinale et leur reproduction, notamment le bostryche qui peut maintenant faire plusieurs cycles de reproduction dans une même année. Les arbres, lorsqu'ils sont affaiblis ou blessés par une perturbation, sont encore plus sensibles aux attaques de pathogènes et ravageurs tels que le bostryche. Ce sont les effets indirects, biotiques, du changement climatique sur les forêts.

Chaque peuplement est vulnérable au changement climatique, à ses effets directs et indirects. Néanmoins, pour prioriser et concentrer nos efforts, des indications sur leur vulnérabilité à ces perturbations sont souhaitées. À chaque espèce ou groupe d'espèce correspond un optimum de contexte écologique. Lorsqu'une espèce se trouve dans un contexte écologique qui n'est pas optimal, elle se développe moins facilement, subit des effets de concurrence avec les autres espèces et elle est plus fragile aux attaques sanitaires. La correspondance des espèces avec un contexte écologique favorable, ou leur station optimale, est un bon indicateur sur leur vigueur. **Notre approche est donc de caractériser l'adéquation des peuplements avec leur contexte écologique dans le climat futur.**

4. Comment fixer le degré de vulnérabilité en fonction des perturbations?

Afin d'identifier les peuplements les plus vulnérables, nous avons d'abord couplé les données pertinentes tirées de *Forestmap 2.0*³ avec les modèles développés par le WSL estimant le déplacement des aires de répartition des essences et des étages de végétation. Les données ainsi obtenues prédisent les contextes écologiques des stations dans l'avenir, donc, si une espèce sera adéquate à la station ou non.

Un diagnostic de la vulnérabilité des peuplements est alors possible en s'appuyant sur les données *Forestmap 2.0* et sur les projections climatiques du modèle *Portree*⁴ développé par le WSL. L'identification des peuplements les plus vulnérables permettra d'entreprendre des actions proactives là où les interventions sont prioritaires.

Adéquation future à la station

L'adéquation future des essences et des stations peuvent donner un indice sur la résistance et la résilience des peuplements aux perturbations.

L'adéquation future peut être déduite en croisant les caractéristiques actuelles des peuplements avec le déplacement des stations, ou avec la position de leur contexte climatique futur.

³ Forestmap 2 est l'outil SIG du SFN.comportant la carte des peuplements avec leur typologie et la carte des interventions. Forestmap 2 est destiné aux forestiers de triage qui, dans l'exercice de leurs tâches, actualisent les informations sur les peuplements. Des visites sur le terrain dans le cadre de ce travail ont permis de confirmer une très bonne fiabilité des informations disponibles.

⁴ Portree est un modèle développé par l'équipe Forest Resources and Management du WSL. Il propose des informations pixelisées sur 1kmx1km pour 29 essences forestières. Il est prévu d'intégrer de nouveaux modèles et de nouvelles essences. (Annexe 8)

5. Quelles sont les perturbations auxquelles nos forêts doivent faire face?

Deux types de perturbations sont distinguées :

Perturbations abiotiques :

- sécheresse
- canicules
- incendies
- avalanches
- vent, tempêtes, grêle
- inondations

Perturbations biotiques:

- bostryche (épicéas)
- chalarose (frênes)
- graphiose (ormes)
- autres maladies et ravageurs

Perturbations enregistrées en 2021 et 2022 dans le canton :

Les années 2021 et 2022 illustrent une évolution préoccupante. En plus des attaques importantes de bostryche et de chalarose, les forêts fribourgeoises, à l'instar de la plupart des forêts suisses, ont fait face à plusieurs événements extrêmes :

Canicules



Posieux, 24 août 2021, houppier de hêtre avec signes de dépérissement dus à la chaleur

Vent, tempêtes, grêle



Impacts de grêle sous écorce d'épicéa, après les orages de grêle des 20, 21 juin et 11 juillet 2021 dans la vallée du Javroz.

Incendies



Crésuz, incendie de forêt du 9 avril 2021

Avalanches



Jaun, avalanche du 13 décembre 2021

Inondations



Inondation, forêt du Chablais, 27 juillet 2021

6. Quelles données utiliser?

La composition des peuplements dans Forestmap 2.0

Le suivi des peuplements et leur composition sont référencés dans Forestmap 2.0. La composition des peuplements y est limitée aux proportions des essences principales avec une indication AF pour autres feuillus et AR pour autres résineux⁵ (Annexe 7). Dans le canton, huit essences principales couvrent la quasi-totalité des forêts : épicéa, mélèze, sapin, pin sylvestre, hêtre, chênes, érables et frêne. Les épicéas et les hêtres constituent le plus grand enjeu compte tenu de leur prépondérance et des menaces. (Annexe 5)

Selon l'IFN4, l'épicéa représente 7'529'000 m³, soit 46.3% du volume de bois sur pied des forêts du canton, et 8'097'000 tiges, soit 44.4% du nombre de tiges totales (IFN4 2020 Tableaux no 806389, 869268, 836312 et 836255). Il est de très loin le principal résineux présent et la principale espèce présente. Le hêtre représente quant à lui 3'472'000 m³, soit 21.9% du volume de bois sur pied des forêts du canton, et 3'745'000 tiges, soit 20.6% du nombre de tiges totales (IFN4 2020 Tableaux no 806389, 869268, 836312 et 836255). Il est le principal feuillu présent et la seconde espèce principale après l'épicéa.

Carte des stations forestières du canton⁶

La carte couvrante des stations forestières informe sur les associations phytosociologiques actuelle, en fonction du sol et de l'étage de végétation actuel. Elle propose par station une composition des peuplements adaptée à la station.

Les stades de développement

Ils sont liés directement à l'efficacité des interventions sylvicoles qui seront mises en œuvre. Les stades de développement durant lesquels il est optimal d'intervenir correspond aux stades jeunes (1 et 2) et âgés (5 et 6). Le stade étagé est aussi important car il inclut ces stades jeunes et âgés. (Annexe 2)

1	0-10 cm DHP	Recrû / fourré	5	41-50 cm DHP	Moyenne futaie
2	11-20 cm DHP	Bas perchis	6	>50 cm DHP	Vieille futaie
3	21-30 cm DHP	Haut perchis	7	Étagé	Étagé
4	31-40 cm DHP	Jeune futaie			

Les projections *Portree*

Les projections *Portree* des futures aires favorables aux espèces sur la période 2051-2080 permettent d'estimer les conditions futures favorables ou non aux espèces (ici l'épicéa et le hêtre). Nous considérons que c'est la projection climatique la plus appropriée compte tenu de la durée de croissance des forêts et de l'échelle de temps proposée par ce modèle. On peut préciser que le risque d'attaque de bostryche sur les épicéas reste présent en zone potentiellement favorable, même s'il se réduit avec l'altitude.

⁵ Les essences dites secondaires prennent une grande signification dans la gestion adaptative de la forêt prônée par les autorités cantonales et fédérales. L'augmentation de la diversité des essences y constitue un des trois axes stratégiques. Des améliorations de Forestmap 2.0 en vue de les traiter comme les essences principales seront indispensables au plus tard pour la prochaine convention-programme. Les attributs "autres résineux" et "autres feuillus" ne correspondent plus aux besoins actuels. Les chênes sessile et chênes pédonculé (et chênes pubescent !) regroupés sous « chênes » ainsi que les érables plane, de montagne et à feuille d'obier sous « érables » requièrent également une attention spécifique dans le SIG.

⁶ La carte des associations phytosociologiques du canton de Fribourg a été publiée en 1996 par ARGE Kaufmann+Partner / Burger + Stocker, Solothurn/Lenzburg ; WSL, Forstl. Bodenkunde Birmensdorf. Elle a été intégrée dans l'application web Treeapp en adaptant la nomenclature fribourgeoise à celle de NaIS.

Le WSL a développé ce modèle sur la base des données des inventaires forestiers suisses ainsi que certaines parties des inventaires forestiers des pays voisins pour localiser les essences sur le territoire actuel (Annexe 8). Pour chaque essence, les aires de répartition actuelles ont analysées en fonction des paramètres suivants:

- les degrés-jours,
- les températures saisonnières,
- les précipitations en hiver et en été,
- l'ensoleillement,
- la topographie,
- l'altitude,
- l'exposition,
- la distance aux cours d'eaux.

Ces paramètres ont été modélisés en combinant 5 scénarios climatiques. Le résultat permet de modéliser les aires de répartition futures des essences sur une période de 2050 à 2080. En dehors des aires de répartition futures modélisées, les essences sont inadaptées au climat futur. Cela suppose aussi que dans ces aires potentiellement favorables, les espèces seront plus adaptées (Zimmermann *et al.*, 2014).

Cartes NDVI du WSL et de l'HAFL⁷

La HAFL et le WSL ont chacun développé une méthode pour analyser les cartes sentinel2. Ces cartes satellite infrarouges permettent d'interpréter le stress hydrique de la végétation en les comparant avec les mêmes périodes des années précédentes.

La HAFL publie ces cartes sur le site internet [Waldmonitoring](https://waldmonitoring.ch), selon l'outil "cartes sur la vitalité". Les cartes présentent le stress sur des période de deux mois sélectionnables, comparées aux trois années précédentes.

Notre collaboration avec l'équipe du WSL Forest Resources and Management nous permet de visualiser les zones potentiellement soumises à du stress hydrique en 2022 par rapport aux 6 années précédentes. Cette information est très utile car elle permet de localiser du stress hydrique de manière globale sur le canton, avec une résolution d'environ 10 mètres. (Annexe 4) Leur modèle actuel compare la période du 20 juillet au 20 août 2022 aux mêmes périodes des 6 années précédentes.

Treeapp⁸

Les données existantes ne sont pas exploitables sur ArcGis pour procéder à des calculs de surface, ni à leur identification. L'application a été conçue pour donner des réponses par point et non pour en extraire des surfaces. (Annexe 6)

Cockpit Changement Climatique (C3)

L'ensemble de toutes les géodonnées (points et surfaces) ont été superposées dans un nouveau projet SIG ArcGisPro. Il permettra de disposer du maximum d'informations sur une seule carte, concernant les peuplements, Portree, les stations, les forêts de protection et TreeApp géolocalisé en une seule carte. Cette carte est accessible pour tous les forestiers et facilite l'identification de peuplements potentiellement vulnérables. (cf Annexe 3)

⁷ Les cartes sentinel2 sont utilisées pour calculer le NDVI, soit le stress hydrique observé par infrarouge. La HAFL publie ces cartes et donne plus d'information sur la méthode sur [leur site](https://waldmonitoring.ch). Le WSL développe également une méthode comparable, elle n'est pas encore publiée mais le SFN est en collaboration avec l'équipe du WSL pour la consultation des données.

⁸ L'application Web Treeapp du WSL et de l'OFEV donne des recommandations sur les essences forestières en fonction de la station et du scénario climatique ; depuis décembre 2021, elle intègre la carte des stations du canton. Les données existantes ne sont cependant pas exploitables sur ArcGis pour procéder à des calculs de surface, ni à leur identification. L'application a été conçue pour donner des réponses par point et non pour en extraire des surfaces.

7. Identification des surfaces de nos peuplements vulnérables

Nous pouvons croiser les données des peuplements avec les paramètres des modèles du WSL pour cibler les peuplements problématiques, ceux avec une majorité de hêtre dans une zone défavorable pour le hêtre à l'avenir selon Portree et les peuplements qui ont une majorité d'épicéas dans des zones défavorables pour l'épicéa à l'avenir.

Le tableau ci-dessous présente une vue d'ensemble par stade de développement et par arrondissement. Une valeur seuil de 50% a été choisie, mais elle peut être baissée ou augmentée selon la situation.

			Surfaces vulnérables ha					
Arrdt	Stade de développement	surface forestière ha	HE>50% en zone Portree inadéquate	EP>50% en zone Portree inadéquate	EP+HE>50% en zone Portree inadéquate	Total vul.	% vul.	
1	SD1	679	145	45	35	225	33	%
	SD2	843	56	68	40	164	19	%
	SD3	429	31	79	38	147	34	%
	SD4	1'130	171	354	151	675	60	%
	SD5	1'876	797	121	350	1'268	68	%
	SD6	1'433	514	112	294	920	64	%
	SD7	577	106	3	40	149	26	%
	Total arrdt 1	6'977	1'820	781	948	3'549	51	% des forêts de l'arrdt 1
2	SD1	1'226	70	45	86	201	16	%
	SD2	1'026	70	117	82	268	26	%
	SD3	524	20	95	39	154	29	%
	SD4	1'401	226	182	124	532	38	%
	SD5	2'760	627	315	319	1'262	46	%
	SD6	1'312	168	109	110	386	29	%
	SD7	1'682	44	27	24	94	6	%
	Total arrdt 2	10'000	1'225	889	783	2'898	29	% des forêts de l'arrdt 2
3	SD1	1'968	6	22	18	46	2	%
	SD2	1'150	9	41	14	63	6	%
	SD3	701	3	77	8	88	13	%
	SD4	2'347	70	206	50	326	14	%
	SD5	5'535	206	269	201	676	12	%
	SD6	2'905	98	249	118	465	16	%
	SD7	2'161	6	51	25	82	4	%
	Total arrdt 3	16'793	398	916	433	1'747	10	% des forêts de l'arrdt 3
4	SD1	1'102	70	51	136	257	23	%
	SD2	1'153	70	126	105	300	26	%
	SD3	513	16	147	26	189	37	%
	SD4	1'827	159	520	96	775	42	%
	SD5	3'913	885	464	354	1'703	44	%
	SD6	1'771	265	306	194	765	43	%
	SD7	616	16	13	12	40	7	%
	Total arrdt 4	10'961	1'481	1'627	922	4'030	37	% des forêts de l'arrdt 4
Total canton		44'731	4'923	4'214	3'086	12'223	27	% des forêts du canton

Dans le but d'identifier des peuplements susceptibles de bénéficier d'une intervention dans le cadre de la mesure S 5.9 du Plan Climat cantonal, les critères de sélection suivants ont été définis:

- Stade de développement de jeune futaie dhp 31-40cm
- Peuplement hors forêts de protection
- Composition des peuplements > 50% en épicéa en zones défavorables Portree < 0.33
- Composition des peuplements > 50% en hêtre en zones défavorables Portree < 0.33
- Composition des peuplements > 50% en hêtre et épicéa en zones défavorables Portree < 0.33

Tableau récapitulatif des surfaces de peuplements sensibles « mesure S 5.9 du Plan Climat cantonal »

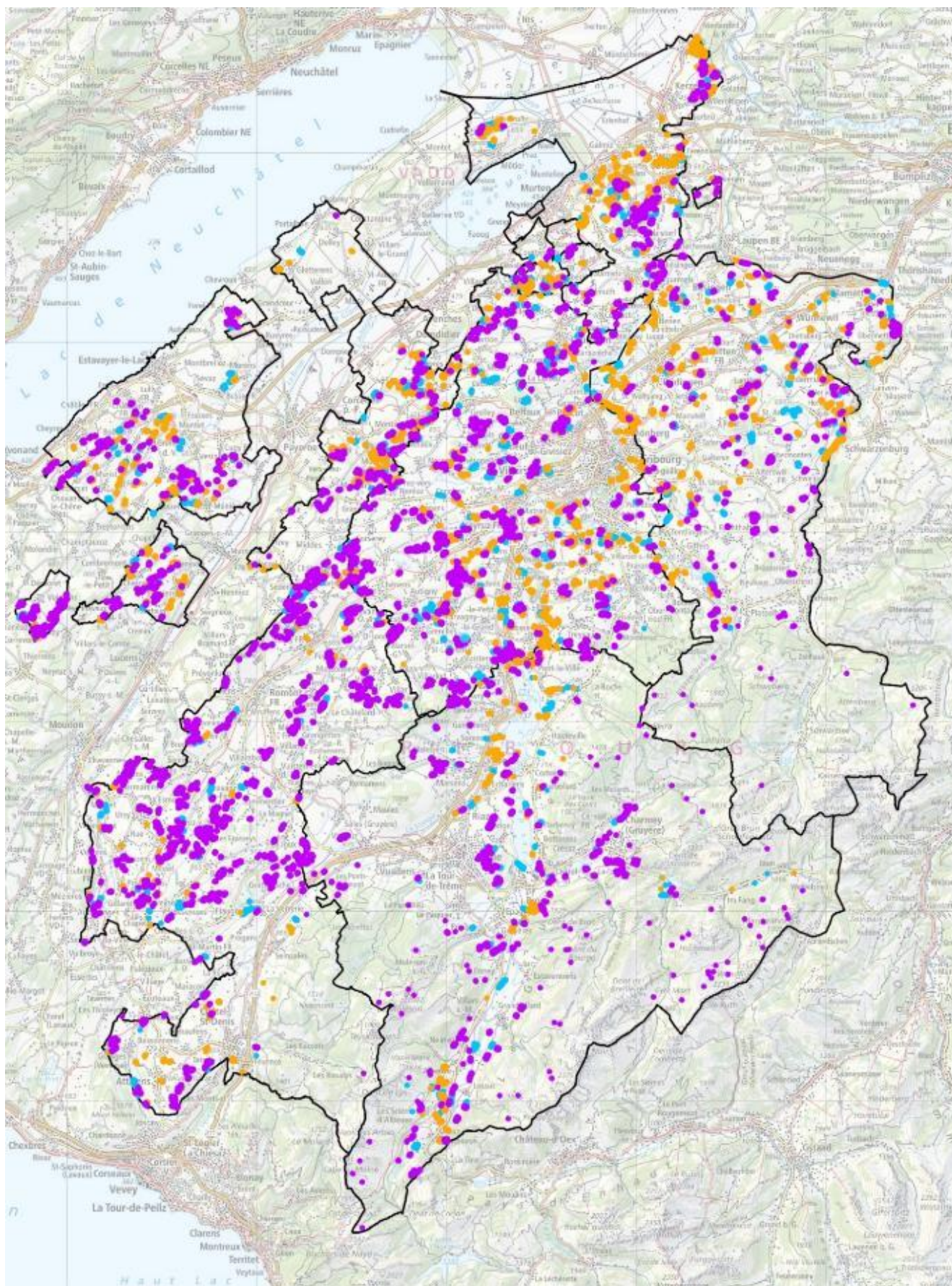
Type de ppt	Arrdt	Étage de végétation futur	Essence >50%	Surface ha
1colEP	1	collinéen	EP	256.6
1colHE	1	collinéen	HE	112.6
1colEPHE	1	collinéen	EP+HE	147.2
1submEP	1	submontagnard	EP	51
1submHE	1	submontagnard	HE	24.4
1submEPHE	1	submontagnard	EP+HE	18.9
total	9.3	% des forets de l'arrdt 1		610.7
2colEP	2	collinéen	EP	102.8
2colHE	2	collinéen	HE	147.2
2colEPHE	2	collinéen	EP+HE	75.3
2submEP	2	submontagnard	EP	52.9
2submHE	2	submontagnard	HE	52.5
2submEPHE	2	submontagnard	EP+HE	37.8
total	4.9	% des forets de l'arrdt 2		468.5
3colEP	3	collinéen	EP	0
3colHE	3	collinéen	HE	0
3colEPHE	3	collinéen	EP+HE	0
3submEP	3	submontagnard	EP	136.2
3submHE	3	submontagnard	HE	37
3submEPHE	3	submontagnard	EP+HE	29.4
total	1.3	% des forets de l'arrdt 3		202.6
4colEP	4	collinéen	EP	358.7
4colHE	4	collinéen	HE	119.6
4colEPHE	4	collinéen	EP+HE	78.1
4submEP	4	submontagnard	EP	113.4
4submHE	4	submontagnard	HE	8.9
4submEPHE	4	submontagnard	EP+HE	9.3
total	6.6	% des forets de l'arrdt 4		688
total canton	4.6	% des forets du canton		1969.8

Carte des peuplements sensibles valeur seuil de 50%

>50% épicéa

>50% hêtre

>50% épicéa + hêtre



Exemples de peuplements sensibles par étage et par arrondissement valeur seuil de 50%

Etage collinéen

Arrondissement 1

épicéa >50%
Courtepin - Bois de l'Hôpital



Hêtre >50% ppt
Chésalles - Bois de Monteynan

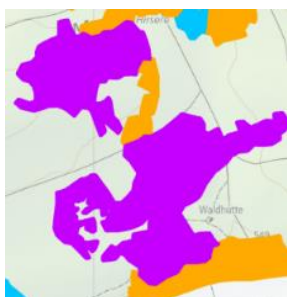


épicéa + Hêtre >50%
Courtepin - Bois de l'Hôpital

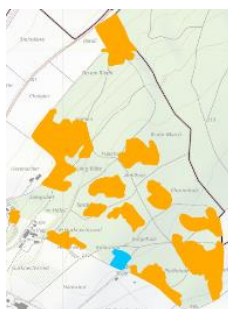


Arrondissement 2

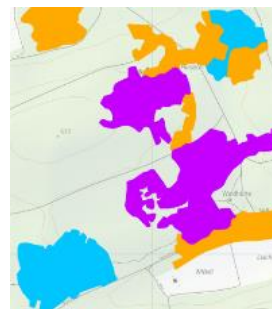
épicéa >50%
Altavilla - Murtenholz



Hêtre >50%
Fraschels



épicéa + Hêtre >50%
Altavilla – Murtenholz



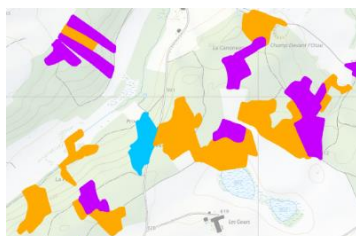
Arrondissement 3 – pas concerné

Arrondissement 4

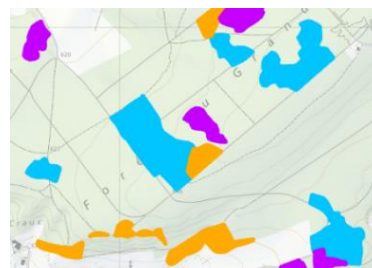
épicéa >50%
Chatonnaye



Hêtre >50%
Mannens



épicéa + Hêtre >50%
Léchelle - Forêt du gd Belmont



Etage submontagnard

Arrondissement 1

épicéa >50%
Treyvaux – Pratevy



Hêtre >50%
Ferpicloz

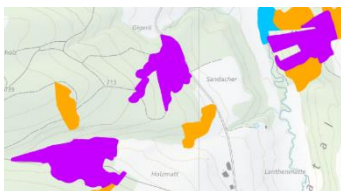


épicéa + Hêtre >50%
Vuisternens en Ogoz



Arrondissement 2

épicéa >50%
Lanthern



Hêtre >50%
Tasberg

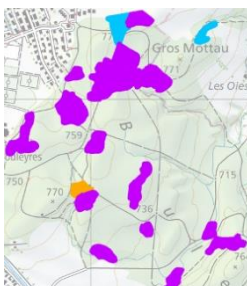


épicéa + Hêtre >50%
Tasberg

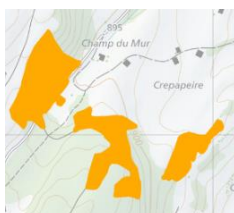


Arrondissement 3

épicéa >50%
Lanthern



Hêtre >50%
Tasberg

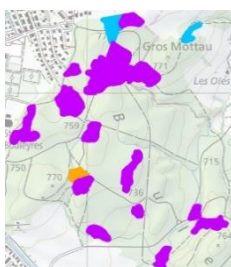


épicéa + Hêtre >50%
Tasberg



Arrondissement 4

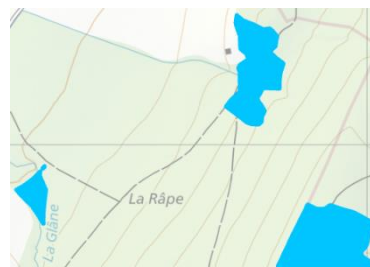
épicéa >50%
Bouloz



Hêtre >50%
Bouloz



épicéa + Hêtre >50%
La Râpe



8. Anticiper vs réagir

Le canton dispose de motifs de subventions couvrant les frais des mesures de lutte contre les organismes nuisibles particulièrement dangereux. Ce dispositif focalise l'attention - et les moyens financiers - sur les dégâts causés a posteriori. Un volume important des interventions cible ainsi les massifs infestés de bostryche. Sachant que le bostryche s'attaque aux arbres affaiblis suite à un événement extrême ou un affaiblissement physiologique post canicule ou sécheresse, le mode opératoire préconisé depuis de nombreuses années est la réaction. Or, anticiper ces dégâts, cela signifie stabiliser nos peuplements forestiers.

La Confédération produit des efforts, mais nous constatons un manque de coordination et une certaine divergence des intérêts au sein des institutions fédérales. Pour anticiper les dégâts, Il est donc hautement souhaitable qu'un système d'alerte précoce puisse être exploitable au niveau cantonal.

Il permettrait d'être plus proactif (OFEV Sécheresse 2022 ; Meusburger *et al.*, 2022). Les réactions des arbres n'étant pas toujours immédiatement visibles à l'œil nu, l'analyse des données satellites *sentinel*, avec en particulier l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), informe sur le déficit foliaire ou et par analogie sur la sécheresse subie par les forêts chaque année (Annexe 4).

9. Références bibliographiques

Adaptation aux changements climatiques en Suisse - Plan d'action 2020-2025 (soumis pour validation au Conseil d'État)

Allgaier Leuch *et al.*, WSL 59, 2017: [lien](#)

Barbara Allgaier Leuch, Kathrin Streit et Peter Brang 2017. La forêt suisse face aux changements climatiques: quelles évolutions attendre? WSL 59, 2017

Allgaier Leuch *et al.*, WSL 59.1, 2017: [lien](#)

Allgaier Leuch, B.; Streit, K.; Brang, P., 2017: Sylviculture proche de la nature sous le signe des changements climatiques. WSL notice pratique pour le praticien no 59.1 octobre 2017.

ARGE Kaufmann & Partner / Burger+Stocker Solothurn / Lenzburg, 1996. Clé de cartographie des stations forestières des cantons de Berne et Fribourg: [lien](#)

Bonfils *et al.*, WSL 55, 2015: [lien](#)

Patrick Bonfils, Andreas Rigling, Urs-Beat Brändli, Peter Brang, Beat Forster, Roland Engesser, Felix Gugerli, Pascal Junod, Raphael Müller et Madeleine S.Günthardt-Goerg. Le chêne face aux changements climatiques, Perspectives d'avenir d'une essence. WSL 55, 2015

Changements climatiques: le sapin supplante l'épicéa et le hêtre WSL News 10.08.2017: [lien](#)

Fichier écologique des essences UCLouvain 2020: [lien](#)

Frehner *et al.*, WSL 69, 2018: [lien](#)

Monika Frehner, Peter Brang, Geri Kaufmann, Christian Kuchli, 2018. Bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique. WSL 69, 2018

Huovinen 2022: [lien](#)

La limite de la forêt s'élève-t-elle avec le changement climatique? News WSL 31.05.2022

IFN4 2020 Tableau no 806389 volumes totaux: [lien](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Inventaire forestier national suisse - Tableau no 806389. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL

IFN4 2020 Tableau no 836255 nb de tiges %: [lien](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Inventaire forestier national suisse - Tableau no 836255. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL

IFN4 2020 Tableau no 836312 nb de tiges totales: [lien](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Inventaire forestier national suisse - Tableau no 836312. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL

IFN4 2020 Tableau no 869268 volume totaux %: [lien](#)

Abegg, M.; Brändli, U.-B.; Cioldi, F.; Fischer, C.; Herold, A.; Meile, R.; Rösler, E.; Speich, S.; Traub, B., 2020: Inventaire forestier national suisse - Tableau no 869268. Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL

Lemaire *et al.*, 2014: [lien](#)

Jean Lemaire, Pascal Mathieu, 2014. Bioclimsol: un outil d'aide à la décision face au changement climatique. Forêt-entreprise no 218, 2014.

Lévesque *et al.*, 2015: [lien](#)

Mathieu Lévesque, Andreas Rigling, Peter Brang, 2015. Réponse à la sécheresse de conifères indigènes et exotiques: une étude dendroécologique. Schweiz Z Forstwes 166 (2015) 6: 372–379

Meusburger *et al.*, 2022: [lien](#)

Meusburger, K.; Trotsiuk, V.; Schmidt-Walter, P.; Baltensweiler, A.; Brun, P.; Bernhard, F.; Gharun, M.; Habel, R.; Hagedorn, F.; Köchli, R.; Psomas, A.; Puhlmann, H.; Thimonier, A.; Waldner, P.; Zimmermann, S.; Walthert, L., 2022: Soil–plant interactions modulated water availability of Swiss forests during the 2015 and 2018 droughts. Global Change Biology, doi: 10.1111/gcb.16332

Monitoring des forêts protectrices - Rapport explicatif, Méthode d'évaluation standardisée des forêts protectrices du Canton de Fribourg, 2020. Pierre Honsberger, aDue IT GmbH et Benoit Mazotti (document interne au service)

Motion Fässler 2020: [lien](#)

Garantir un entretien et une exploitation durables des forêts.

Motion Hêche 2019: [lien](#)

Une stratégie globale pour l'adaptation de la forêt face aux changements climatiques.

OFEV Sécheresse 2022: [lien](#)

Communiqué du 18.05.2022: Sécheresse: le Conseil fédéral veut introduire un système national de détection et d'alerte précoces

Plan d'action cantonal adaptation des forêts au changement climatique: [lien](#)

Plan Climat cantonal (PCC): Plan Climat cantonal - Stratégie et plan de mesures 2021-2026 - État de Fribourg - Service de l'environnement Sen - mai 2021

Planification directrice des forêts fribourgeoises - PDFFF - Stratégie forêt-Fribourg 2025: [lien](#)

PDFFF: Planification directrice des forêts fribourgeoises - Stratégie forêt-Fribourg 2025 - État de Fribourg - Service des forêts et de la faune SFF - septembre 2016

Pluess *et al.*, 2016: [lien](#)

Pluess, A.R. ; Augustin, S. ; Brang, P. (Réd.), 2016: Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne ; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf ; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 455 p.

Postulat Vara 2020: [lien](#)

Adaptation des forêts au réchauffement climatique. Quid de la biodiversité?

Principes sylviculturaux, Neuchâtel 2016: [lien](#)

Rigling *et al.*, WSL 57, 2016: [lien](#)

Daniel Rigling, Sandra Hilfiger, Corine Schöbel, Franz Meier, Roland Engesser, Christoph Scheidegger, Silvia Stofer, Beatrice Senn-Irlet et Valentin Queloz. Le dépérissement des pousses du frêne Biologie, symptômes et recommandations pour la gestion. WSL 57, 2016

Rigling & Stähli 2020: [lien](#)

Andreas Rigling et Manfred Stähli. Erkenntnisse aus der Trockenheit 2018 für die zukünftige Waldentwicklung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen (2020) 171 (5): 242–248

Rudow, A., 2013: Dendrologie. In: Baltisberger, M., Conradin, C., Frey, D., Rudow, A., 2013: eBot. Version 6 (2018). Pinus sylvestris Écogramme physiologique sans influence de la concurrence. [lien](#)

SFN, Gestion durable des forêts fribourgeoises, Rapport 2020

Zimmermann *et al.*, 2014: [lien](#)

Niklaus E. Zimmermann, Signe Normand and Achilleas Psomas with significant input from: Dirk R. Schmatz, Eliane Meier, Matthias Dobbertin, Peter B. Pearman, Esther Thürig, Janine Bolliger, Felix Kienast, 2014. PORTREE Final Report A project funded by the BAFU-WSL program on “Forests and Climate Change” in Switzerland. WSL 2014.









10. Annexes

Annexe 1

Le WSL a défini des axes stratégiques, et des principes directeurs pour atteindre les objectifs de tolérance et de résilience au changement climatique:

Axes stratégiques	Augmenter la résistance aux perturbations		Augmenter le potentiel de résilience	Augmenter la capacité d'adaptation	
Principes directeurs	A Augmenter la diversité des essences	B Augmenter la diversité structurelle	C Augmenter la diversité génétique	D Augmenter la résistance aux perturbations des arbres individuels	E Réduire la révolution ou le diamètre cible pour les peuplements actuels équiens et sensibles

Pluess et al., 2016 p348

Principes d'action	Phases d'intervention		
	Rajeunissement	Soins à la jeune forêt/petit jardinage	Éclaircies
Augmentation de la diversité des essences adaptées aux conditions futures			
Augmentation de la diversité structurelle			
Augmentation de la diversité génétique			
Augmentation de la stabilité individuelle des arbres			
Réduction de la révolution/du diamètre cible, resp. rajeunissement anticipé			

Impact des interventions sylvicoles sur les principes directeurs (Allgaier Leuch et al., WSL 59.1, 2017)

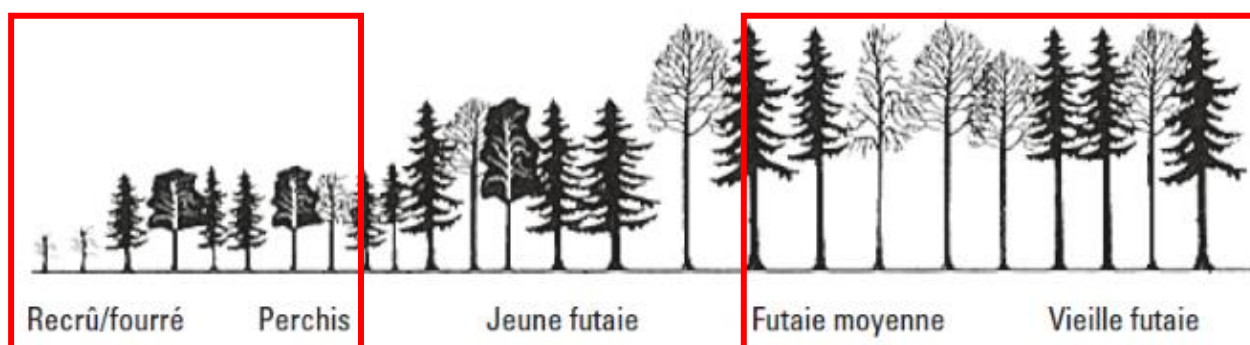
Annexe 2

Stades de développement

Les stades de développement, définis par classes de diamètre, donnent une indication sur l'âge de la forêt, ou sur leur structure étagée. Ils ne donnent pas d'indication sur la vulnérabilité, mais certains stades doivent être particulièrement ciblés par des interventions efficaces pour adapter les peuplements: avec des moyens faibles, on peut obtenir des résultats importants pour améliorer la diversité, la structure et la stabilité des peuplements..

Les premiers stades, lorsque la forêt est jeune, ont un intérêt pour augmenter la diversité et choisir les essences qui vont se développer. Les interventions de soins à la jeune forêt y sont appliquées.

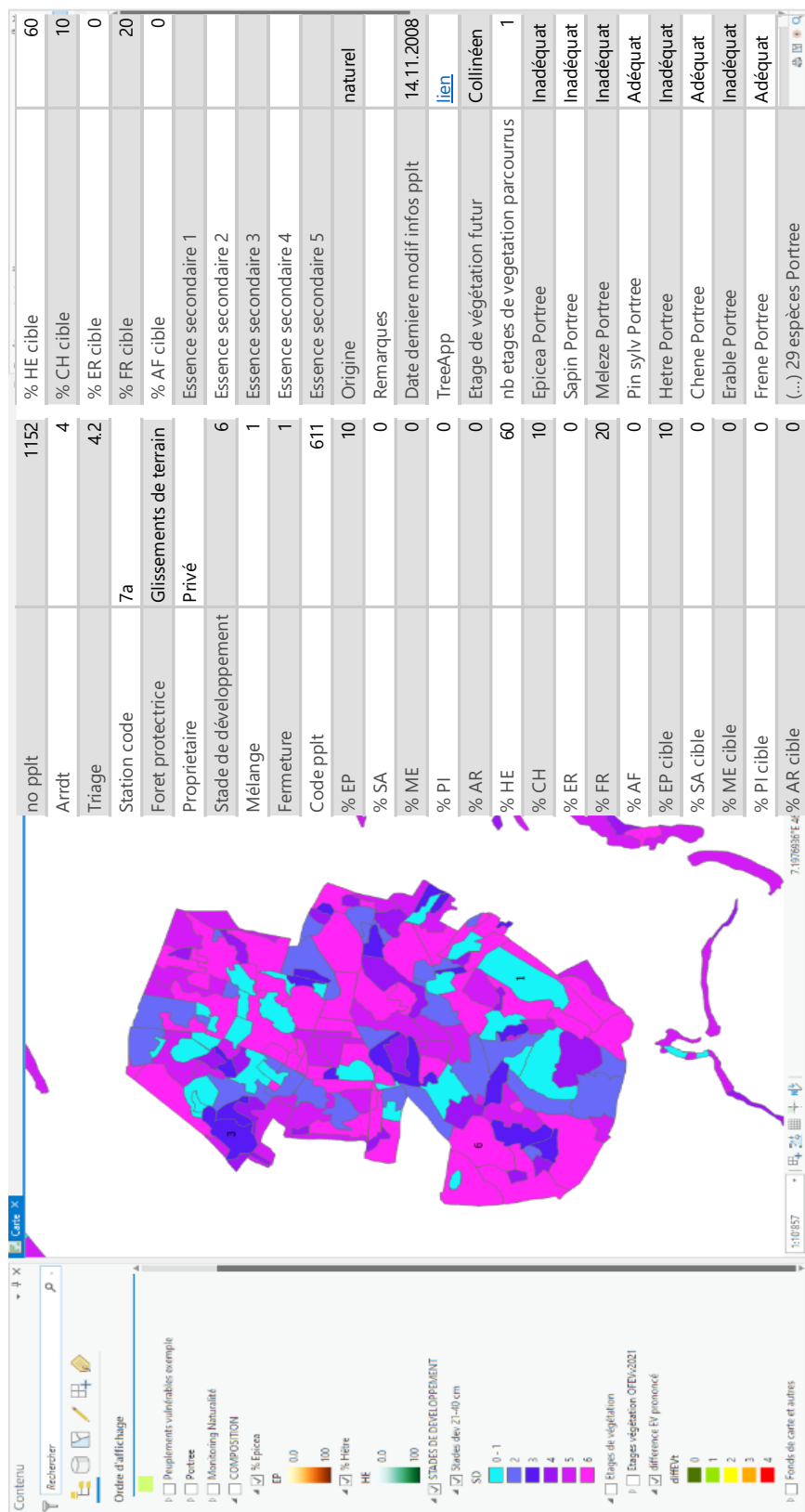
Les derniers stades de maturité sont aussi particulièrement importants. En se rapprochant de l'âge d'exploitabilité, les types de coupes vont avoir un grand impact positif, grâce au choix des arbres semenciers, pour l'installation d'espèces cibles, notamment les feuillus et pionniers, ainsi que pour structurer le peuplement.



Les différents stades de la forêt. Pour augmenter la diversité et adapter le peuplement, il est très efficace d'intervenir lorsque le peuplement est jeune ou mature (Pluess et al., 2016 p360).

Annexe 3

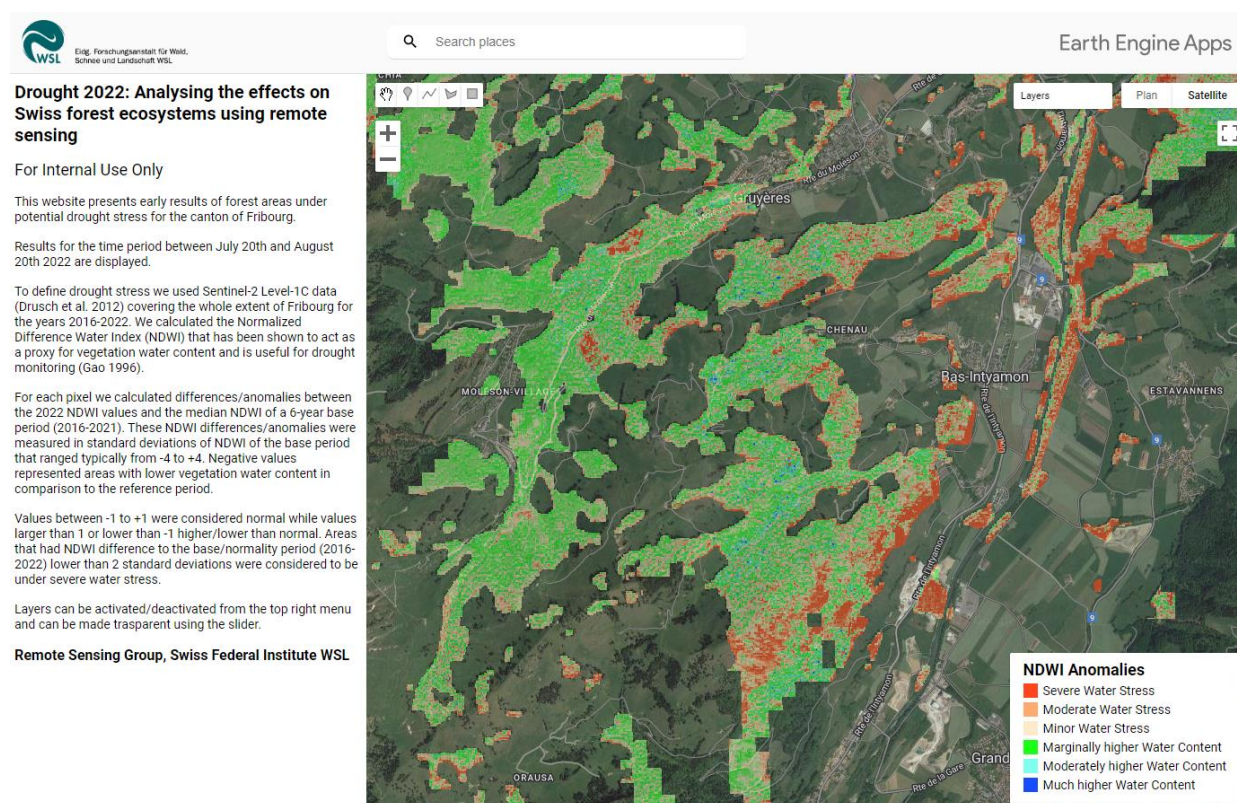
L'outil SIG Cockpit Changement Climatique se présentera tel que ci-dessous:



Annexe 4

Notre collaboration avec l'équipe du WSL Forest Resources and Management nous permet de visualiser les zones potentiellement soumises à du stress hydrique en 2022 par rapport aux 6 années précédentes. Cette information est très utile car elle permet de localiser du stress hydrique de manière globale sur le canton, avec une résolution d'environ 10 mètres.

Leur modèle actuel compare la période du 20 juillet au 20 août 2022 aux mêmes périodes des 6 années précédentes.



La carte NDVI présente le stress hydrique potentiel sur le canton de Fribourg.

Annexe 5

Les forêts de hêtre et d'épicéa présentent les plus gros enjeux d'adaptation des forêts fribourgeoises. Voici deux exemples concrets de forêts qui présentent des dépérissements dus à la sécheresse.

Hêtre

La forêt de Villars-sur-Glâne a certains peuplements composés à 80% de hêtres, dans une zone considérée comme inadéquate pour cette espèce selon Portree. Ils présentent de forts dépérissements, descentes de cimes, voire mortalité, tel que sur la photo ci-dessous.



Dépérissement de hêtres dû à la sécheresse, forêt de Villars-sur-Glâne, Belle-Croix, 2022.

Épicéa

Les forêts de Charmey ont certains peuplements composés à 100% d'épicéas, avec une forte proportion sur l'ensemble des massifs forestiers. Dans une zone considérée comme inadéquate pour cette espèce selon Portree, ils présentent de forts dépérissements, voire mortalité tel que sur la photo ci-dessous.



Dépérissement d'épicéas dû à la sécheresse, forêt de Charmey, La Tzintre, 2022.

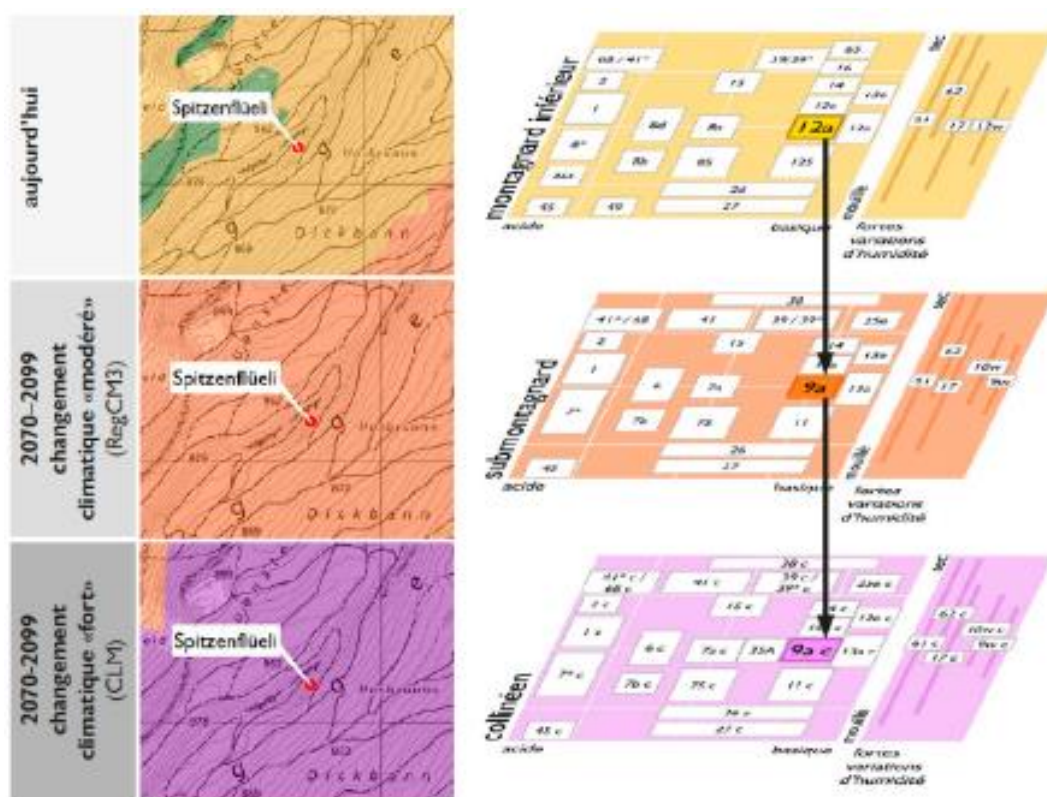
Annexe 6

Le déplacement des étages de végétation et TreeApp

Les étages de végétation définissent des conditions climatiques sur des surfaces du territoire.

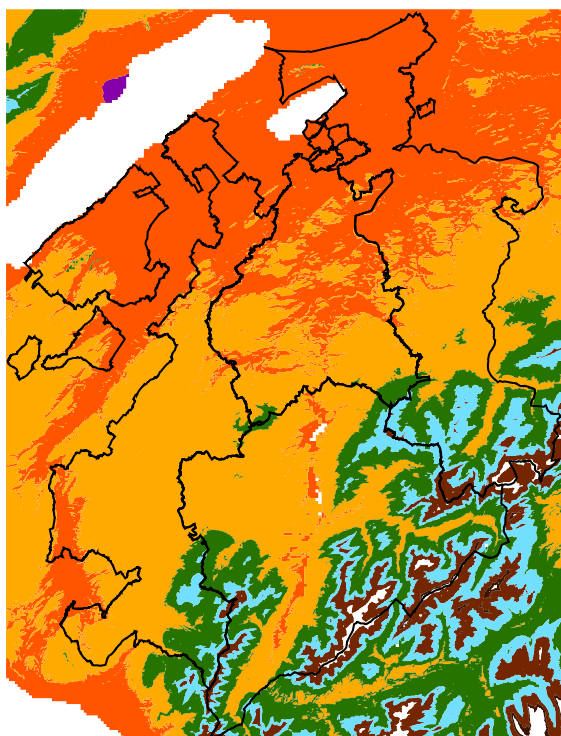
Le WSL a modélisé les étages de végétation actuels, et leur projection dans l'avenir. Les stations forestières sont inféodées à ces étages et le déplacement des étages permet de supposer de la station future correspondante.

Cette projection permet de visualiser le décalage entre les contextes écologiques actuels et futurs. La mesure de ce décalage peut être considérée comme un risque d'inadéquation à la station future. On peut imaginer comme un ascenseur climatique qui parcourt des étages.

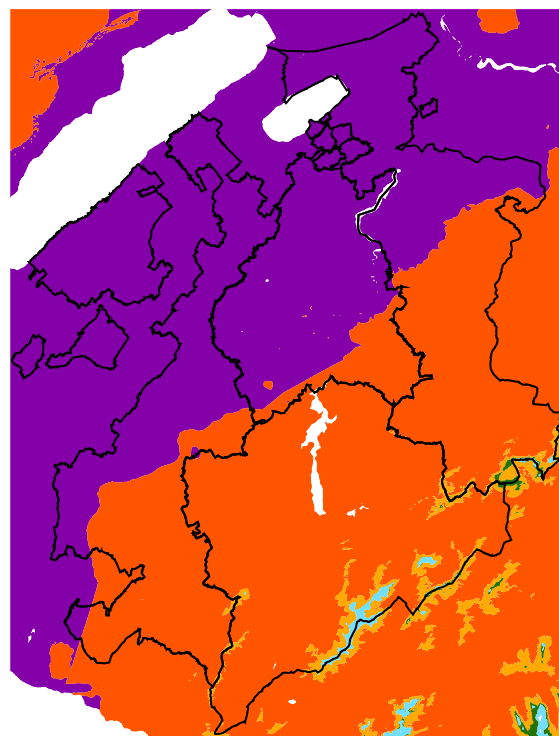


Exemple de détermination de types de stations analogues, ici la station 12a va être déplacée de deux étages pour devenir une 9ac (Frehner et al., WSL 69, 2018).

Dans le scénario climatique prononcé, les peuplements du canton seront pour 98% dans les étages submontagnard ou collinéen. L'étage collinéen, encore absent du canton, couvre en grande partie le plateau et représente la plus grande menace de dépérissements dus à la sécheresse et à la chaleur.



Étendue des étages de végétation en 1995



*Étendue des étages de végétation en 2085
selon le scénario climatique prononcé du WSL*

- en noir:* arrondissements forestiers du canton de Fribourg
- en violet:* étage collinéen
- en orange:* étage submontagnard
- autres couleurs:* étages supérieurs au submontagnard

L'outil [Tree-app](#) utilise ce modèle. Il attribue les stations futures en fonction des déplacements des étages de végétation, et aide le forestier à prendre les bonnes décisions pour la composition optimale de la station future.

Cet outil est mis à disposition des forestiers pour les aider dans leur choix des essences objectifs. Il permet d'orienter les interventions sur surfaces forestières vulnérables pour leur composition.

Annexe 7

Aperçu de la situation pour les essences principales

Résineux

Épicéa

L'épicéa est très présent dans le canton. Par sa bonne croissance et sa valeur en bois d'œuvre, l'épicéa a très largement été planté durant le siècle dernier, et, malheureusement, on le trouve parfois en peuplements purs. Il est particulièrement sensible aux attaques de grande ampleur d'un ravageur, le bostryche, et les peuplements denses sont sensibles aux coups de vent et aux tempêtes. Cette essence est exposée à un risque climatique élevé dans toute la Suisse. On anticipe de forts dépérissements dus à la sécheresse sur le plateau et il pourrait aussi connaître des problèmes de régénération (Pluess et al., 2016 p133, p176, p177, 251).

Mélèze

Essence typiquement de montagne, le mélèze se retrouve également en plaine où il a été planté. S'il est un peu moins sensible que l'épicéa aux sécheresses, il reste très menacé sur le Plateau et sa fourchette altitudinale se déplace vers le haut (Huovinen, 2022). Son aire de répartition devrait ainsi se réduire sur le Plateau et augmenter dans les Préalpes (Pluess et al., 2016 p 219. et Lévesque et al., 2015).

Sapin

Légèrement plus tolérant aux sécheresses que l'épicéa, le sapin reste cependant menacé par les chaleurs et sécheresses sur le Plateau. Toutefois, les études sur son adaptabilité et son amplitude de résistance aux conditions climatiques futures sont divergentes (Changements climatiques: le sapin supprime l'épicéa et le hêtre WSL News 10.08.2017. et Allgaier Leuch et al., WSL 59, 2017).

Pin sylvestre

Essence pionnière, le pin sylvestre s'installe en lisière et dans les grandes ouvertures de pleine lumière. Il est relativement tolérant aux sécheresses, sur différents types de sols, et il peut être à encourager dans de nombreux cas, notamment dans les stations extrêmes où il a peu de concurrence (Rudow A., 2013). Dans les Préalpes, les zones favorables à cette essence devraient augmenter (Pluess et al., 2016 p 282).

Autres résineux

La diversité des autres résineux est bénéfique de manière générale, selon les caractéristiques spécifiques de chaque essence.

Feuillus

Hêtre

Essence feuillue principale sur le Plateau, le hêtre est particulièrement menacé par les dépérissements dus à la sécheresse (Pluess et al., 2016 p35, 176, 219), mais aussi par les gelées tardives (Pluess et al., 2016 p32). En effet les hivers doux l'inciteront à débourrer plus tôt, puis les gels tardifs peuvent faire des dégâts sur les jeunes feuilles de l'année. Comme l'épicéa, on anticipe des problèmes de régénération sur le plateau d'ici la fin du siècle (Pluess et al., 2016 p77, 119). En 2019, le Jura a subi un épisode très important de dépérissement et il faut anticiper ce genre de situation sur notre canton.

Chênes

Les chênes, et principalement le chêne sessile, sont très adaptables en termes de conditions écologiques. Ils ont une amplitude écologique qui est intéressante en termes de sols et de températures et ils constituent des essences remarquables face aux conditions climatiques futures. Il est attendu que leur zone favorable s'étende considérablement (Bonfils et al., 2015).

Érables

Les érables sont intéressants en termes de tolérance aux conditions futures, sur le Plateau, mais aussi dans les Préalpes pour la diversification. L'érable sycomore (ou des montagnes) a été fortement encouragé dans la sylviculture mais il est relativement moins tolérant à la sécheresse. Son aire de répartition devrait se réduire (Pluess et al., 2016 p219).

L'érable plane et l'érable champêtre sont plus résistants à la sécheresse, aux conditions climatiques en général, et ils ont un enracinement profond, ce qui assure leur stabilité et favorise leur adaptation aux milieux (fichier écologique des essences UCLouvain 2020)

Frêne

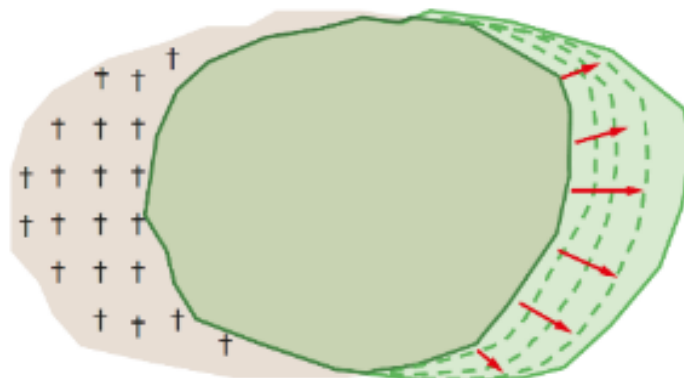
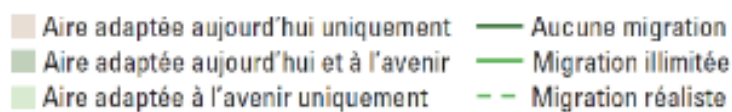
Le frêne est fortement menacé par la chalarose. Si son comportement et la valorisation de la diversité par cette espèce sont intéressants, comme pour les autres feuillus, la menace de la chalarose doit être prise en compte. Il n'est pas opportun de le considérer comme espèce objectif, mais les individus sains ou peu atteints peuvent être conservés ou même favorisés, car ils pourraient transmettre leurs éventuelles propriétés de résistance ou de tolérance à leurs descendants (Rigling et al., WSL 57, 2016). De plus c'est une espèce considérée comme pyrosensible (Pluess et al., 2016 p233).

Autres feuillus

Les autres feuillus sont très intéressants sur le Plateau comme dans les Préalpes en termes de diversité, selon les caractéristiques spécifiques de chaque essence.

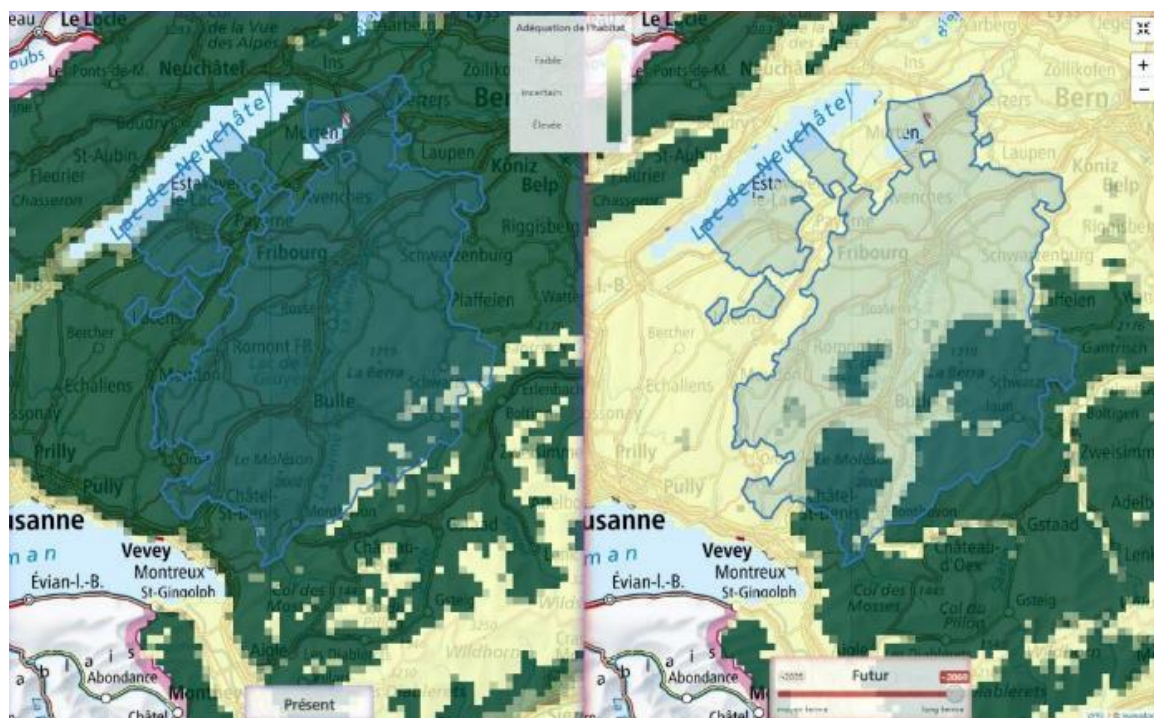
Annexe 8

Portree



Représentation schématique du déplacement de l'aire de répartition potentielle selon la modélisation statistique. On distingue habituellement trois zones, qui rendent compte de l'adéquation du milieu aujourd'hui ou à l'avenir. Pluess et al., 2016 p209.

Le site internet *Forte Future* du WSL permet de visualiser les cartes *Portree* de ces zones.



Futur - exemple de projection d'aire potentiellement favorable de l'épicéa.

Nous disposons de ces couches SIG *Portree* pour la période 2051-2080, qui seront mises à jour par le WSL dans les deux années à venir.