

MoGLI: Cartes de distribution à haute résolution pour les espèces ligneuses les plus courantes dans la forêt suisse

Une synthèse des méthodes et des résultats

*Rafael O. Wüest, Ariel Bergamini, Kurt Bollmann, Andri Baltensweiler
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL*

Correspondance: Andri Baltensweiler (andri.baltensweiler@wsl.ch)

Sur la base des données de l'Inventaire forestier national suisse (IFN), nous avons développé un modèle du potentiel de distribution des essences ligneuses les plus courantes dans l'aire forestière suisse et élaboré des cartes de la distribution potentielle de ces espèces qui remplissent certains critères de qualité concernant la prévision de leur distribution. Les cartes de distribution ont été produites sur la base des principes de la modélisation statistique de la distribution, selon lesquels la présence des espèces enregistrée par l'IFN a été corrélée statistiquement aux variables environnementales. La distribution potentielle a ensuite été estimée pour toute la surface forestière de la Suisse en utilisant la corrélation statistique établie. En plus des prédicteurs traditionnels tels que le climat ou la topographie, nous avons développé de nouveaux prédicteurs pour MoGLI qui décrivent la structure des forêts en utilisant LiDAR (Light Detection and Ranging; une méthode qui scanne la surface de la terre en utilisant la technologie laser), et nous avons également utilisé des cartes des propriétés du sol pour maximiser la précision des projections spatiales.

Les cartes élaborées peuvent être visualisées dans une simple application Web-SIG:

<https://www.lfi.ch/produkte/mogli/mogli-fr.php>

Les cartes produites sont disponibles pour chaque espèce ou en téléchargement groupé sur

EnviDat: <https://www.envidat.ch/#/metadata/mogli-sdm>

Méthodes

La procédure s'articule en trois étapes : la préparation des données d'occurrence et environnementales, la modélisation statistique et la prévision spatiale.

Préparation des données d'occurrence et des données environnementales

D'une part, nous avons utilisé les données d'occurrence des espèces ligneuses de l'Inventaire forestier national suisse (IFN). D'autre part, le projet a utilisé des informations sur les conditions environnementales qui sont disponibles pour toute la surface forestière suisse. En plus des informations sur le climat, la topographie et le sol (pH), des données satellitaires et LiDAR ont été utilisées pour la modélisation. Le « Normalized Difference Vegetation Index » (NDVI) a été calculé à partir des images du satellite LANDSAT pour obtenir des informations sur la productivité des forêts. Les données LiDAR ont été utilisées pour en dériver des informations sur la structure verticale des forêts, permettant entre autres de décrire les conditions de lumière à l'intérieur des peuplements forestiers. Il a été constaté que de telles caractéristiques structurelles peuvent améliorer la qualité des modèles notamment pour les espèces (arbusives) exigeantes en lumière comme le genévrier commun (*Juniperus communis* L. subsp. *communis*) et le prunellier (*Prunus spinosa* L.), voir Wüest et al. (2020).

Modélisation statistique

Cinq modèles statistiques différents (GLMs, GAMs, MaxEnt, random Forests, artificial neural networks) ont été utilisés pour expliquer la présence (ou l'absence) d'espèces sur les placettes d'échantillonnage de l'IFN. La qualité des modèles a été vérifiée en effectuant pour chaque espèce une validation croisée, qui révèle dans quelle mesure les modèles réussissent à prédire la présence (ou l'absence) de cette espèce. La validation croisée a consisté à diviser aléatoirement l'ensemble des données de l'IFN en 70 % de données de référence et 30 % de données de vérification. Les cinq modèles ont ensuite été générés à partir des données de référence, et les prédictions de ces modèles ont été comparées aux occurrences/absences réelles observées dans les données de vérification. La qualité des estimations a été évaluée à l'aide des True Skills Statistics (*TSS*). La procédure de validation croisée a été répétée cent fois, et une valeur moyenne de *TSS* a été calculée pour chaque espèce. Les valeurs de *TSS* peuvent varier de zéro (pire modèle possible) à un (modèle parfait). Les cartes pour les espèces dont la qualité du modèle est insuffisante ($TSS_{CV} < 0,5$) n'ont pas été publiées, de sorte que seules des cartes de distribution fiables sont disponibles pour le téléchargement.

Prédiction spatiale

Dans la dernière étape, la présence des espèces d'arbres a été estimée pour l'ensemble de la surface forestière suisse à l'aide des modèles statistiques. Le projet MoGLI fournit trois produits de cette façon. Le premier produit, appelé carte d'ensemble, est la probabilité moyenne estimée de présence d'une espèce. À cette fin, les valeurs prédites par les cinq modèles statistiques ont été moyennées, ce qui a donné des valeurs comprises entre zéro et un (les cartes de probabilité d'ensemble sont présentées en pourcentages compris entre 0 et 100 %). Le second produit fournit des informations sur les différences entre les modèles en termes de prédictions. Il a été calculé comme l'écart type entre les cinq modèles, les valeurs élevées indiquant des écarts importants entre les modèles (les cartes d'écarts types représentent les valeurs des écarts types, multipliées par 100). Le troisième produit, les cartes dites de concordance, fournit des informations à la fois sur la probabilité d'occurrence et sur l'incertitude associée à la prévision. Cela a été réalisé en définissant trois classes, dont deux (les classes 1 et 3) sont caractérisées par une faible incertitude et indiquent soit la présence, soit l'absence d'une espèce, tandis que la troisième (la classe 2) ne fournit pas d'informations sur la présence effective éventuelle d'une espèce en raison d'une trop grande incertitude. Les cartes de concordance contiennent des valeurs comprises entre 1 et 3, indiquant si une espèce est présente ou non :

1 := présence improbable

2 := présence incertaine

3 := présence probable

Résultats

Précision des prédictions

Le tableau 1 fournit des détails sur le nombre d'occurrences ($N_{\text{présences}}$) observées dans l'IFN. Il indique également le nombre de variables climatiques (N_{clim}), d'attributs topographiques du terrain (N_{terat}), de caractéristiques linéaires (N_{lin}) et de variables de télédétection (N_{rs}) utilisées. N_{total} indique le nombre total de variables explicatives que les modèles ont utilisées. TSS_{CV} indique la valeur moyenne de TSS_{CV} dans la validation croisée (où $TSS_{CV} = 0$ dénoterait le pire modèle possible et $TSS_{CV} = 1$ dénoterait un modèle parfait).

Tableau 1 Espèces modélisées remplissant un critère de qualité supérieur au seuil spécifié ($TSS_{CV} > 0,5$). Des cartes de distribution potentielle sont disponibles pour toutes ces espèces (<https://www.envidat.ch/dataset/mogli-sdm>). Le tableau comprend également le nombre d'occurrences de chaque espèce dans les données de l'IFN ($N_{\text{présences}}$), le nombre total de variables utilisées pour modéliser l'espèce (N_{total}), et le nombre de variables utilisées par catégorie (climat : N_{clim} ; attributs du terrain : N_{terat} ; caractéristiques linéaires : N_{lin} ; variables de télédétection : N_{rs}), ainsi que la moyenne des *TSS* de toutes les validations croisées sur tous les cinq modèles (TSS_{CV}).

Species	N _{presences}	N _{dim}	N _{erat}	N _{lin}	N _{rs}	N _{total}	TSS _{cv}
<i>Abies alba</i> Mill.	2307	20	33	6	9	68	0.524
<i>Acer campestre</i> L.	275	13	5	7	2	27	0.642
<i>Acer opalus</i> Mill.	73	5	1	0	1	7	0.787
<i>Acer platanoides</i> L.	236	12	3	5	3	23	0.508
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.	85	5	3	0	0	8	0.600
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	275	7	17	0	3	27	0.528
<i>Alnus viridis</i> (Chaix) DC.	325	12	11	5	4	32	0.677
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.	33	2	0	0	1	3	0.639
<i>Berberis vulgaris</i> L.	175	12	2	0	3	17	0.622
<i>Carpinus betulus</i> L.	282	12	10	5	1	28	0.720
<i>Castanea sativa</i> Mill.	211	13	3	0	5	21	0.872
<i>Clematis vitalba</i> L.	230	12	5	4	2	23	0.563
<i>Cornus sanguinea</i> L.	389	14	15	6	3	38	0.636
<i>Cotoneaster tomentosus</i> Lindl.	53	3	0	0	2	5	0.603
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	336	13	9	6	5	33	0.555
<i>Crataegus laevigata</i> (Poir.) DC.	207	13	3	4	0	20	0.557
<i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link	57	5	0	0	0	5	0.887
<i>Daphne laureola</i> L.	61	4	2	0	0	6	0.704
<i>Euonymus europaeus</i> L.	245	9	8	7	0	24	0.657
<i>Fagus sylvatica</i> L.	3142	20	34	7	10	71	0.669
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	2006	17	36	8	9	70	0.542
<i>Hedera helix</i> L.	907	15	35	6	10	66	0.622
<i>Hippocrepis emerus</i> (L.) Lassen	32	2	1	0	0	3	0.606
<i>Ilex aquifolium</i> L.	359	13	11	5	6	35	0.548
<i>Juglans regia</i> L.	189	11	3	4	0	18	0.563
<i>Juniperus communis</i> L. subsp. <i>communis</i>	151	8	3	0	4	15	0.615
<i>Juniperus communis</i> subsp. <i>alpina</i> Celak.	130	5	1	3	4	13	0.746
<i>Laburnum alpinum</i> (Mill.) Bercht. & J. Presl	36	2	1	0	0	3	0.551
<i>Laburnum anagyroides</i> Medik.	41	4	0	0	0	4	0.643
<i>Larix decidua</i> Mill.	1019	19	35	8	10	72	0.605
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	294	12	7	7	3	29	0.669
<i>Lonicera caerulea</i> L.	62	5	0	1	0	6	0.504
<i>Lonicera xylosteum</i> L.	1179	15	33	7	10	65	0.509
<i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.	32	3	0	0	0	3	0.853
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	4175	18	36	8	10	72	0.528
<i>Pinus cembra</i> L.	186	12	1	3	2	18	0.874
<i>Pinus mugo</i> subsp. <i>uncinata</i> (DC.) Domin	92	5	0	1	3	9	0.696
<i>Pinus mugo</i> Turra subsp. <i>mugo</i>	50	3	0	0	2	5	0.790
<i>Pinus sylvestris</i> L.	490	13	21	6	9	49	0.529
<i>Prunus avium</i> L.	610	14	31	6	10	61	0.510

<i>Prunus padus</i> L.	157	8	6	1	0	15	0.612
<i>Prunus spinosa</i> L.	153	9	2	4	0	15	0.551
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	84	3	5	0	0	8	0.638
<i>Quercus petraea</i> Liebl.	295	15	5	5	4	29	0.581
<i>Quercus pubescens</i> Willd.	69	6	0	0	0	6	0.783
<i>Quercus robur</i> L.	344	10	18	6	0	34	0.607
<i>Rhododendron ferrugineum</i> L.	369	10	14	6	6	36	0.782
<i>Ribes alpinum</i> L.	83	6	2	0	0	8	0.579
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	36	3	0	0	0	3	0.681
<i>Sorbus chamaemespilus</i> (L.) Crantz	36	3	0	0	0	3	0.614
<i>Taxus baccata</i> L.	96	5	3	0	1	9	0.529
<i>Tilia cordata</i> Mill.	237	14	2	2	5	23	0.525
<i>Ulmus glabra</i> Huds.	476	16	18	6	7	47	0.526
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	369	14	9	5	8	36	0.575
<i>Viburnum lantana</i> L.	378	11	13	6	7	37	0.532
<i>Viburnum opulus</i> L.	240	10	8	6	0	24	0.531
