

Certificat de géomatique

Janvier 2026

Application du modèle du Landscape Mosaic à l'échelle Suisse

Lucie Schlumpf

Supervisé par Gregory Giuliani

Expertisé par Yaniss Guigoz

Résumé :

Ce travail est consacré à l'application, à l'échelle suisse du modèle du landscape mosaic développé par Riitters et al. (2009) puis affiné par Vogt et al. (2024). Grâce à cet outil, les évolutions des surfaces agricoles, naturelles et urbaines seront mesurées et surtout leur juxtaposition sera observée de sorte à en extraire des données de fragmentation du paysage (Vogt et al., 2020). Ce processus sera effectué pour des inputs de différentes années de sorte à les comparer et examiner les évolutions. Il ressort de cette analyse une tendance à l'augmentation de l'hétérogénéité des milieux. Cela a surtout lieu dans le cadre de l'expansion de l'urbain sur l'agricole.

Introduction :

Les analyses basées sur les évolutions d'occupation et d'utilisation du sol constituent un moyen intéressant d'aborder les problématiques environnementales. Ce type de données en input peuvent servir d'indicateurs assez explicites et complets pour mesurer l'emprunte humaine sur les milieux, car il permet de reporter des phénomènes variés comme l'urbanisation, la perte ou le gain de surfaces de terres agricoles, la déforestation et les reboisements ainsi que la désertification (Thomas et Giuliani, 2023).

Pour traiter ces données de couverture du sol, diverses techniques existent. Dans le cadre de ce travail, le modèle du landscape mosaic (LM) développé Riitters et al. (2009) puis affiné par Vogt et al. (2024) et Vogt et al. (2024) sera appliqué à l'échelle suisse. Cet outil permet de générer des données, notamment sur la fragmentation du paysage. Plus précisément, il a pour fonction d'analyser la distribution spatiale des principales catégories de couverture terrestre ainsi que d'observer leur juxtaposition et leur homogénéité (Vogt et al., 2020 ; Vogt et al., 2024). De plus, le modèle permet également les comparaisons temporelles afin de déceler les évolutions de ces différents paramètres. Pour cela, les cartes de couverture du sol utilisées en input sont simplifiées, en trois catégories (Vogt et al., 2020 ; Vogt et al., 2024). Ces dernières sont adaptables au cas par cas. Pour ce travail, la division « classique » est retenue. Les catégories seront donc « urbain/développé », « naturel » et « agricole ».

Ce travail se base sur les données des années 1985, 1997, 2009 et 2018. Elles seront utilisées de sorte à observer les tendances d'évolutions paysagères pour l'ensemble du pays, des cantons et des biorégions. Cela permet notamment d'appréhender les effets de l'aménagement du territoire au sens large sur la fragmentation des milieux et les évolutions des « interfaces et continuités » paysagères et biologiques. Le landscape mosaic permet également de documenter les contextes de ces changements et la rapidité de ces phénomènes (Vogt et al., 2024).

Dans ce cas spécifique, l'utilisation du landscape moasic aura pour vocation d'établir les mesures suivantes :

- déterminer la couverture terrestre dominante,
- indiquer le degré d'hétérogénéité de la couverture terrestre,
- localiser et quantifier les évolutions de dominance de nature du sol
- comparer plusieurs territoires différents (grâce aux résultats statistiques normalisés)
- analyser les zones d'interfaces (Vogt et al., 2020)

D'un point de vue technique, le landscape mosaic fonctionne sur la base d'un graphique ternaire. Les catégories « urbain », « agricole » et « naturel » forment chacune un pôle du diagramme. Le modèle reclassifie chaque pixel dans une des 103 entités du diagramme selon la proportion de chaque catégorie primaire dans un voisinage de taille définie (Vogt et al., 2020 ; Vogt et al., 2024).

Ces 103 classes peuvent ensuite être simplifiées en 19 nouvelles classes. Ces dernières sont désignées de différentes manières selon leur proportion de chaque catégorie de base. Pour une composition uniforme une double lettre majuscule (XX) est inscrite. Pour une proportion de 60 % à 100 %, une seule majuscule est notée (X) et pour une de 10 à 60%, une minuscule (x) est ajoutée (Vogt et al., 2024). Cela se décline pour chacun des pôles. Les codes de lettres sont ensuite combinées de sorte à former les labels de la figure 1.

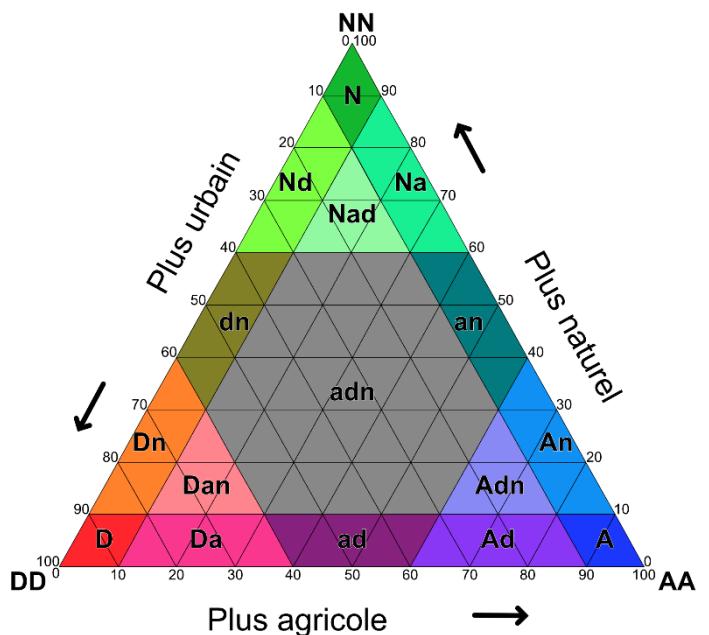


Figure 1 Diagramme ternaire du landscape mosaic

Méthodologie :

Les données utilisées en input sont les *Swiss Land Use Statistics* de l'OFS. Cette couche contient la couverture du sol suisse en 72 classes, avec une résolution à l'hectare. Les données sont récoltées durant les périodes 1979-1985, 1992-1997, 2004-2009 et 2013-2018 (Biedermann et al., 2021).

La première partie, consistant à générer les données LM, s'effectue sur Jupyter Notebook selon un modèle développé par Riitters et al. (2009) puis affiné par Vogt et al. (2024) et adapté à Jupyter par Giuliani (2026).

Les données sont dans un premier temps reclassifiées dans les catégories de base du landscape mosaic : agricole, urbaine et naturelle, selon la distribution indiquée ci-dessous.

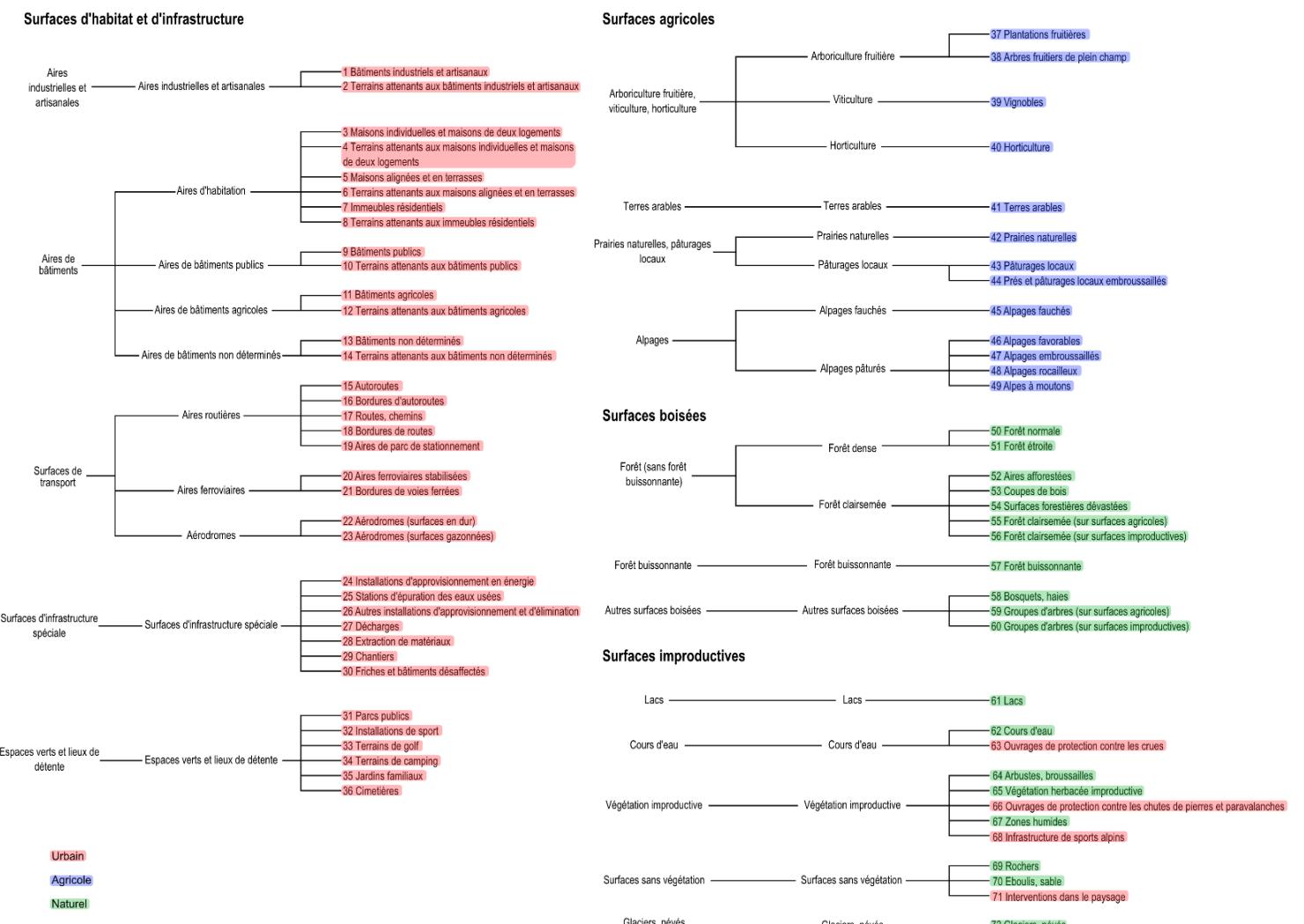


Figure 2 Classification de la couche d'input en catégories "urbaine", "naturelle" et "agricole" sur la base de la distribution de l'OFS

Les bâtiments de toutes sortes, routes, infrastructures et chantiers forment le pôle urbain. Les espaces de loisirs et de détente en plein air, comme les parcs publics sont aussi attribués à cette catégorie.

Le pôle agricole est composé des terres arables, des prairies, pâturages et alpages ainsi que vergers et autres espaces surfaces de strates arbustives productives pour la consommation alimentaire.

La partie naturelle contient les forêts de divers types et états, de milieux aquatiques et les zones de roches apparentes.

Une fois que cette couche est générée, une analyse de la fréquence de ces catégories par moving window pour une résolution de 10 fois l'initiale, soit 1km de côté est lancée. Une couche 3 bandes est créée. Elle contient la proportion de chaque catégorie pour les cellules voisines sondées. Une reclassification est effectuée selon le pourcentage de cellules de chaque catégorie. Cette classification peut ensuite être représentée sur un diagramme ternaire à 103 catégories.

Le modèle génère ensuite plusieurs couches thématiques dont la reclassification en 19 catégories, l'intensité urbaine, agricole, naturelle et anthropique (Vogt et al., 2024) ainsi que le niveau de diversité (Vogt et al., 2024). Ces couches sont générées par des reclassifications de la couche d'origine en fonction d'un ou plusieurs axes du graphique ternaire.

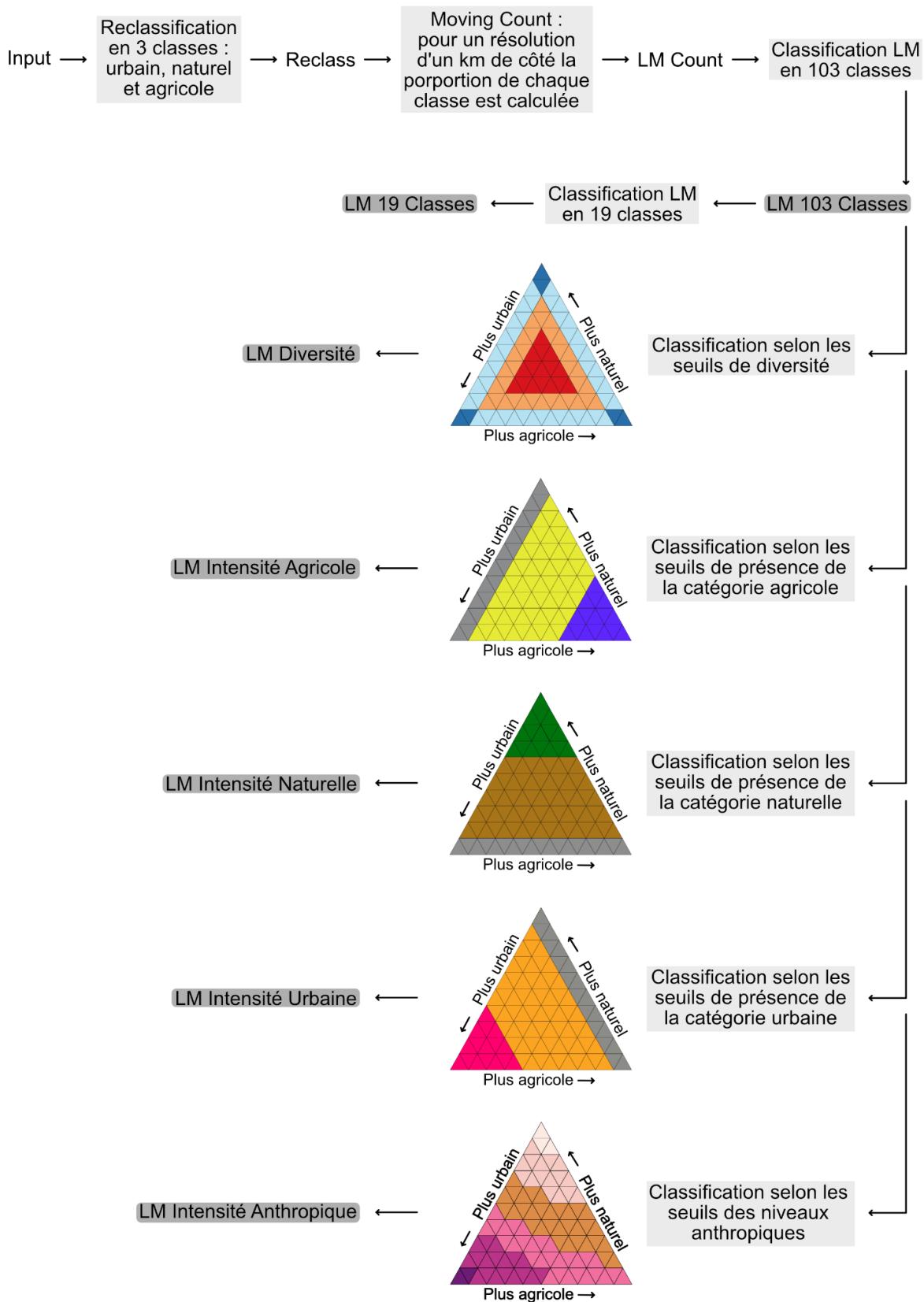


Figure 3 Schéma des opérations du modèle du landscape mosaic

Une fois la batterie de données du LM générées pour les quatre années considérées, l'analyse et l'interprétation se poursuivent sur QGIS selon le modèle ci-dessous.

Les outputs d'intensité agricole, urbaine, naturelle et anthropique de la première partie sont repris. Les couches de même type mais d'années différentes sont soustraites les unes aux autres afin de faire ressortir les évolutions. Les statistiques sont ensuite générées à l'échelle du pays, des biorégions et des cantons. L'analyse par biorégions permet d'observer les tendances d'évolution pour des conditions écologiques et climatiques relativement homogènes au sein d'une même entité afin de mieux observer les potentielles influences de ces facteurs. L'analyse à l'échelle des cantons est quant à elle, plus susceptible de faire ressortir des tendances liées au cadre et normes administratives ainsi que la structure socioéconomique des entités.

Pour la répartition LM en 19 classes, les statistiques de chaque classe pour les quatre années sont extraites puis comparées.

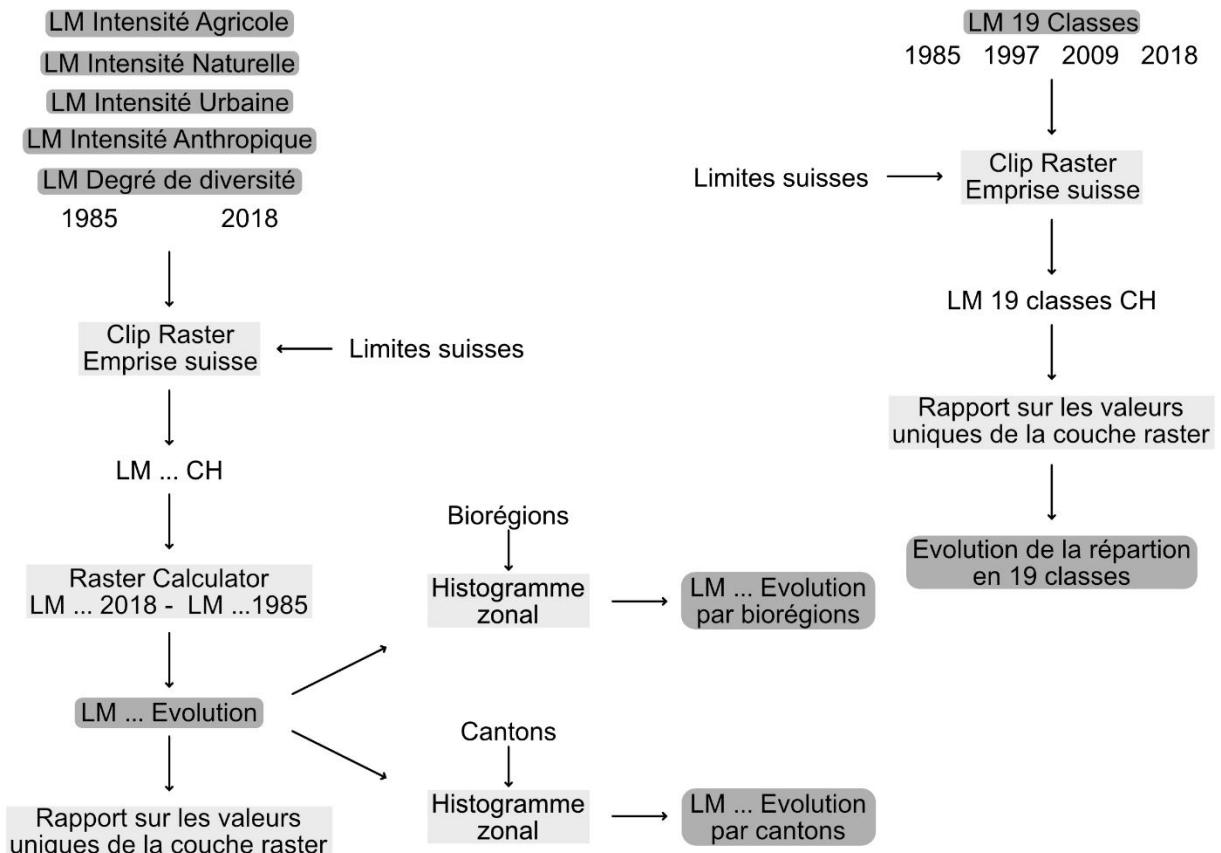


Figure 4 Schéma du traitement des outputs du landscape mosaic

Ces résultats sont ensuite exportés en cartes et en graphiques.

Résultats :

Premièrement, la carte du Landscape Mosaic en 19 classes est extraite pour les données des années 1985 et 2018. Basées sur le diagramme ternaire exposé précédemment, elles représentent à la fois les catégories dominantes pour chaque pixel ainsi que leur degré et la nature des hybridations présentes sur le territoire suisse (Vogt et al., 2020). Les proportions de chacune des 19 classes sont comparées pour les quatre séries de données. De plus, le pourcentage d'évolution est calculé entre les données de 1985 et celles de 2018.

L'évolution de la répartition en 103 classes est aussi effectuée sur la base des heatmaps présentées dans l'article de Vogt et al. (2024).

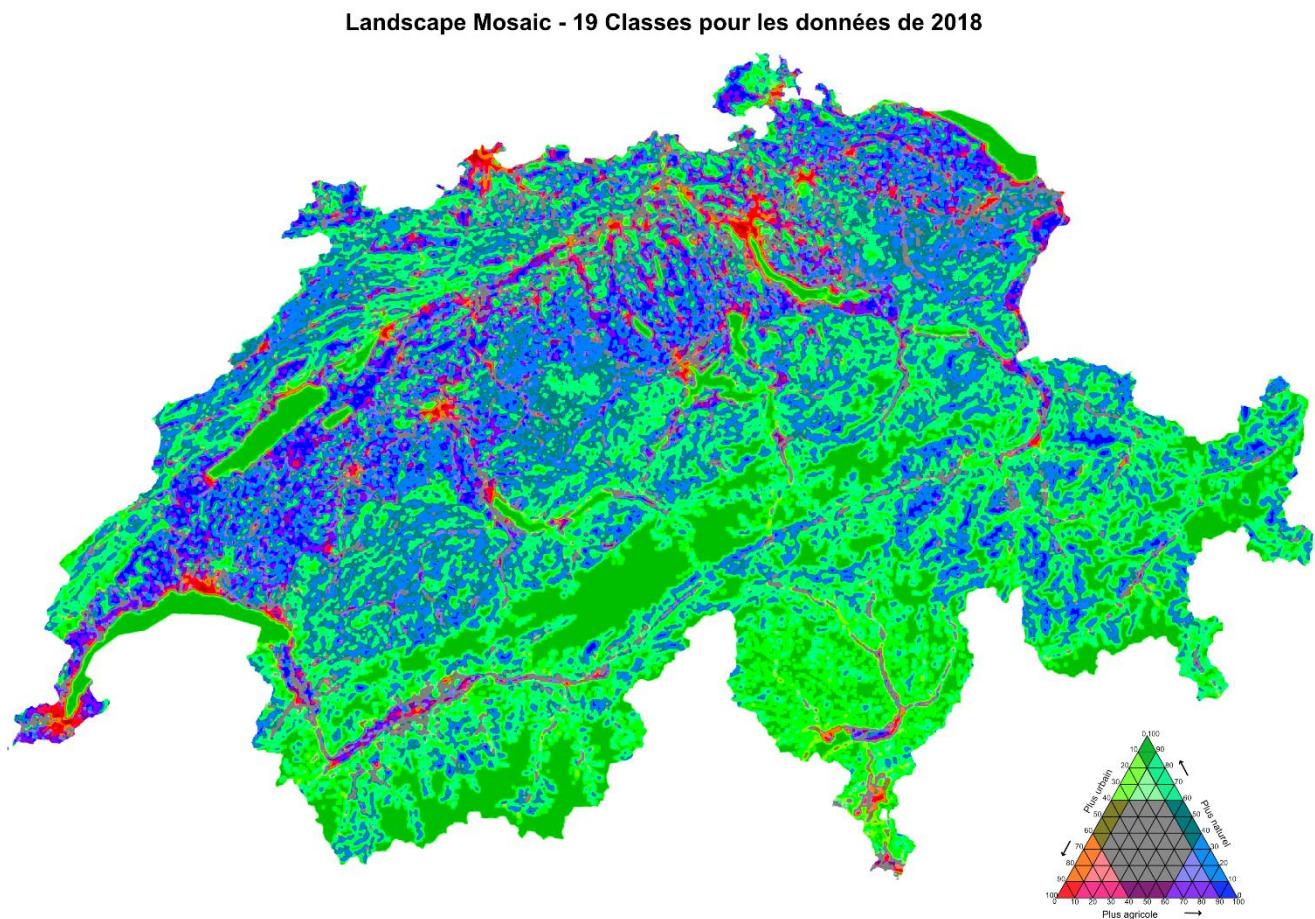
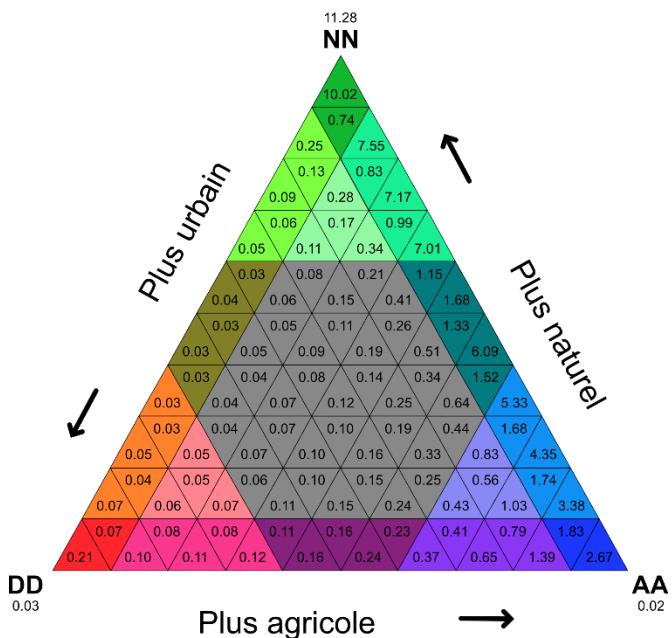


Figure 5 Résultats de la classification en 19 classes pour les données de 1985



Cette carte de 1985, représente la distribution du landscape mosaic en 19 classes. Comme illustré sur le diagramme à gauche, les classes les plus fréquentes se trouvent dans NN et N avec respectivement 11.28 % et 10.02 % d'occurrences. Ces classes correspondent en grande partie à des lacs et des milieux alpins où les activités humaines sont limitées. Elles sont suffisamment étendues pour conserver un relativement haut niveau d'homogénéité.

Ce n'est pas le cas des catégories urbaines et agricoles. Ces dernières sont beaucoup plus fréquemment « imbriquées » les unes aux autres.

Les milieux développés représentent une petite proportion du territoire. Pour les données de 1985, environ 6% de la surface du territoire correspond à de l'habitat et des infrastructures (Biedermann et al., 2021).

Les tissus urbains sont souvent contigus à eux même (DD) ou à des surfaces agricoles (Da et da). Les mélanges avec les milieux naturels (Dn et dn) existent également mais sont moins fréquents.

Pour le pôle agricole, les interfaces avec les milieux naturels sont assez fortement représentées. Cela s'observe à travers les occurrences des classes An et an. An semble être observable à l'extrémité de villes tandis que an correspond souvent à des petits villages ruraux.

Finalement, la catégorie adn n'est pas en reste. Elle s'observe principalement autour de villes de tailles relativement importantes et dans des contextes de bordures d'agglomération.

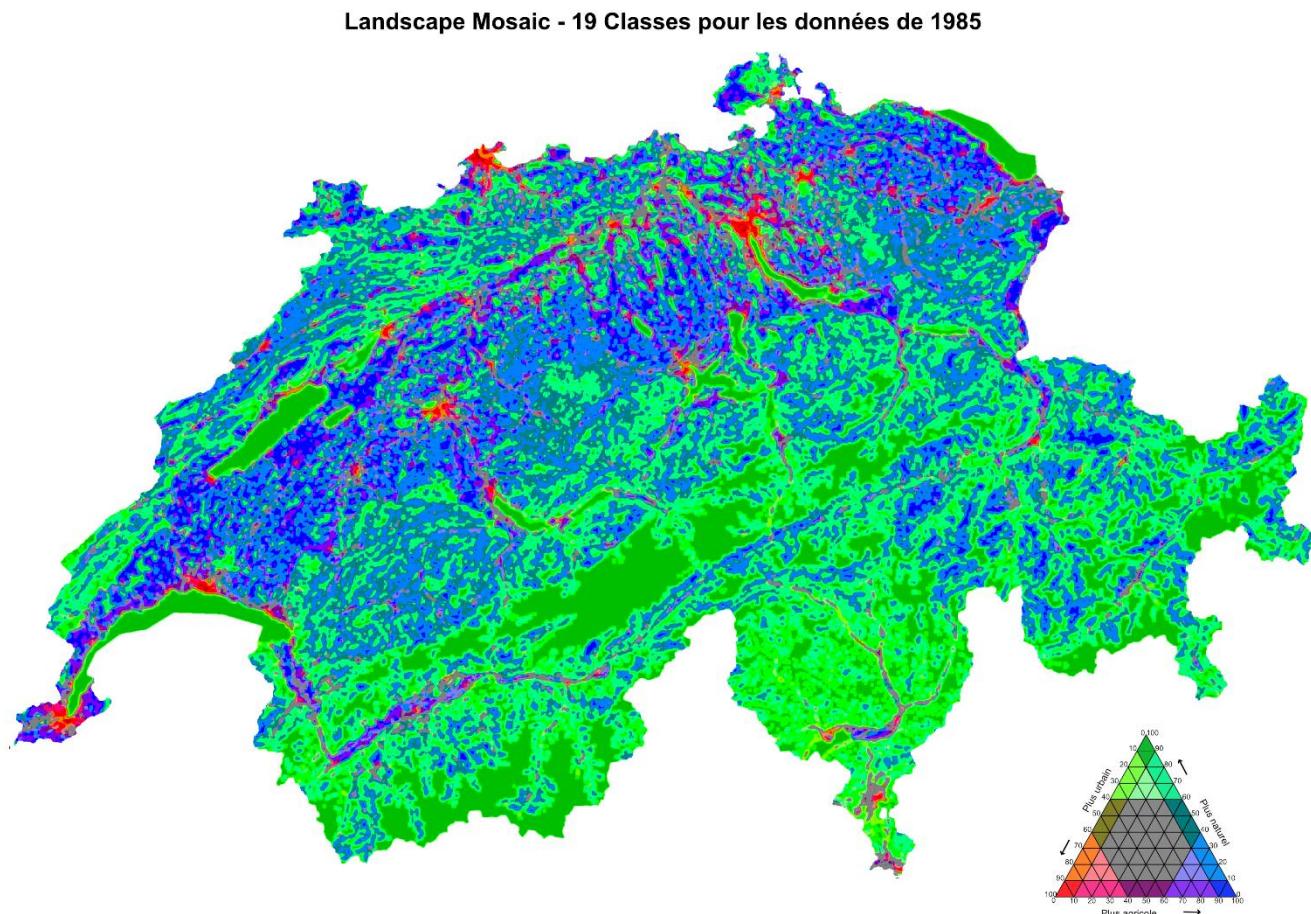
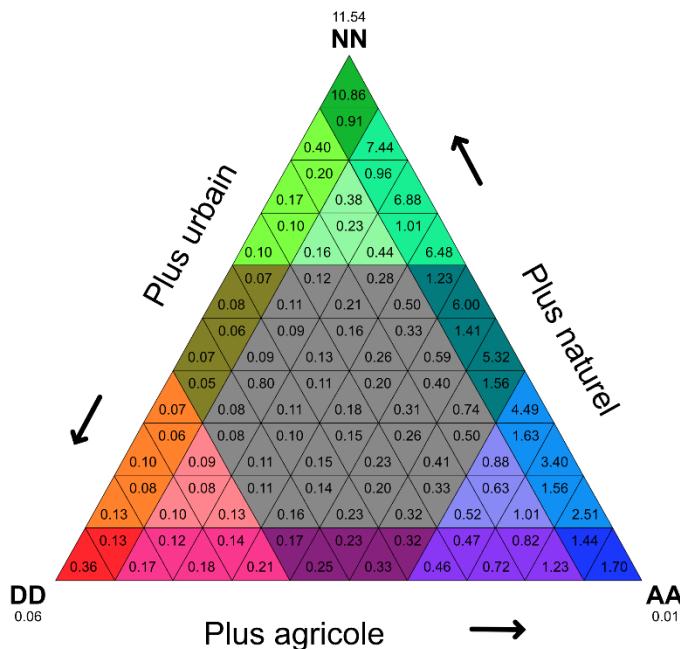


Figure 6 Résultats de la classification en 19 classes pour les données de 2018



A première vue, quelques changements sont déjà observables entre la carte de 1985 et celle de 2018. Les zones développées se sont expandées sur les milieux agricoles.

De plus dans les alpes, les milieux agricoles tendent à se réduire au profit de ceux naturels.

Les statistiques suivantes permettront d'aborder ces évolutions avec plus de précision.

Catégorie	Données de 1985	Données de 2018	Evolution [%]
15 - dn	6411	13332	108
6 - Dn	8917	17856	100,2
19 - DD	1302	2521	93,6
11 - Dan	9105	16493	81,1
2 - D	11408	20146	76,6
7 - Da	20090	33616	67,3
9 - Nd	23676	39579	67,2
13 - ad	36826	53606	45,6
12 - Nad	36381	49108	35
16 - adn	260728	348929	33,8
3 - N	436733	478414	9,5
10 - Adn	115574	126287	9,3
4 - Ad	146112	151018	3,4
17 - NN	457953	468659	2,3
8 - Na	956222	928871	-2,9
14 - an	680605	630481	-7,4
5 - An	669444	554574	-17,2
1 - A	182817	127602	-30,2
18 - AA	750	336	-55,2
0	69073	68699	-0,5

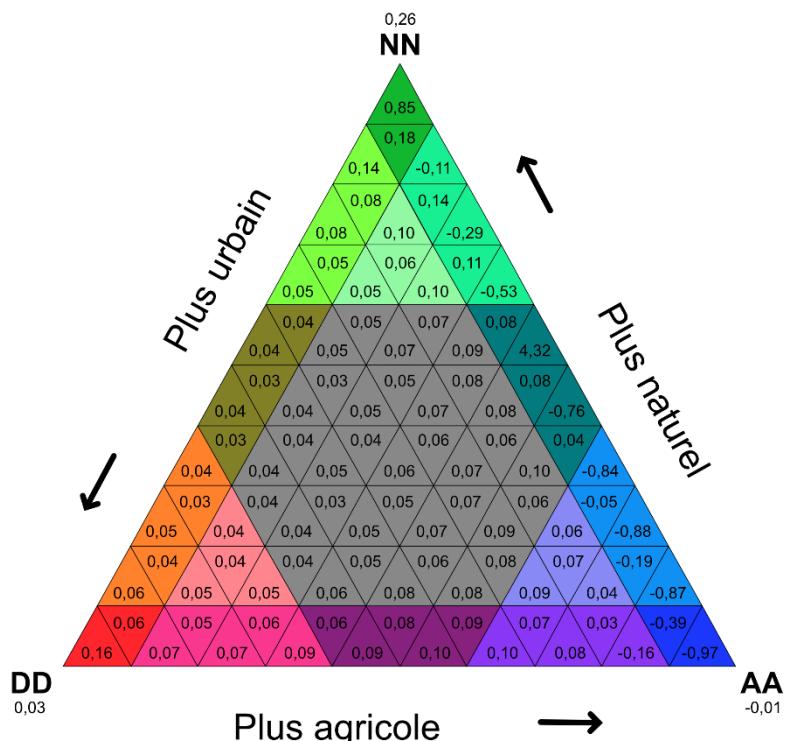
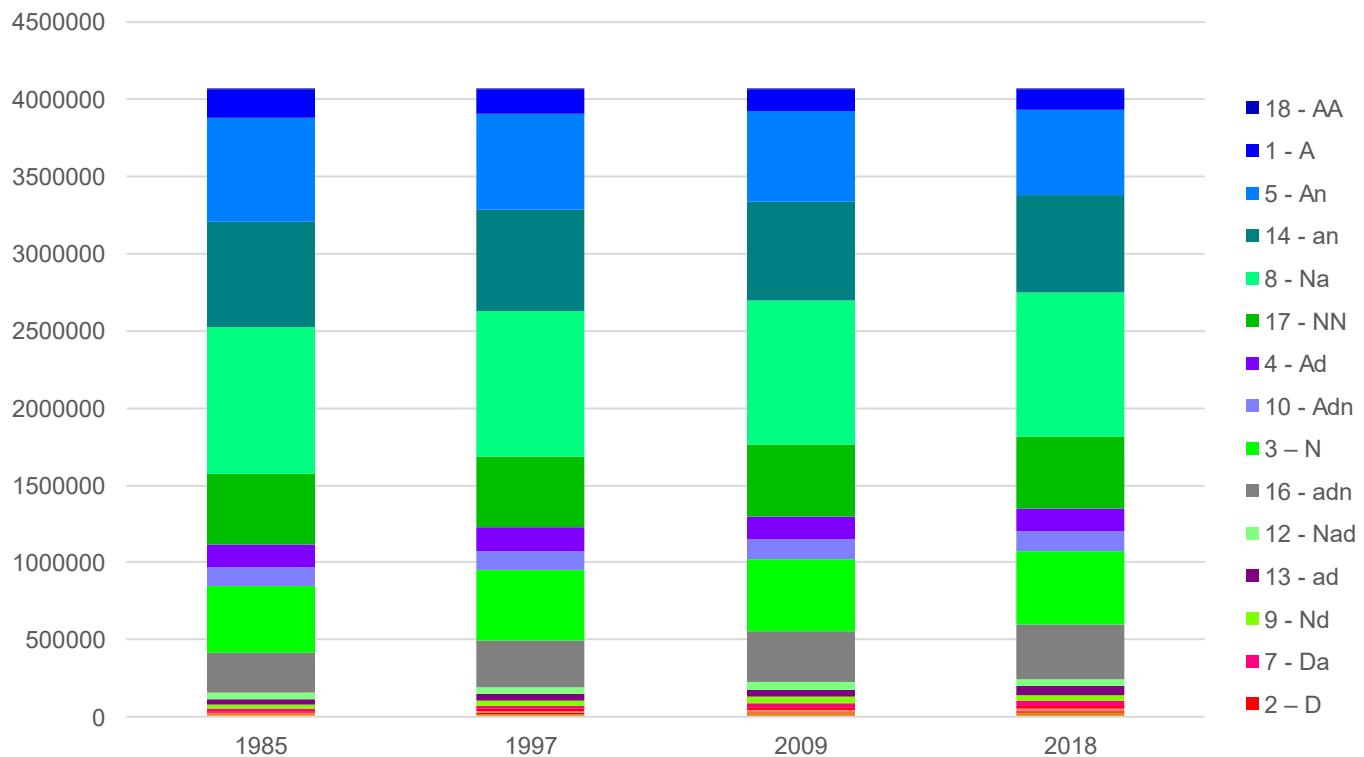


Figure 7 Evolution pour les 19 classes et heatmap de la différence des résultats de 1985 et 2018

Evolution de la répartition en 19 classes



L'évolution des données de 1985 et 2018 indique que les catégories avec le plus fort taux de croissance sont dn, Dn, DD, Dan, D et Da. La croissance de dn souligne une tendance à l'augmentation des hybridations entre les milieux naturels et urbains. Quant à Dn, DD, Dan et D possède tous une dominance de milieux urbains dans leur composition. Cela renseigne un développement de ce pôle. DD et D auraient tendance à indiquer une croissance urbaine « homogène » au sein de tissus déjà urbains. Ce phénomène tendrait donc vers une limitation du mitage du territoire. A l'inverse, l'augmentation de la part de Dn et Dan nous indique plutôt des extensions des limites de l'urbanisation et/ou des morcellements avec des espaces naturels et/ou agricoles. Il faudrait cependant analyser cela de manière temporellement et spatialement plus fine pour affirmer une telle conclusion car peut-être que les croissances de DD et D vont de pair avec Dn et Dan. Ainsi, le mitage n'est pas réduit. Dans ce cas la limite urbaine ne fait que s'étendre davantage.

Bien qu'en pourcentage de croissance, le pôle urbain ressorte nettement, il ne faut pas oublier que dans l'absolu, le pôle agricole subit d'importantes évolutions. En effet, les catégories AA et A – correspondant à une forte dominance et homogénéité du milieu agricole - se sont réduites de respectivement -55% et -30% entre les données de 1985 et celles de 2018. De manière moins prononcée mais tout de même observable, les catégories d'hybridation entre les milieux agricoles et naturels tendent à se réduire.

Pour le pôle naturel, les catégories à forte dominance naturelle, à savoir NN et N, ont tendance à légèrement augmenter. Pas toutes les évolutions majeures qui affectent ce pôle se traduisent dans cette statistique. Par exemple, la fonte des glaciers n'est pas perceptible dans le landscape mosaic, car les couvertures du sol avant est après la fonte correspondent dans les deux cas à des objets classés en « naturel » dans la première étape du landscape mosaic. Cette augmentation des catégories NN et N s'explique probablement en grande partie par une expansion des forêts sur la zone agricole suite à l'abandon de cette dernière.

La catégorie adn, la plus hybride, croît également à hauteur de + 33% entre les données de 1985 et 2018.

Les cartes et analyses suivantes permettront de mieux appréhender les contextes dans lesquels ces évolutions ont lieu.

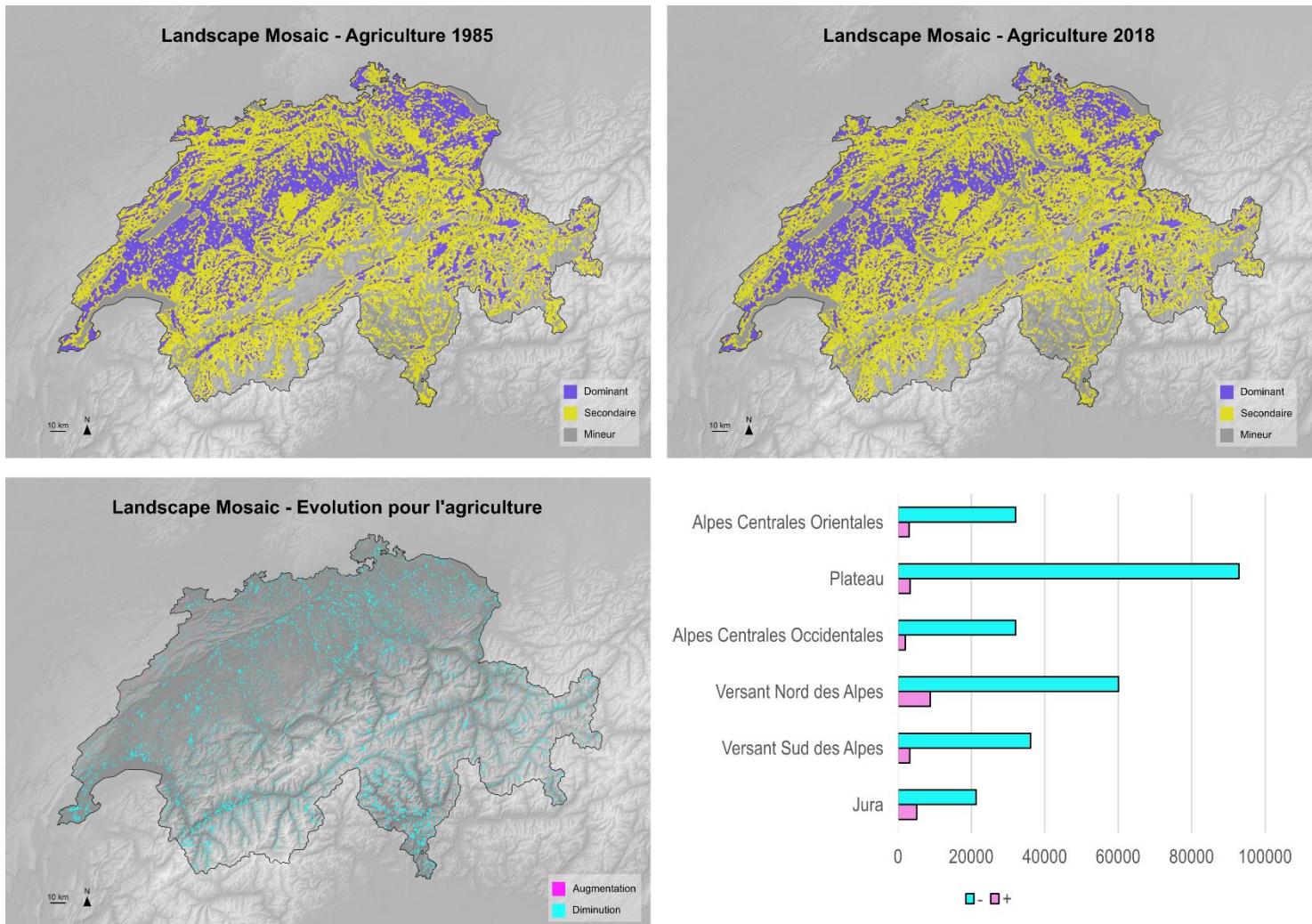
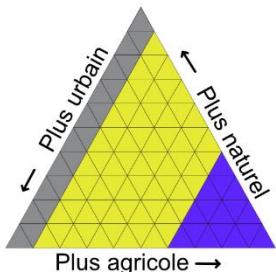


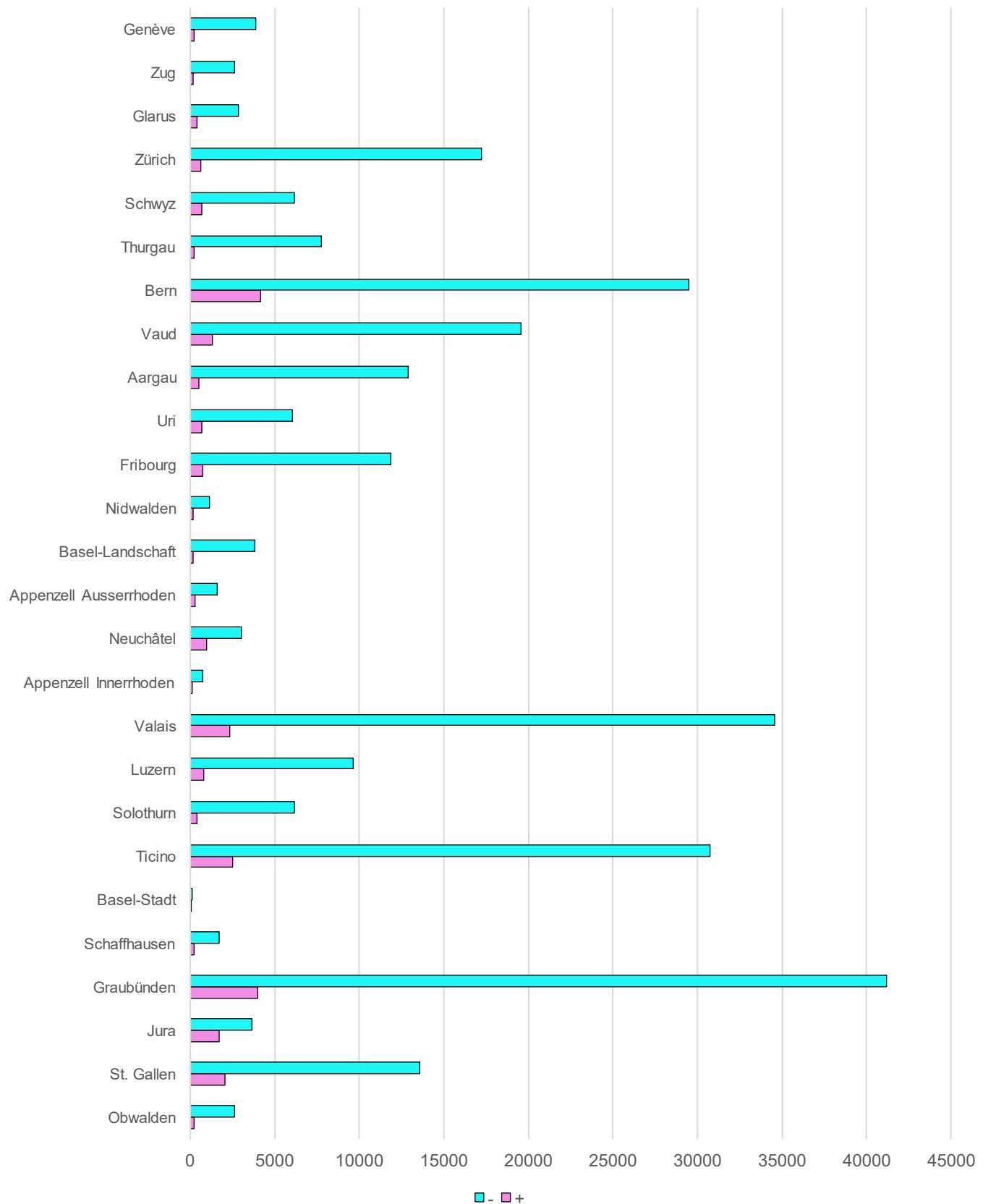
Figure 8 Résultats pour l'intensité agricole



Pour cette partie, l'accent est mis sur les proportions de surfaces agricoles dans chacune des 103 classes du landscape mosaic. Les catégories représentées sur les cartes de 1985 et 2018 correspondent à moins de 10% d'agricole (mineur) entre 10 et 60% d'agricole (secondaire) et plus de 60% d'agricole. Les deux premières cartes ont ensuite été soustraite l'une à l'autre pour mettre en lumière les évolutions

Les catégories agricoles évoluent très majoritairement vers la diminution. Cette évolution se manifeste surtout sur le plateau et autour des limites urbaines. Cela va dans le même sens que les conclusions du rapport de Biedermann et al. (2021) indiquant que 90% des nouvelles surface d'habititations se sont faites sur des terres agricoles. Sur la base du graphique ci-dessous, les cantons les plus concernés sont les Grisons, Valais, Tessin et Berne. Cependant ces résultats sont à considérer avec prudence en tenant compte du fait que ces cantons font partie des plus grands en superficie. Une fois normalisés par leur surface, les cantons avec la plus grande diminution de leur part agricole sont Genève, le Tessin, Zoug et Zürich. Les cantons de Zürich, Genève et Zoug sont soumis à une forte croissance démographique amplifiant l'urbanisation et par conséquent la pression sur les terres agricoles. Si ce phénomène s'observe majoritairement dans les cantons de Genève, du Tessin et de Zoug, c'est peut-être car leur urbanisation est plus contrainte par la topographie et/ou la taille limitée de leur canton

Evolution par canton - Argriculture



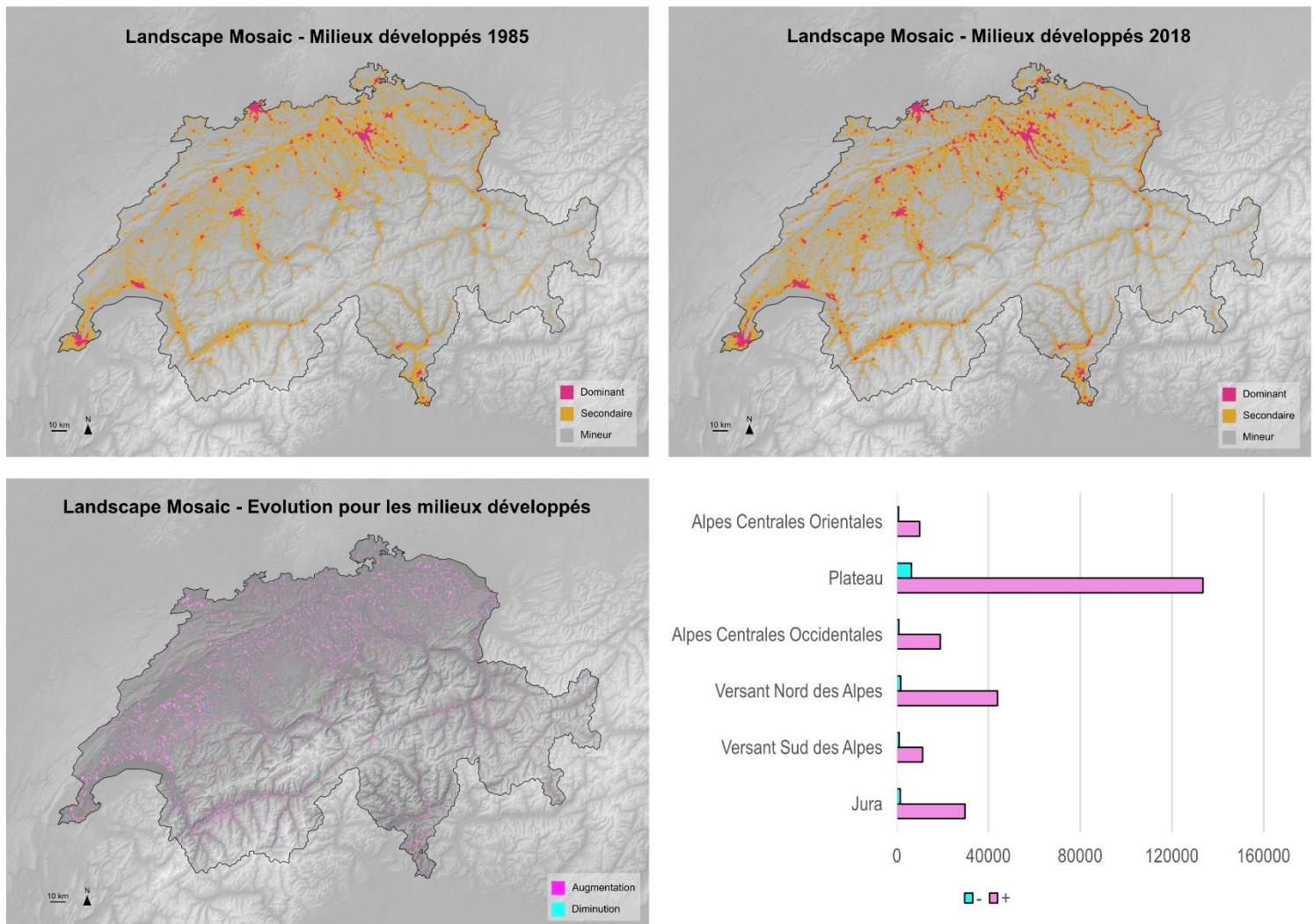
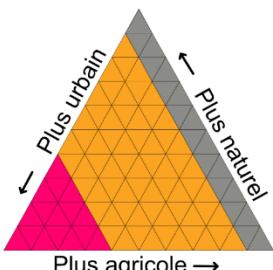


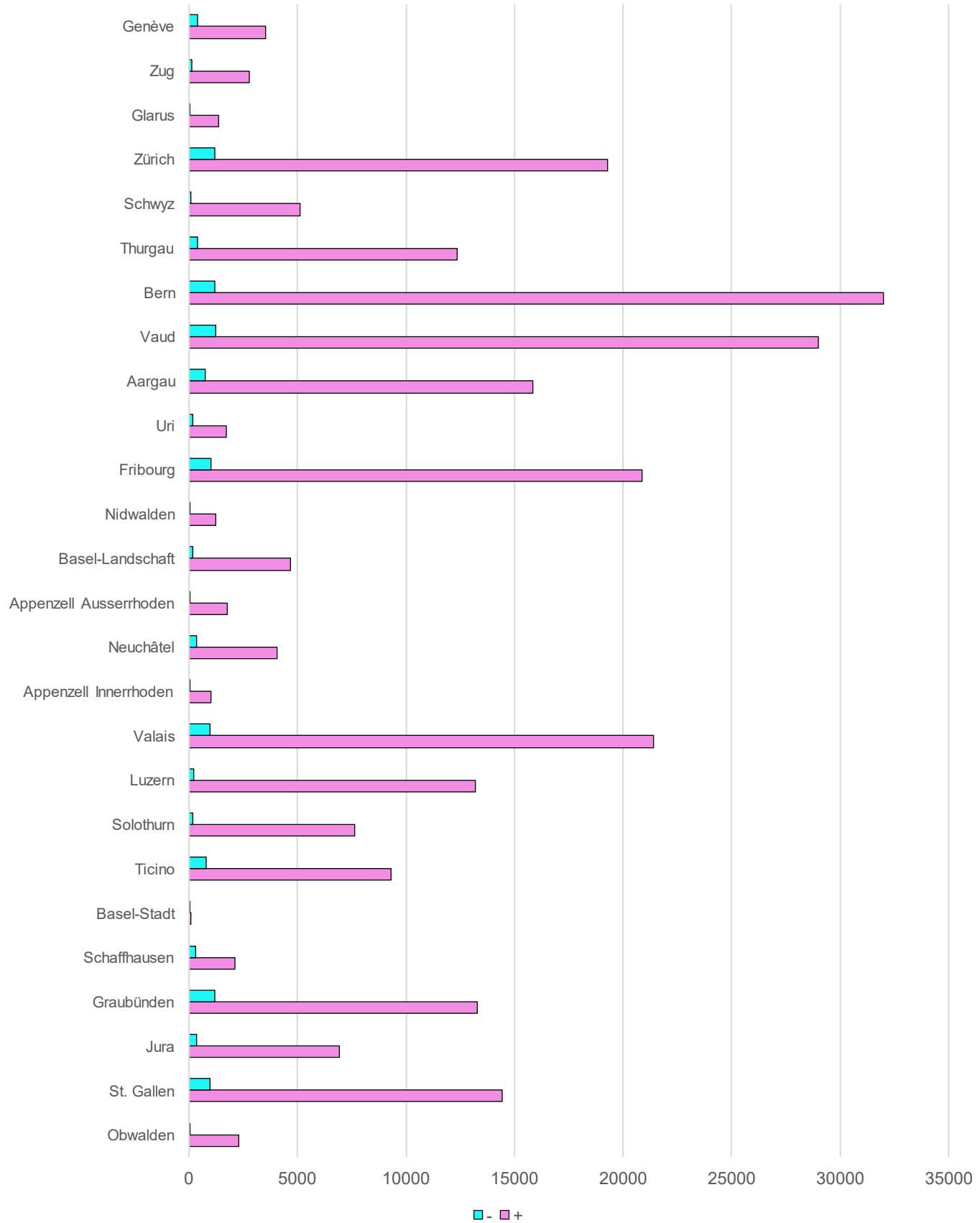
Figure 9 Résultats pour l'intensité urbaine



Pour cette partie, l'accent est mis sur les proportions de surfaces urbaine dans chacune des 103 classes du landscape mosaic. Les catégories représentées sur les cartes de 1985 et 2018 correspondent à moins de 10% d'urbain (mineur) entre 10 et 60% d'urbain (secondaire) et plus de 60% d'urbain. Les deux premières cartes ont ensuite été soustraite l'une à l'autre pour mettre en lumière les évolutions.

Du côté des milieux développés, une augmentation considérable est à constater. L'urbanisation a en très grande partie lieu sur le plateau, bien qu'elle soit également observable dans une moindre mesure dans d'autres contextes, notamment celui du versant Nord des Alpes et du Jura. Les cantons les plus touchés par ce phénomène sont Berne, Vaud, Fribourg, le Valais et Zürich. Encore une fois, ces derniers correspondent à des cantons particulièrement grands. Il est de fait, à nouveau intéressant de regarder également ces résultats au regard de la taille de chaque canton. Rapporté à la surface du canton, ce sont Fribourg, Genève, la Thurgovie, Zoug, l'Argovie et Zürich qui arrivent en tête. Genève, Zurich et Zoug se retrouvent à nouveau en tête, confirmant la pression de l'urbanisation sur les terres agricoles.

Evolution par canton - Milieu urbain



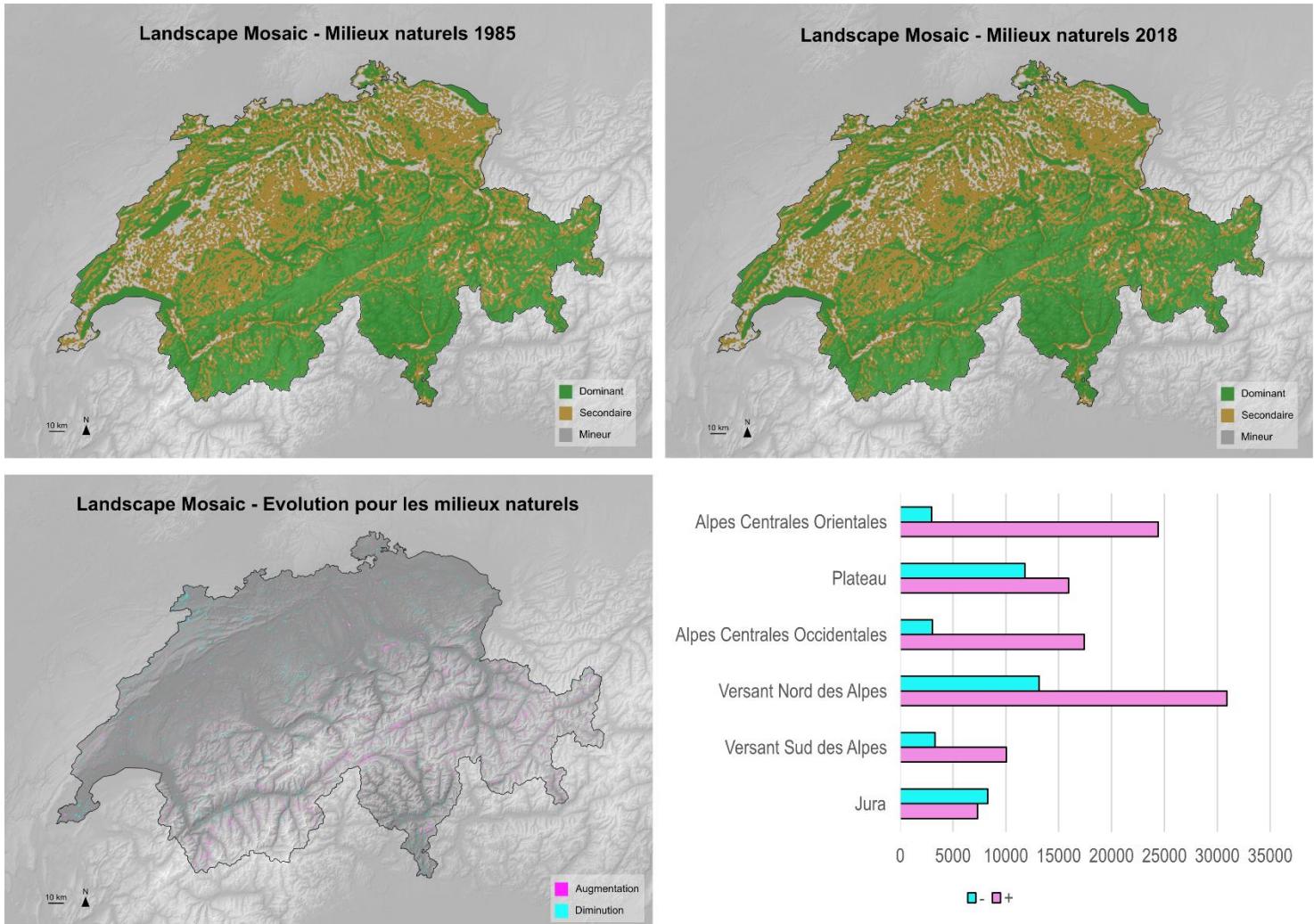
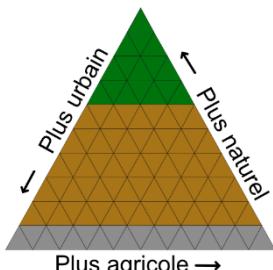


Figure 10 Résultats pour l'intensité naturelle

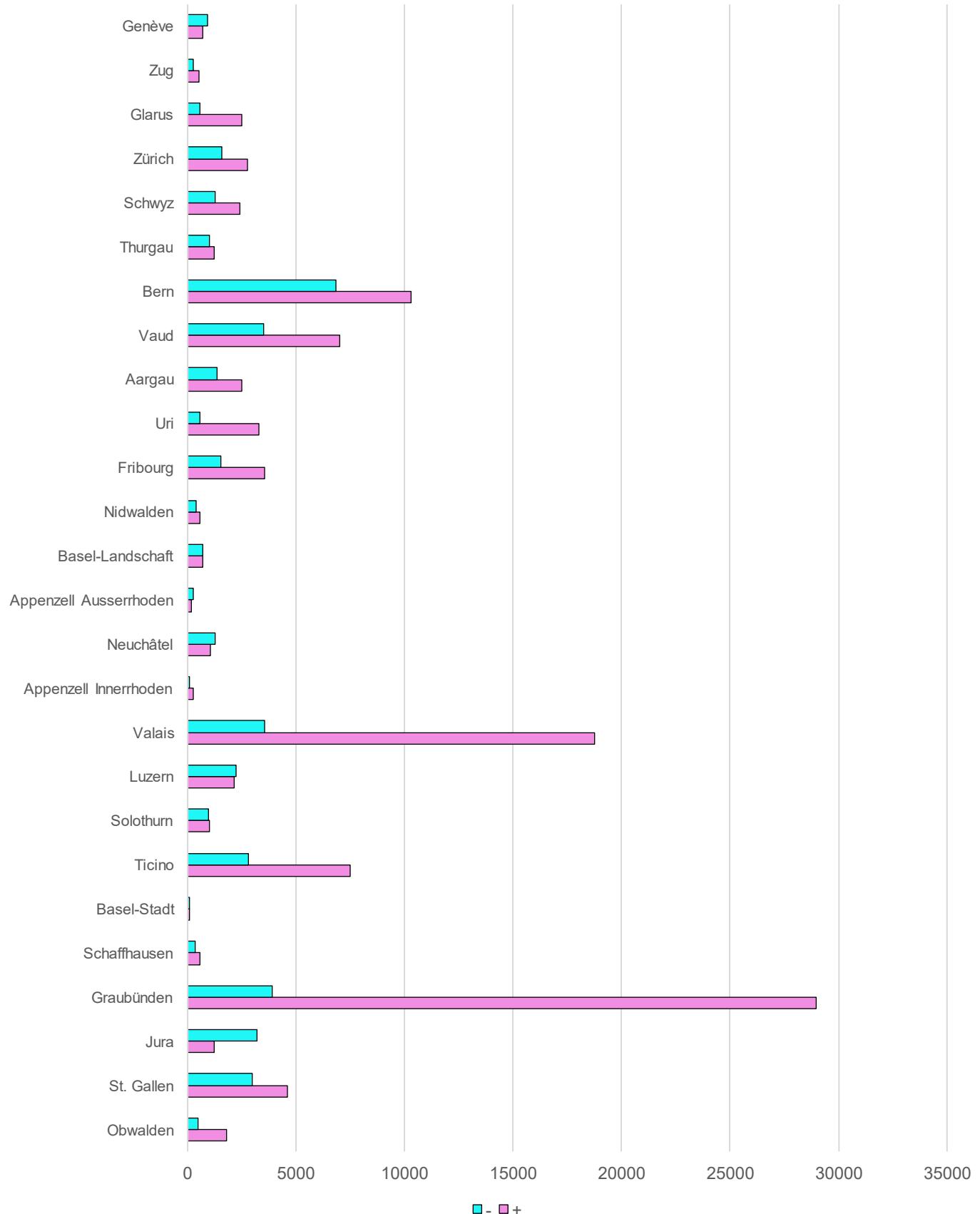


Pour cette partie, l'accent est mis sur les proportions de surfaces naturelles dans chacune des 103 classes du landscape mosaic. Les catégories représentées sur les cartes de 1985 et 2018 correspondent à moins de 10% de naturel (mineur) entre 10 et 60% de naturel (secondaire) et plus de 60% de naturel. Les deux premières cartes ont ensuite été soustraite l'une à l'autre pour mettre en lumière les évolutions.

Pour les milieux naturels, la tendance est plus contrastée que pour les autres catégories. Dans les milieux et cantons alpins, cette catégorie présente plutôt une tendance à l'expansion. Ce phénomène est peut-être attribuable à un étalement de la forêt aux dépens des pâturages. Le rapport de l'OFS donne des éléments allant dans ce sens. 30% des surfaces agricoles perdues se feraient au profit de surface boisées (Biedermann et al., 2021).

Pour le plateau et le jura, les résultats sont contrastés. Des diminutions et augmentations du « pôle » naturel ont lieu plus ou moins simultanément. Il serait intéressant de mener une analyse plus fine pour mieux comprendre quels types de milieux naturels se développent et lesquels, à l'inverse, disparaissent.

Evolution par canton - Nature



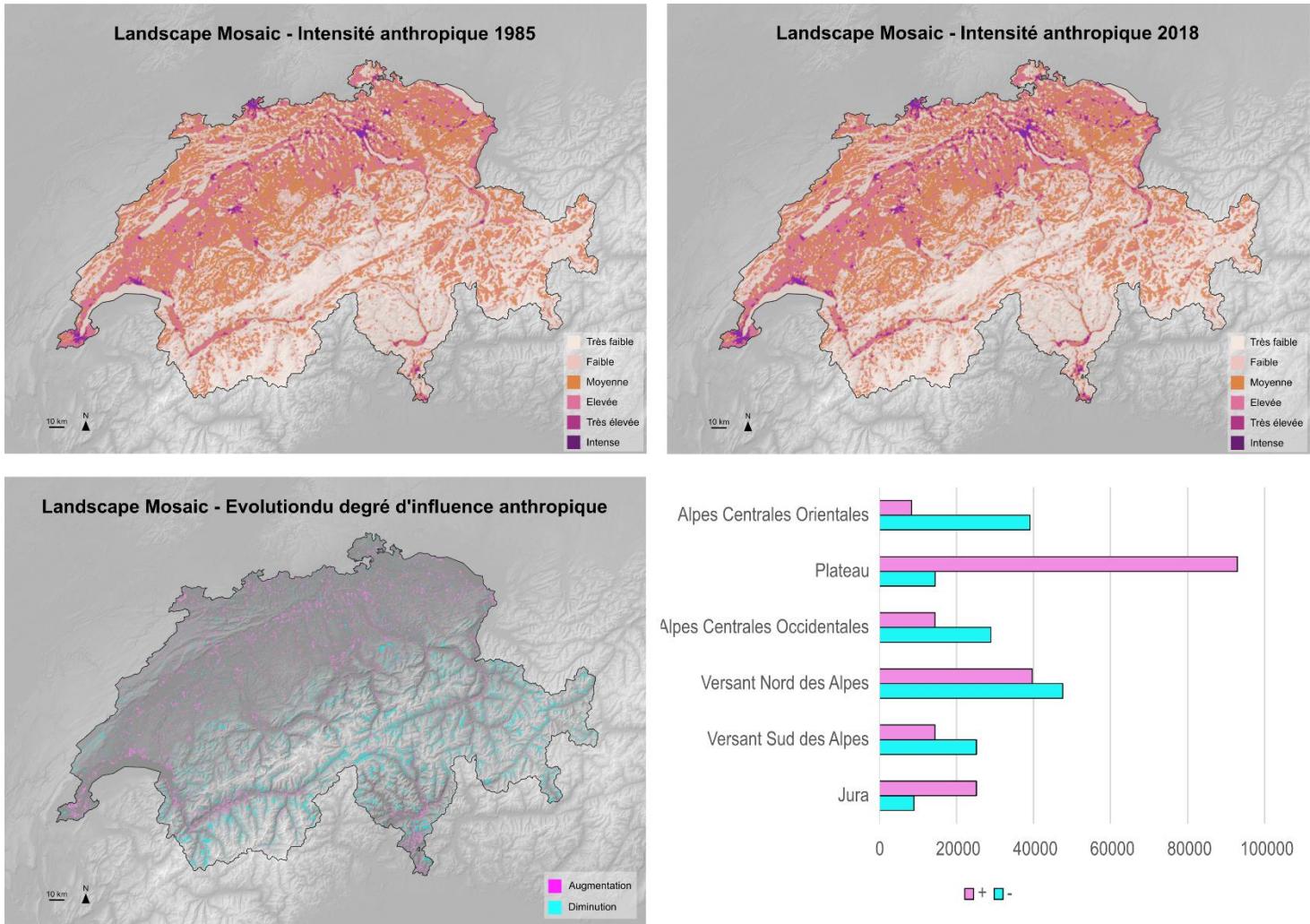
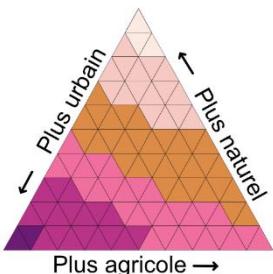


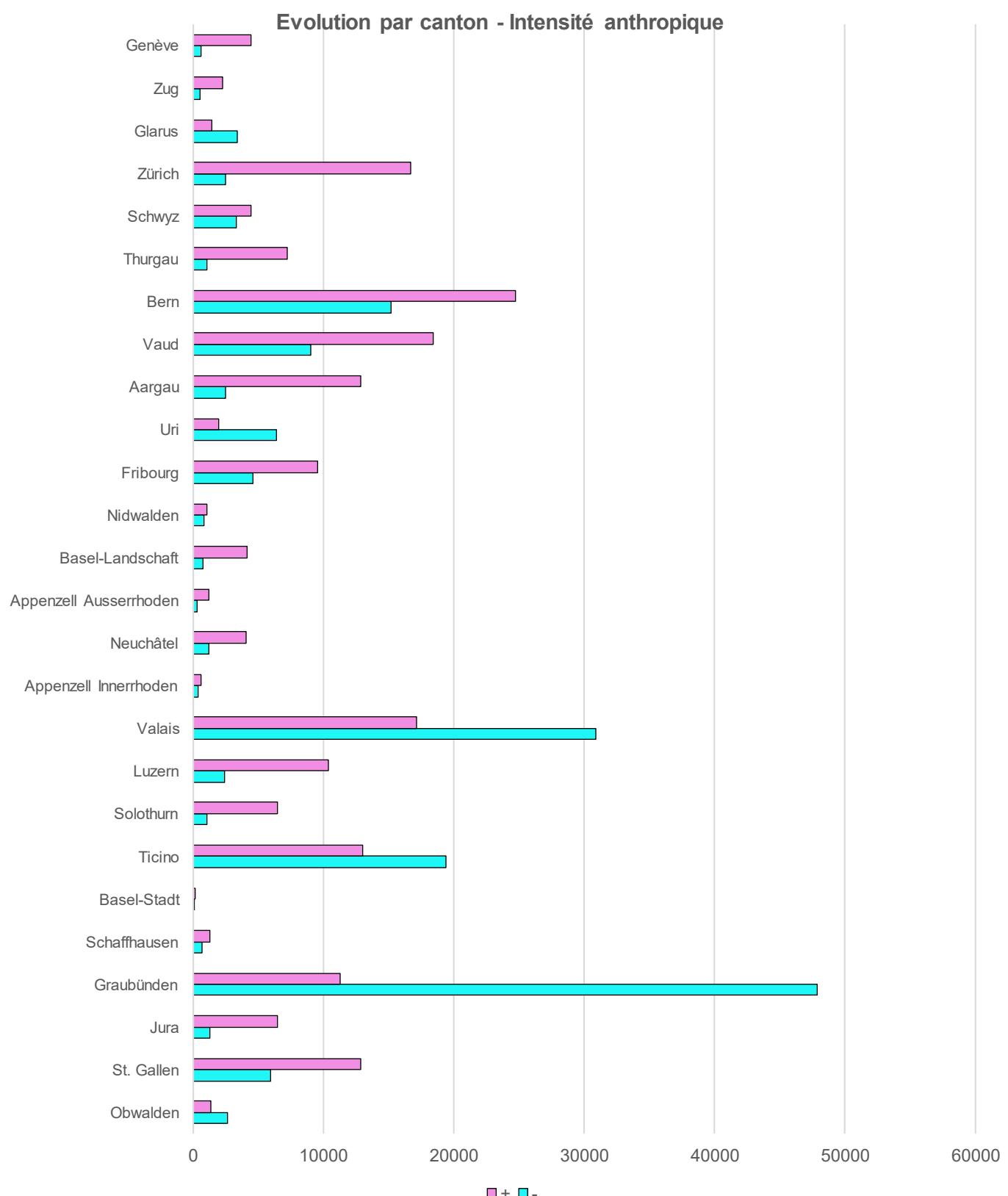
Figure 11 Résultats pour l'intensité anthropique



L'intensité anthropique est calculée selon l'intensité des axes agricole et urbain. Ce dernier a un poids plus important que le premier dans cette classification.

Entre les données de 1985 et celles de 2018, l'intensité anthropique a principalement augmenté sur le plateau et dans les fonds de vallées urbanisés. Ces résultats sont cohérents avec ceux de l'intensité urbaine, majoritairement prononcée dans ces espaces. L'urbain étant plus fortement « pondéré » que l'agricole, la perte de ce dernier au profit de l'urbain, contribue à faire augmenter l'intensité anthropique sur le plateau.

A l'inverse, en altitude, l'intensité anthropique a plutôt tendance à décliner. Cela est cohérent avec les données recul de l'agriculture au profit de la forêt. Cela s'explique probablement par un délaissement de parcelles agricoles en pentes, plus difficiles à exploiter.



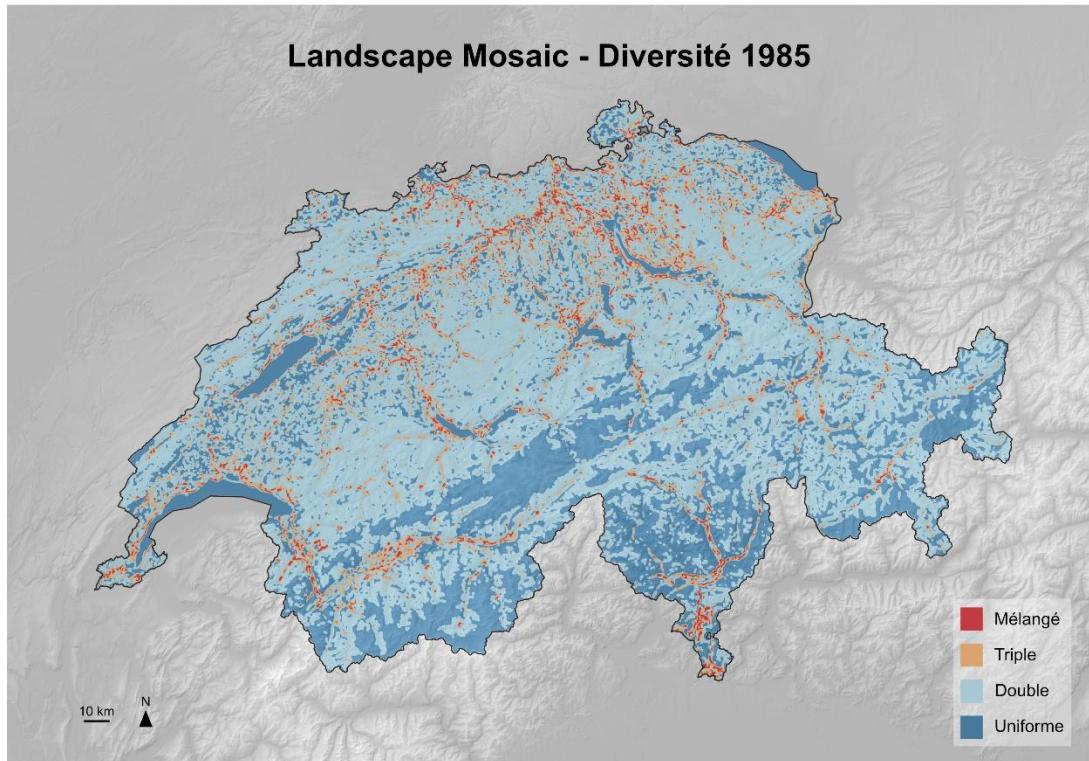
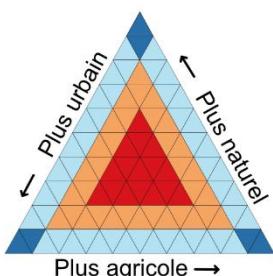
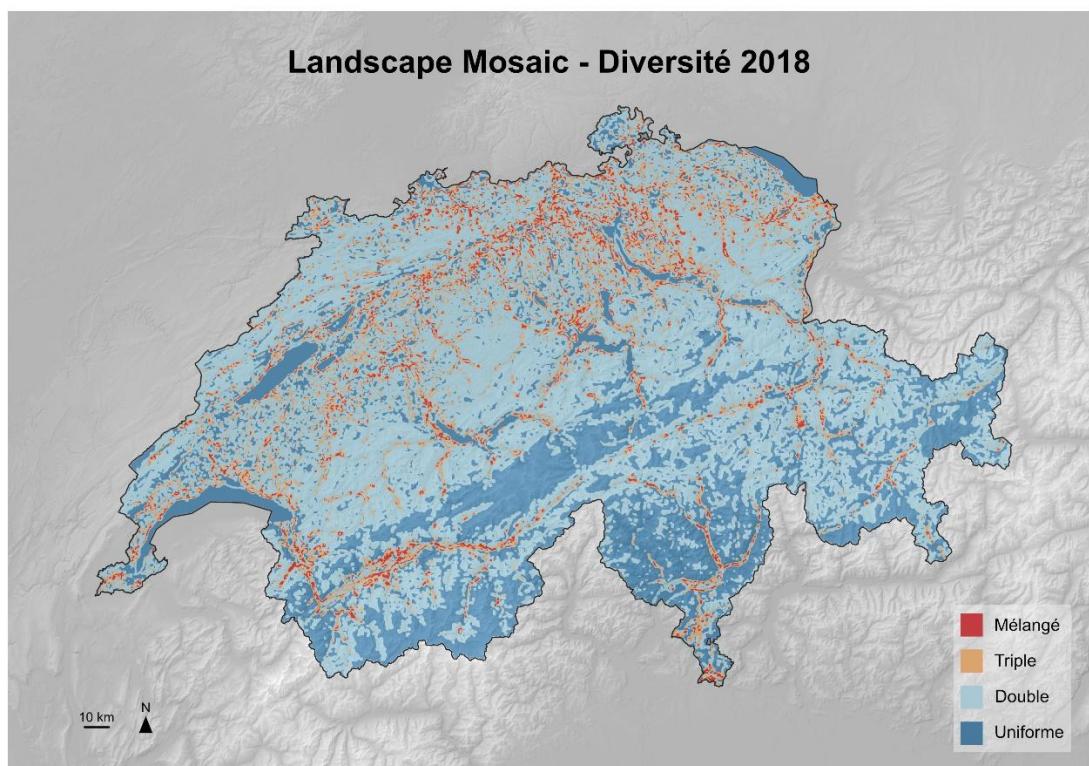


Figure 12 Résultats du degré de diversité pour 1985 et 2018



La mesure de diversité correspond au degré d'hétérogénéité entre les trois classes de base. Plus un pixel a une valeur se trouvant proche du centre du diagramme ternaire, plus il est mélangé. A l'inverse les pointes du triangle correspondent au degré minimal de diversité.

Les cartes indiquent que les plus hauts degrés de diversité se trouvent vers les bordures urbaines. Généralement ces dernières sont au moins composées de catégories urbaines et agricoles. Parfois des éléments naturels comme des lacs ou des forêts s'ajoutent au mélange.

Les zones de forte diversité se sont déplacées avec le temps. Cela s'explique par l'expansion des limites urbaines. Les nouvelles zones urbanisées sont devenues homogènes comparativement à leur état antérieur de frange. Ces dernières sont repoussées mais ne disparaissent pas pour autant.

Sur l'ensemble de la Suisse les catégories « triple » et « mélangée » ont tendance à croître. Elles ont gagné respectivement 25% et 41% entre les données de 1985 et 2018. Cette croissance se fait aux dépends de la catégorie double qui elle a perdu 5% de sa surface. Les catégories « uniforme » et « double » sont quant-à-elles restées stables. Ces résultats indiquent une tendance à l'augmentation de la fragmentation du paysage.

Discussion :

Des analyses de la couvertures terrestres ont déjà été réalisées à plusieurs reprises notamment par Thomas et Giuliani (2023) ou dans le cadre de rapports officiels comme celui de Biedermann et al., (2021). Peu de résultats réellement inédits sortent de cette analyse, dans la mesure où les évolutions de l'urbanisation et des surfaces forestières au détriment de l'agriculture sont déjà connues. Le landsacpe mosaic permet néanmoins de mieux identifier les zones de franges entre catégories et de mesurer l'évolution de la fragmentation et de la continuité des milieux. Pour ces raisons, il peut faire office de bon outil de monitoring des stratégies d'urbanisation. Il comporte néanmoins plusieurs limites qui seront abordées dans cette partie.

Premièrement et de manière assez évidente, les résultats de cet outil sont dépendants de la qualité des données en input. Une mauvaise fiabilité de la couche de couverture du sol, une résolution insuffisante ou une mise à jour trop peu fréquente restreignent la pertinence des informations qui peuvent être tirées de ce modèle. Dans notre cas, les données fournies par l'OFS ont l'avantage d'être fiables étant donné qu'elles sont classifiées pixel par pixel par des humains. Le principal frein se trouve au niveau de la fréquence des « mise à jour ». En effet, les données de l'OFS prennent jusqu'à 12 ans pour être mise à jour (de 1985 à 1997). Seules des évolutions sur un temps assez long sont, de fait, observables. De plus, la récolte et analyses des données de l'OFS peut prendre jusqu'à 5 ans pour être réalisée. Les cartes de couverture du sol ne donnent donc pas une image de la situation pour un temps unique et précis. Cette lenteur pour la création des données d'input peut peut-être mener à la sur- ou sous-estimation de certains phénomènes selon si les données ont été récoltées pour le lieu en question en début ou en fin de mission.

En terme spatial, deux facteurs influencent les résultats. D'une part, la résolution des données en input, d'autre part, la paramétrisation de la moving window du modèle.

Du côté de la résolution d'input, les données à l'hectare sont parfois insuffisantes pour faire ressortir pleinement les petits objets ponctuels ou ceux linéaires trop fins. Par exemple, certaines routes en milieu agricole et naturel passent partiellement sous le radar. Dans certains cas, seuls certains tronçons touchent les points d'échantillonnage, alors que d'autres ne figurent pas sur la carte. La fragmentation du paysage est de fait probablement un peu sous-estimée.

Du côté des choix de paramètres, la résolution de la moving window conditionne largement les résultats du modèle. En effet, les espaces d'interfaces s'épaissent à mesure que l'échelle devient plus large (Vogt et al., 2020). De plus, les couches dominantes varient selon la résolution adoptées (Vogt, 2024). La pertinence du choix de l'échelle dépend des paramètres que l'on souhaite analyser. Avec plus de temps à disposition, il aurait été intéressant de tester d'autres résolutions pour en tester les effets à l'échelle suisse.

Une autre limite du landscape mosaic est l'absence de dimension qualitative au traitement des données. Au sein même d'une des trois catégories de base du landscape mosaic, de grands écarts en termes notamment de qualité écologique existent. Par exemple, un alpage sera dans notre cas, considéré par le modèle de la même manière qu'une terre arable en mono-culture. De plus certains changements considérés significatifs comme le recul des glaciers (Thomas et Giuliani, 2023 ; Biedermann et al., 2021) n'apparaissent pas du tout à travers cet outil car les glaciers et les sols nus sont les deux reclassés en « naturel ». Par conséquent, le landscape mosaic sous-estime peut-être les ampleurs de certaines fragmentations. Pour ces raisons, cet outil ne se suffit pas à lui-même. Il est intéressant de croiser ses résultats avec d'autres données, notamment sur la qualité des écosystèmes (Vogt et al., 2020).

Un autre moyen de contourner les problèmes mentionnés ci-dessous serait de choisir une autre classification de départ. Nous avons opté pour un découpage en « naturel », « agricole » et « urbain ». Cependant toute autre catégorisation en trois parties est envisageable (Vogt et al., 2020). Selon ce que l'on souhaite mesurer et à condition de disposer des données nécessaires, il est possible de se réapproprier l'outil de diverses manières. Par exemple pour limiter la dichotomie nature et culture suggérée par la classification de base, une catégorisation selon le degré d'artificialisation du sol (avec des catégories « imperméabilisé », « exploitée » ou « libre ») pourrait être envisagée.

Conclusion :

En conclusion, le modèle du landscape mosaic est un outil intéressant à l'échelle suisse pour analyser les dynamiques d'évolutions paysagères. Il permet d'apporter un nouvel éclairage sur les données de couverture terrestre. Les évolutions des franges sont particulièrement mises en avant grâce à cet outil. Son aspect géométrique est intéressant pour mesurer la fragmentation. Le landscape mosaic est efficace pour visibiliser la diminution des surfaces agricoles au profit de l'urbanisation et des espaces naturels. Cette méthode est également pertinente pour renseigner les contextes de ces changements.

Comme toute méthode, elle n'est pas pour autant exempte de défauts. Pour approfondir les analyses et contourner certaines limitations, plusieurs pistes d'améliorations sont exploitables :

Premièrement, une analyse avec des données plus fines et mieux actualisées, à l'image de ce qui est proposé dans l'article de Thomas et Giuliani (2023) pourrait donner des résultats plus fins.

Une variation de résolution notamment pour effectuer une analyse mieux adaptée pour chaque catégorie entrante serait également intéressante. Par exemple, pour observer les phénomènes urbains, une résolution plus petite pourrait permettre mieux faire apparaître l'étendue des zones des zones d'interfaces (Vogt et al., 2024).

Le croisement avec des données qualitatives est également nécessaire pour ajouter de la profondeur aux outputs du landscape mosaic (Vogt et al., 2020 ; Giuliani, 2026).

Et finalement, puisque l'outil le permet (Vogt et al., 2020), tester d'autres compositions de catégories de base que le triptyque agriculture, nature et urbain serait une piste intéressante pour compléter les résultats obtenus.

Bibliographie :

Biedermann, F., Beyler, A., Douard, R., Jeannet, A., Willi-Tobler, L. & Weibel, F. (2021). L'utilisation du sol en Suisse - Résultats de la statistique de la superficie 2018. Office fédéral de la statistique (OFS).

Giuliani, G. (2026). PyLM: A Python Implementation for Landscape Mosaic Analysis. *Land*, 15(1), 187. <https://doi.org/10.3390/land15010187>

Thomas, I.N. & Giuliani, G. Exploring Switzerland's Land Cover Change Dynamics Using a National Statistical Survey. *Land* 2023, 12, 1386. <https://doi.org/10.3390/land12071386>

Riitters, K.H., Wickham, J.D. & Wade, T.G. (2009). An indicator of forest dynamics using a shifting landscape mosaic. *Ecological Indicators* 9:107-117. DOI: 10.1016/j.ecolind.2008.02.003.

Vogt, P. (2024). *The Landscape Mosaic*. European Commission, Joint Research Centre, Directorate D – Sustainable Resources, Bio-Economy Unit.

Vogt, P., Barredo, J., Zulian, G., Maes, J., & Caudullo, G. (2020). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment. EUR 30161 EN, Publications Office of the European Union, Ispra, 319-326. ISBN 978-92-76-17833- 0, doi:10.2760/757183, JRC120383

Vogt, P., Wickham, J., Barredo, J.I. & Riitters, K. (2024) Revisiting the Landscape Mosaic model. *PLoS ONE* 19(5): e0304215. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304215>

