

La population de Chamois (*Rupicapra rupicapra*) du Jura suisse est loin de sa capacité de charge et sur le point de décroître

Gauvain Saucy | Février 2021
Pro Natura Jura



MANUSCRIT SOUMIS POUR PUBLICATION À
VertigO - La revue électronique en sciences de l'environnement
LE 20 JUIN 2021

La population de Chamois (*Rupicapra rupicapra*) du Jura suisse est loin de sa capacité de charge et sur le point de décroître

Gauvain SAUCY, Pro Natura Jura

4 février 2021

Abstract

La présente étude investigate la situation de la population de chamois *Rupicapra rupicapra* dans le canton du Jura (Suisse) afin de mettre en lumière l'éventuelle distance entre la gestion actuelle de cette population et son équilibre naturel. De plus, la situation jurassienne de l'espèce est comparées à sa situation au niveau national. L'effectif jurassien de chamois est très éloigné de sa capacité de charge, et sa gestion actuelle est sur le point d'induire une décroissance dans cette population, comme en témoignent notamment les taux annuels de prélèvement supérieurs aux taux annuels de croissance. La gestion de la chasse contribue donc à l'écart de cette espèce avec son équilibre naturel, voire à son éloignement, et des mesures devraient être prises le plus tôt possible afin d'inverser la tendance.

Introduction

Des observations empiriques et opportunistes de chamois (*Rupicapra rupicapra*) dans le canton du Jura ont mené à des questionnements quant à la cohérence écologique de la situation actuelle de cette espèce dans le canton. Un rapport préliminaire établi par une biologiste mandatée par Pro Natura Jura a montré de grandes différences de gestion de la chasse du chamois entre les différents cantons de l'Arc jurassien notamment dans les taux de prélèvement et le nombre de jours de chasse ouverts (SURER, 2021). Lors de cette étude, les méthodes scientifiques sur lesquelles l'ENV se base afin d'établir la gestion de cette espèce n'ont pas pu être obtenues. L'objectif de ce présent rapport est donc d'approfondir les points soulevés par ce rapport préliminaire et pouvant cacher des paramètres impactant les populations de chamois du canton du Jura. Nous essayons de répondre aux interrogations suivantes : (i) quels sont les taux d'accroissement naturel, d'accroissement observé et de prélèvement par la chasse dans la population jurassienne de chamois ; (ii) à quelle distance de sa capacité de charge se trouve la population jurassienne de chamois ; (iii) quelle responsabilité le canton du Jura a-t-il pour cette espèce face à la situation et aux objectifs nationaux ? De plus, des précisions sur les méthodes employées dans la gestion de la chasse au chamois sont demandées à l'office responsable du canton du Jura, soit l'office cantonal de l'environnement (ENV). Finalement, le dernier objectif de ce rapport est d'amener une réflexion sur la gestion actuelle de la chasse dans le canton du Jura, notamment face au retour des superprédateurs.

Méthodes

Les données d'effectifs des populations ainsi que des effectifs tirés proviennent du site officiel de la confédération sur les statistiques de chasse (OFEV EEP, s.d.).

L'ensemble des calculs et des tests statistiques effectués

lors de cette étude ont été réalisés avec le programme RStudio (RStudio Team, 2020).

Taux de prélèvement et d'accroissement, sexe-ratios

Le taux de prélèvement (γ) est défini comme le rapport entre le nombre d'individus tirés et l'effectif total de la population ($\gamma = N(\text{tirés})/N(\text{total})$), où N est le nombre d'individus).

Le taux d'accroissement annuel, ou taux d'accroissement (λ) d'une population est défini comme le facteur par lequel la taille de la population augmente par an (SIBLY & HONE, 2002), autrement dit par le "nombre de jeunes ayant survécu au premier hiver, proportionnellement aux effectifs de printemps de l'année précédente" (Chasse Suisse & CSF, s.d.). On différencie le λ observé, basé sur les effectifs des populations seuls, et le λ naturel, défini comme le λ qui serait observé sans intervention humaine, soit $\lambda \text{ naturel} = \lambda \text{ observé} + \gamma$.

Les λ observé et naturel ont été calculés selon la relation $\lambda = (N(t) - N(t-1))/N(t-1)$ où N est l'effectif total de la population et t est l'année du recensement. L'ENV estime le λ cantonal à 15% (SURER, 2021). Puisqu'il n'a pas été possible d'obtenir la méthode utilisée pour établir cette valeur, nous calculons ce taux de deux manières différentes et en considérant plusieurs périodes, afin d'utiliser ultérieurement le λ résultant se rapprochant le plus de celui employé par le canton. Le λ moyen de la population jurassienne de chamois a donc été calculé pour les intervalles 1980–2019, 1990–2019, 2000–2019, 2009–2019 et 2014–2019, avec les deux méthodes suivantes : (i) en calculant la moyenne des λ individuels et (ii) en divisant le taux d'accroissement total de la période considérée par son nombre d'années. Nous nous y référons ci après avec les termes λ *moyen détaillé* (i) et λ *moyen global* (ii).

Les sexe-ratios des individus tirés sont issus des rapports annuels de l'exercice de la chasse (ENV, 2014–2017, 2019).

Tendances jurassienne et suisse 1980–2019

L'évolution des taux de prélèvement (γ) et des taux d'ac-

croissement (λ) des populations suisse et jurassienne de chamois est évaluée pour la période 1980–2019 à l'aide de modèles linéaires généralisés (glm; family = gaussian). L'évolution des effectifs de ces populations dans cette période n'est évaluée que graphiquement.

Effectifs à capacité de charge

Seule une partie du territoire jurassien comporte un habitat favorable au chamois. La surface d'habitat favorable utilisée est la même que celle du modèle de probabilité d'observation du chamois en Suisse établie dans le cadre de l'actualisation de l'Atlas des mammifères de Suisse (pas encore publié; Simon CAPT, comm. pers.). Une densité de 6 chamois pour 100 ha (MORIN et al., 2016) est appliquée à la surface estimée obtenue, donnant ainsi une estimation minimale de l'effectif de chamois jurassien à sa capacité de charge en présence de prédateurs naturels. Une densité de 30 chamois pour 100 ha (MORIN et al., 2016) est utilisée de la même manière pour obtenir une estimation maximale de l'effectif de chamois jurassien à sa capacité de charge en présence de prédateurs naturels. L'effectif cantonal recensé le plus élevé des dix dernières années est ensuite comparé à l'estimation à capacité de charge.

Tendances cantonales suisses 2010–2019

Les tendances des effectifs, des taux de prélèvement (γ) et des taux d'accroissement (λ) observés ont été calculés sur les dix dernières années pour chaque canton ainsi que pour le pays, en utilisant le Tau de Kendall à cause de la courte période de temps considérée.

Méthodologie d'établissement des quotas

L'office de l'environnement du canton du Jura (ENV) a été contacté afin de connaître la méthodologie précise employée pour décider des quotas de tirs annuels de chamois ainsi que les bases scientifiques sur lesquelles s'appuient ces méthodes.

Résultats

Taux de prélèvement et d'accroissement, sexe-ratios

Les taux de prélèvement (γ) et d'accroissement (λ) des populations jurassiennes calculés pour les périodes 1980–2019, 1990–2019, 2000–2019, 2010–2019 et 2015–2019 figurent dans la table 1.

Les différentes méthodes de calcul des λ observé et naturel présentent des différences dues aux arrondissements différents des valeurs impliquées dans les calculs; cette différence devient négligeable sur une courte période considé-

Année	γ	Différence avec le λ naturel actuel
2015	0.155	+0.002
2016	0.155	+0.002
2017	0.163	+0.010
2018	0.159	+0.006
2019	0.171	+0.018

TABLE 2 – Taux de prélèvement (γ) dans la population jurassienne de chamois les 6 dernières années et différence avec le λ naturel actuel.

Année	2019	2017	2016	2015	2014	Moy.
m : f	1 : 0.49	1 : 0.30	1 : 0.66	1 : 0.61	1 : 0.55	1 : 0.52

TABLE 3 – Sexe-ratio des individus tirés annuellement.

rée. Le λ naturel obtenu dans la table 1 se rapprochant le plus de l'estimation de l'ENV est le λ naturel moyen global de 2010 à 2019, soit 15.3%. Cette valeur étant la plus proche du λ utilisé par l'ENV, c'est celle que nous utiliserons par la suite.

La table 2 montre que les γ des cinq dernières années sont systématiquement supérieurs au λ naturel actuel; en 2019 cet écart s'élève à 1.8%.

Remarquons que le γ naturel moyen de 2015 à 2019, plus représentatif de la tendance actuelle puisque non influencé par des données vieilles de plus de 5 ans, est plus élevé que le λ naturel considéré comme actuel (16.0% à 16.7% selon la méthode de calcul employée); cependant le γ de 2019 dépasse tout de même cette valeur de 0.4% à 1.1% (idem). De plus, contrairement au λ naturel qui augmente avec le rétrécissement de la période concernée, le λ observé, lui, diminue, passant de 1.4% pour la période 2000–2019 à des taux négatifs pour 2010–2019 et 2015–2019.

La table 3 rapporte les sexe-ratios des dernières années ainsi que leur moyenne.

Tendances jurassienne et suisse 1980–2019

La figure 1 présente l'évolution des taux de prélèvement (γ), d'accroissement (λ) observé et effectifs des populations suisse et jurassienne de chamois de 1980 à 2019. Depuis 1980, le γ varie chaque année en moyenne de -0.30% dans la population suisse ($t=-21.85$, $p\ll 0.001$) et de $+0.38\%$ dans la population jurassienne ($t=8.42$, $p\ll 0.001$), et le λ observé semble rester stable dans la population suisse (-0.09% , $t=-1.50$, $p=0.14$) et varie chaque année en moyenne de -0.41% dans la population jurassienne ($t=-2.68$, $p<0.05$). Visuellement, les effectifs des populations suisse et jurassienne ont distinctement augmentés jusque vers 1994 et 2004, respectivement; puis les deux populations ont atteint un plateau et leurs effectifs ne semblent donc plus ou peu croître.

Période	γ	λ observé moyen détaillé	λ observé moyen global	λ naturel moyen détaillé	λ naturel moyen global
1980–2019	0.110	0.056	0.120	0.166	0.230
1990–2019	0.135	0.027	0.034	0.162	0.169
2000–2019	0.142	0.015	0.014	0.157	0.156
2010–2019	0.156	0.007	-0.003	0.163	0.153
2015–2019	0.161	0.006	-0.001	0.167	0.160

TABLE 1 – Taux de prélèvement (γ) et d'accroissement annuel (λ) observé et naturel des populations jurassiennes de chamois durant les 5, 10, 20, 30 et 40 dernières années, calculés selon deux méthodes.

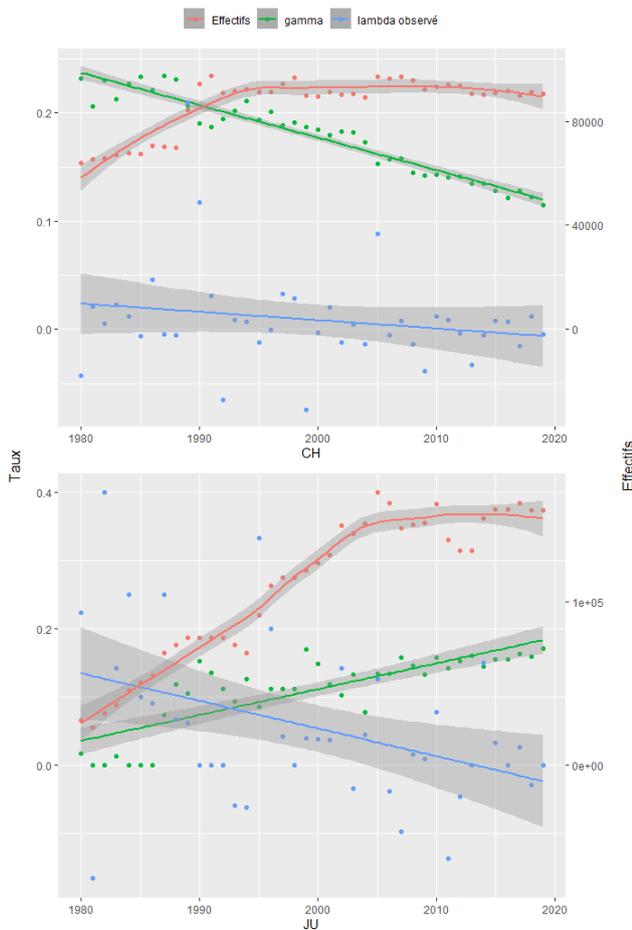


FIGURE 1 – Comparaison des γ , λ et effectifs des populations suisse et jurassienne de chamois

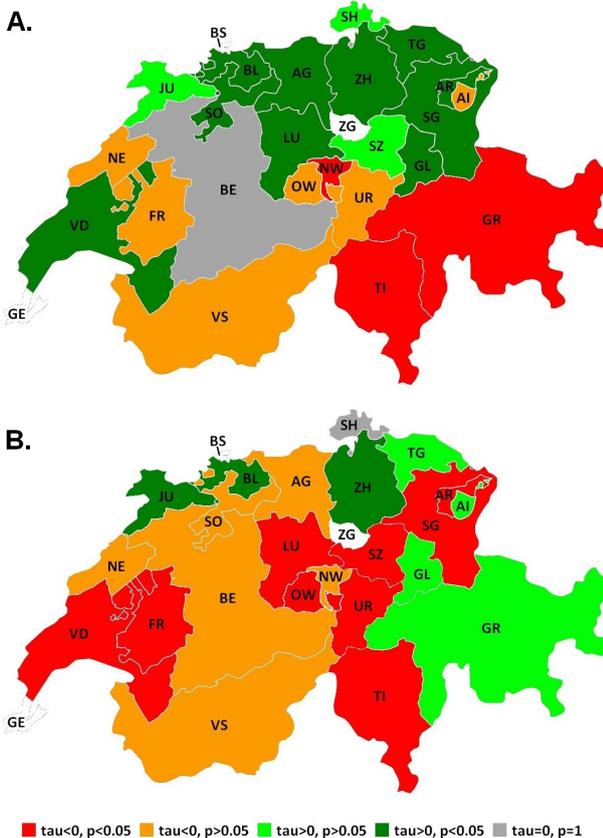


FIGURE 2 – Cartes synthétisant les tendances d’effectifs (A) et de γ (B) des cantons suisse depuis 2010.

Effectifs à capacité de charge

La surface d’habitat favorable au chamois dans le canton du Jura est estimée à 439 km². À raison de 6–30 individus pour 100 ha, la population cantonale estimée à sa capacité de charge avec présence de prédateurs s’élève à 2’634–13’170 individus. L’effectif cantonal recensé le plus élevé des dix dernières années s’élève à 350 individus, en 2017, ce qui représente 2.66%–13.29% de la capacité de charge avec présence de prédateurs estimée.

Tendances cantonales suisses 2010–2019

À l’exception du canton de Lucerne, qui a un taux d’accroissement (λ) observé en augmentation depuis 2010 ($\tau=0.51, p<0.05$), aucun canton ne présente une tendance (croissante ou décroissante) significative du λ observé sur les dix dernières années ($0.10 < p < 1$), idem pour la tendance générale du pays ($\tau=-0.16, p=0.60$).

La tendance de l’effectif de la population suisse de chamois depuis 2010 n’est pas significative ($\tau=-0.38, p=0.16$). Dix cantons présentent des effectifs augmentant significativement depuis 2010 : AG ($\tau=0.61, p<0.05$), AR ($\tau=0.78, p<0.001$), BL ($\tau=0.56, p<0.05$), GL ($\tau=0.63, p<0.05$), LU ($\tau=0.82, p<0.001$), SG ($\tau=0.60, p<0.05$), SO ($\tau=0.69, p<0.01$), TG ($\tau=0.75, p<0.01$), VD ($\tau=0.60, p<0.05$) et ZH ($\tau=0.96, p<0.001$); trois cantons présentent des effectifs diminuant significativement : GR ($\tau=-0.60, p<0.05$), NW ($\tau=-0.60, p<0.05$) et TI ($\tau=-0.89, p<0.001$); et les dix derniers cantons présentent des effectifs à tendance non significative ($p>0.05$), dont le Jura fait partie ($\tau=0.23, p=0.37$). Le détail ainsi qu’une représentation graphique de ces résultats sont présentés sur la figure 3 en annexe.

La tendance du taux de prélèvement (γ) dans la population suisse de chamois depuis 2010 est significativement en décroissance ($\tau=-0.82, p<0.001$). Neuf cantons présentent également un γ significativement décroissant sur la période considérée : AR ($\tau=-0.51, p<0.05$), FR ($\tau=-0.51, p<0.05$), LU ($\tau=-0.64, p<0.01$), OW ($\tau=-0.82, p<0.001$), SG ($\tau=-0.91, p<0.001$), SZ ($\tau=-0.82, p<0.001$), TI ($\tau=-0.69, p<0.01$), UR ($\tau=-0.87, p<0.001$) et VD ($\tau=-0.64, p<0.01$); seuls trois cantons présentent un γ significativement à la hausse depuis 2010 : BL ($\tau=0.56, p<0.05$), JU ($\tau=0.49, p<0.05$) et ZH ($\tau=0.76, p<0.01$); les dix derniers cantons ne montrent pas de tendances significatives. L’ensemble de ces résultats sont synthétisés sur les cartes de la figure 2, et le détail ainsi qu’une représentation graphique de ces résultats sont présentés sur la figure 4 en annexe.

Les résultats non significatifs peuvent s’expliquer par un jeu de données correspondant trop petit pour en tirer une puissance statistique suffisante. *Méthodologie d’établissement des quotas*

Le 19.01.2021, M. Amaury BOILLAT, inspecteur de la Faune de la République et Canton du Jura, a donné réponse à la demande adressée à l’ENV. Les sources scientifiques et rapports mentionnés dans cette demande seront communiqués à Pro Natura Jura lors d’une séance d’information en février 2021. Ces informations ne sont donc pas disponibles pour l’établissement de cette étude. Cependant, SURER (2021) mentionne que l’ENV déclare estimer le taux d’accroissement (λ) naturel de la population juras-

sienne de chamois à 15% et planifie des taux de prélèvement (γ) de ~20% (60 permis annuels (ENV, 2016)) en escomptant un taux de réussite des quotas de tirs de 80%.

Discussion

Taux de prélèvement et d'accroissement, sexe-ratios

Le fait que le taux de prélèvement (γ) des dernières années est supérieur au taux d'accroissement (λ) naturel actuel peut traduire soit une volonté de l'ENV de diminuer la population jurassienne de chamois, soit une utilisation de méthodes actuellement inadéquates pour l'évaluation des tendances des populations ou pour l'application des décisions y relatives. Cet écart entre les deux taux est probablement sous-estimé par le fait que l'ENV estime le λ naturel actuel à 15% (au lieu des 15.3% utilisés dans cette étude) et planifie des γ de ~16% (80% de réussite sur les 20% planifiés; ENV, 2016; SURER, 2021).

De plus, le sexe-ratio des individus abattus dans le canton du Jura (1 : 0.49) impacte fortement les mâles, alors que la confédération préconise un ratio 1 : 1 (Chasse Suisse & CSF, s.d.). Bien qu'un sexe-ratio de tir ménageant les femelles soit favorable à l'augmentation des effectifs de la population (Chasse Suisse & CSF, s.d.), un sexe-ratio de tir impactant trop fortement les mâles est néfaste à la population (Chasse Suisse & CSF, s.d.). En effet, il représente un risque pour la viabilité à long terme de la population par appauvrissement génétique (p.e. LYNCH et al., 1995; WHITLOCK, 2000). Une amélioration de ce point sans modification des quotas impacterait d'autant plus les populations puisque l'abattage de femelles affecte plus fortement le λ que l'abattage des mâles (Chasse Suisse & CSF, s.d.).

Ce sexe-ratio biaisé est probablement le résultat de la préférence des chasseurs à cibler les mâles afin de s'éviter le diagnostic du statut de lactation des femelles, de peur d'une erreur réprimandée. Pour palier à ce problème, d'autres cantons tels que Berne (DEEE, 2020; OAN, 2016) et Vaud (DES, 2020) fixent le sexe-ratio à 1 : 1 dans leurs planifications.

Tendances jurassienne et suisse 1980–2019

Le moment auquel les courbes des effectifs des populations suisse et jurassienne de chamois atteignent un plateau indique que les populations arrivent à l'équilibre avec les paramètres environnementaux (incluant le taux de prélèvement γ). Ces plateaux devraient donc se maintenir si ces paramètres restent inchangés. Cependant, dans le canton du Jura comme en Suisse, le plateau se maintient malgré un γ toujours décroissant en Suisse et croissant dans le canton du Jura. Deux phénomènes peuvent expliquer cela : premièrement, le fait qu'un facteur inversement corrélé au γ ne soit pas constant, et secondement, que ces plateaux soient en réalité le sommet d'une parabole convexe, ce qui impliquerait que les populations vont décroître à l'avenir (toujours si aucun paramètre, incluant le γ , n'est modifié).

Effectifs à capacité de charge

Bien que l'estimation de la surface cantonale d'habitat favorable au chamois soit grossière, les effectifs de chamois du canton du Jura peuvent vraisemblablement s'interpréter

comme avoisinant voire inférieurs au dixième de la capacité de charge avec présence de prédateur. Les populations du Jura sont donc bien loin d'une situation naturelle.

Tendances cantonales suisses 2010–2019

Les tendances cantonales de 2010 à 2019 sont très variables parmi les différents cantons suisses. Parmi les trois cantons adoptant un taux de prélèvement (γ) significativement croissant depuis 2010, le canton du Jura est le seul dont l'effectif ne croît pas significativement. Cette situation ne permet pas le maintien de l'effectif cantonal de chamois à long terme et induira prochainement, si elle est maintenue, une diminution de cet effectif.

Cette constatation est corroborée par les γ supérieurs aux taux d'accroissement (λ) des dernières années (voir *Discussion, Taux jurassiens de prélèvement et d'accroissement, sexe-ratios*) qui suggèrent d'ailleurs que bien que pas encore significative, la diminution de l'effectif de chamois dans le canton du Jura a déjà débuté.

Les quotas de tirs de chamois actuels dans le canton du Jura vont à l'encontre des objectifs de la confédération (Chasse Suisse & CSF, s.d.). Tous les autres cantons adoptent un γ suivant la tendance des effectifs de leurs populations (γ diminuant significativement si l'effectif diminue également significativement, etc.) voire favorisant une croissance des effectifs (γ diminuant significativement alors que l'effectif augmente déjà ou n'a pas de tendance significative, etc.). Le canton du Jura a donc une responsabilité unique dans l'atteinte des objectifs nationaux d'augmentation des populations de chamois (Chasse Suisse & CSF, s.d.).

Fonction écologique de la chasse

La capacité de charge des ongulés est déterminée par l'ensemble des ressources à leur disposition (PRICE, 1999) selon le principe de régulation bottom-up (SINCLAIR & KREBS, 2002). Dans le cas du chamois, nous considérons ici que les ressources actuellement impliquées dans cette régulation sont uniquement d'origine non anthropique, contrairement p.e. au Chevreuil européen *Capreolus capreolus* ou au Sanglier *Sus scrofa* qui profitent parfois de sources de nourriture anthropiques telles que les cultures (ENV, s.d.b) ou les nourrissages dit "dissuasifs" (ENV, 2015b). Le chamois, de par son habitat, ne côtoie que très peu les cultures, et ses dégâts d'abrouissement sont minimes dans le canton. Cette considération est soutenue par l'absence du chamois dans toutes les statistiques jurassiennes de dégâts liés au gibier.

À l'état naturel, la capacité de charge d'une espèce correspond à un équilibre stable entre l'espèce et ses ressources. Si de la prédation est présente, elle peut maintenir l'espèce à un équilibre en-deçà de sa capacité de charge. La pression sur les ressources des proies est alors diminuée. L'équilibre formé est alors la situation naturelle de l'écosystème à laquelle les prédateurs, les proies et les ressources sont adaptés.

Après l'extermination des superprédateurs dans la chaîne jurassienne comme dans le reste de la Suisse au 19^e siècle (THÜLER, 2002) suite à la destruction de leurs habitats et à cause de la chasse directe (SUNQUIST & SUNQUIST, 2017), la chasse a remplacé le rôle régulateur top-down de ceux-ci,

évitant ainsi un déplacement de l'équilibre entre les interactions top-down et bottom-up du système. Cependant, (i) la pression de la chasse a dépassé ce rôle (voir *Discussion, Efficacités à capacité de charge*) et (ii) le Lynx boréal *Lynx lynx* a été réintroduit dans le nord de l'Arc jurassien dans les années 1970 et depuis sa population a augmenté, si bien qu'à présent ce superprédateur est de retour dans le canton du Jura (BREITENMOSER, 2000). Malgré l'augmentation de la densité de lynx depuis 2006 (KUNZ et al., 2019), les taux de prélèvement (γ) de chamois ont eux aussi augmenté, ce qui va à l'encontre d'un retour à une situation naturelle pendant lequel les γ devraient diminuer proportionnellement à l'augmentation de la prédation de chamois par le lynx pour aboutir à une situation où les superprédateurs ont pleinement repris leur fonction écologique. Cependant la situation actuelle dans le canton du Jura empêche le lynx de retrouver pleinement sa fonction écologique puisque ses ressources sont exploitées par les chasseurs. Malgré l'aspect traditionnel de la chasse, cette pratique ne devrait pas nuire à la faune sauvage (Chasse Suisse & CSF, s.d.).

Pour agir de manière écologiquement cohérente, ainsi que de manière cohérente avec les objectifs de Chasse Suisse et de la CSF (s.d.), le γ devrait être progressivement diminué d'année en année pour permettre aux effectifs de lynx de s'adapter aux effectifs de chamois. Ces changements peuvent se faire relativement rapidement, voire abruptement, comme le suggèrent les dynamiques observées dans le Parc National Suisse. L'arrêt de la chasse au chamois s'y est produit soudainement, ce qui aurait pu provoquer des oscillations typiques d'un changement abrupt et généralement temporairement problématiques. Cela n'a pas été le cas, les populations ont rapidement atteint leur capacité de charge sans passer par une phase d'oscillations (Parc National Suisse, s.d.).

De plus, la suppression de la chasse au chamois permettrait d'homogénéiser la pression d'abrutissement par cette espèce sur le territoire (Chasse Suisse & CSF, s.d.), et ainsi limiter l'apparition de problèmes y relatifs tout en diminuant le besoin de réduire les effectifs de chamois.

Conclusion

La population de chamois du canton du Jura est actuellement très éloignée d'un équilibre naturel, et la gestion actuelle de la chasse de cette espèce ne tend pas à se rapprocher d'un tel équilibre et va même à l'encontre des objectifs nationaux. Il est évident que la chasse n'est pas le seul facteur de déclin de ces populations (citons par exemple le dérangement hivernal par les sportifs ou les randonneurs), mais une amélioration de la gestion de la chasse de cette espèce permettrait déjà une sensible amélioration de la situation. De nombreux aspects de l'impact négatif de la chasse tels que sur la dispersion des populations n'ont pas été traités dans la présente étude et mériteraient également des investigations. Des changements dans la gestion du chamois doivent donc être apportés au plus vite pour le bien de la population cantonale. Au vu des dynamiques observées dans le Parc National suisse, l'adoption d'un moratoire sur la chasse de cette espèce dans le canton du Jura permettrait de répondre à l'urgence de la restauration de l'équilibre naturel tout en laissant le temps aux autorités de mettre en place une gestion adéquate à long terme de ces populations.

Remerciements

Je remercie chaleureusement Radu SLOBODEANU, conseiller en statistiques à l'université de Neuchâtel, ainsi que Simon CAPT du Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF/infofauna) pour le partage d'informations relatives à la probabilité d'observation du chamois au Jura.

Références

- BREITENMOSER, U. (2000). Action plan for the conservation of the Eurasian lynx in Europe (*Lynx lynx*) (No. 18–112). Council of Europe.
- Chasse Suisse, & Conférence des Services de la Faune (CSF). (s.d.). Le Chamois en Suisse, C'est notre responsabilité! <https://www.jagdschweiz.ch/assets/Uploads/170213-Gamsbroschuere-fr.pdf>
- Département de l'Environnement et de la Sécurité de l'état de Vaud (DES). (2020). Directives sur la chasse en 2020-2021. https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/faune_nature/fichiers_pdf/Chasse/04_Informations_utiles_aux_chasseurs/Directives_chasse_2020_2021.pdf
- Direction de l'économie, de l'énergie et de l'environnement du canton de Berne (DEEE). (2020). Dispositions pour la période de chasse 2020/2021. https://www.vol.be.ch/vol/fr/index/natur/jagd_wildtiere/Jagden/Jagd%20aktuell.assetref/dam/documents/VOL/LANAT/fr/Natur/Jagd_Wildtiere/LANAT_JW_Festlegungen_fuer_die_Jagdperiode_fr.pdf
- Fédération Cynégétique Genevoise. (s.d.). Genève, 40 ans de chasse sans chasseurs. Fédération Cynégétique Genevoise. Consulté 5 janvier 2021, à l'adresse <http://chassegeneve.ch/actualites-genevoise/etat-des-lieux-40-ans-sans-chasse/>
- KUNZ, F., BREITENMOSER-WÜRSTEN, C., & ZIMMERMANN, F. (2019). Estimation par capture-recapture photographique de l'abondance et densité du lynx dans le Nord du Jura durant l'hiver 2018/19. *KORA Bericht*, 86, 16.
- LYNCH, M., CONERY, J., & BURGER, R. (1995). Mutation Accumulation and the Extinction of Small Populations. *The American Naturalist*, 146(4), 489–518. <https://doi.org/10.1086/285812>
- MORIN, A., RUGHETTI, M., RIOUX-PAQUETTE, S., & FESTA-BIANCHET, M. (2016). Older conservatives : Reproduction in female Alpine chamois (*Rupicapra rupicapra*) is increasingly risk-averse with age. *Canadian Journal of Zoology*, 94(5), 311–321. <https://doi.org/10.1139/cjz-2015-0153>
- Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne (OAN). (2016). Rapport annuel 2015, Inspection de la chasse du canton de Berne. 68.
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (2014). Exercice de la chasse, Saison 2014. <https://www.fcjc.ch/files/73/statistiques%202017.pdf>
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (2015a). Exercice de la chasse, Saison 2015. <https://www.fcjc.ch/files/73/statistiques%202017.pdf>
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (2015b). Plan de nourrissage dissuasif du sanglier pour les saisons 2015 et 2016. <https://www.fcjc.ch/FileDownload/Get/365>
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (2016). Exercice de la chasse, Saison 2016. <https://www.fcjc.ch/files/73/statistiques%202017.pdf>

- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (2017). Exercice de la chasse, Saison 2017. <https://www.fcjc.ch/files/73/statistiques%202017.pdf>
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (s. d. a). Exercice de la chasse, Saison 2019. <https://www.fcjc.ch/files/219/statistique%20chasse%202019.pdf>
- Office de l'Environnement (ENV), République et Canton du Jura. (s. d. b). Prévention et indemnisation des dommages causés par la faune sauvage—République et Canton du Jura. Consulté 17 décembre 2020, à l'adresse <https://www.jura.ch/DEN/ENV/Chasse-et-faune-sauvage/Prevention-et-indemnisation.html>
- Office Fédéral de l'Environnement (OFEV) Espèces, Ecosystèmes, Paysages (EEP), SECTION FAune sauvage et biodiversité en forêt. (s. d.). Statistiques de chasse. Consulté 1 janvier 2021, à l'adresse <https://www.jagdstatistik.ch/fr/home>
- Parc National Suisse. (s. d.). Chamois. Consulté 20 janvier 2021, à l'adresse <https://www.nationalpark.ch/fr/flore-et-faune/animaux/chamois/>
- PÉPIN, D., GONZALEZ, G., & BON, R. (1991). Le Chamois et L'Isard. *Revue d'écologie*.
- PRICE, D. (1999). Carrying capacity reconsidered. *Population and Environment*, 21(1), 5-26.
- République et Canton de Genève. (s. d.). Un canton sans chasse. [ge.ch](https://www.ge.ch/node/14299). Consulté 5 janvier 2021, à l'adresse <https://www.ge.ch/node/14299>
- RStudio Team (2020). RStudio : Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- SIBLY, R. M., & HONE, J. (2002). Population growth rate and its determinants : An overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences*, 357(1425), 1153–1170. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1117>
- SINCLAIR, A. R. E., & KREBS, C. J. (2002). Complex numerical responses to top-down and bottom-up processes in vertebrate populations. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B : Biological Sciences*, 357(1425), 1221–1231. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1123>
- SUNQUIST, M., & SUNQUIST, F. (2017). *Wild cats of the world*. University of Chicago press.
- SURER, P. (2021). Dispositions fédérales, cantonales et régionales de la chasse sur l'arc jurassien et ses possibles impacts sur la population de chamois. *Pro Natura Jura*.
- THÜLER, K. (2002). Spatial and Temporal Distribution of Coat Patterns of Eurasian Lynx (*Lynx lynx*) in two Re-introduced Populations in Switzerland. 35.
- WHITLOCK, M. C. (2000). Fixation of New Alleles and the Extinction of Small Populations : Drift Load, Beneficial Alleles, and Sexual Selection. *Evolution*, 54(6), 1855–1861. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2000.tb01232.x>

A Annexe 1 - Résultats détaillés des tendances sur les dix dernières années des effectifs, des γ et des λ observés pour chaque canton et pour le pays

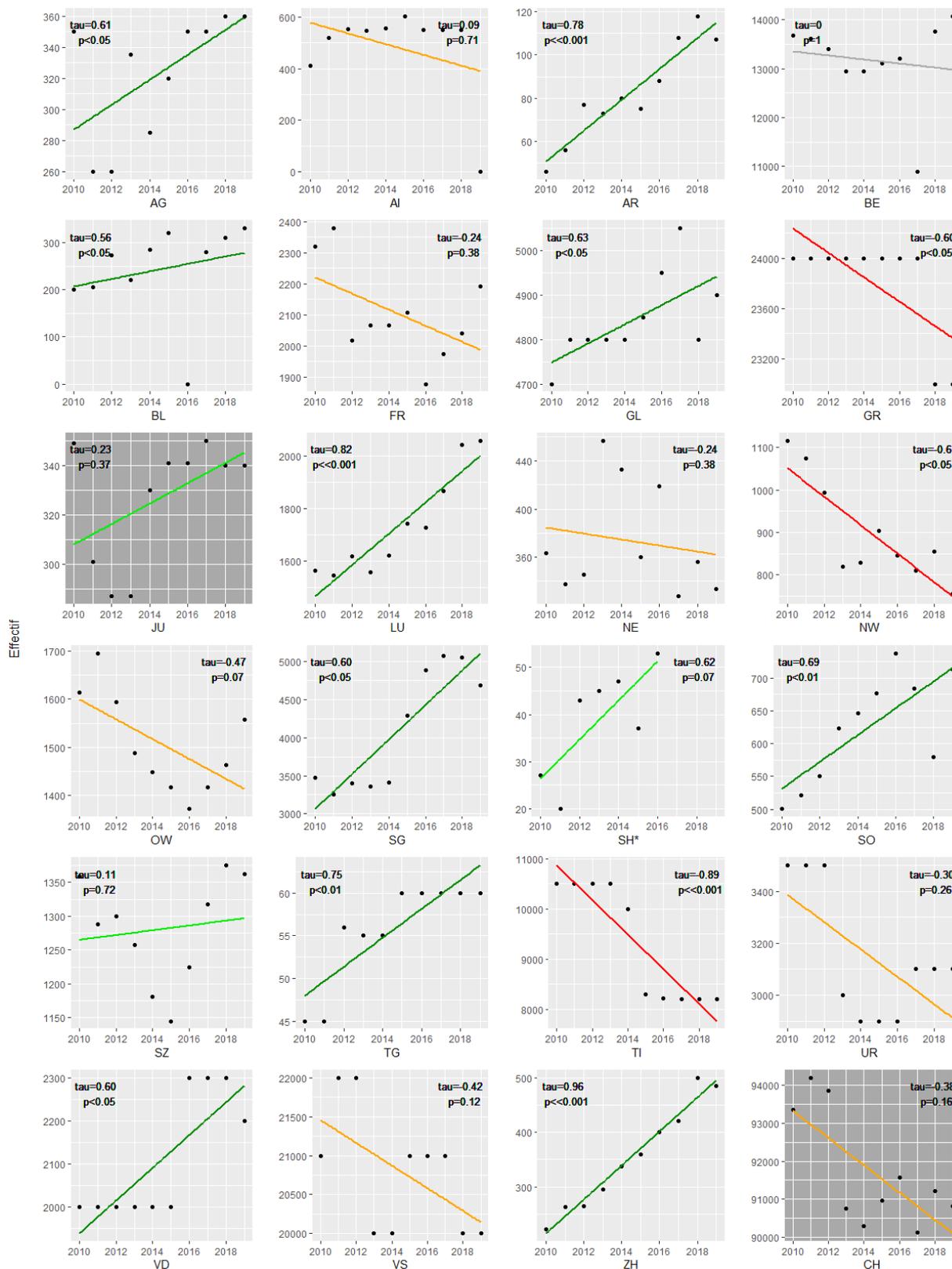


FIGURE 3 – Représentations graphiques du Tau de Kendall des effectifs des populations cantonales et de la population nationale de chamois depuis 2010. En rouge, les effectifs significativement en décroissance; en orange, les effectifs non-significativement en décroissance; en vert clair, les effectifs non-significativement en croissance; en vert sombre, les effectifs significativement en croissance. Les droites de tendances ont été modélisées grâce à la fonction `geom_smooth(method="lm")` du package `ggplot2`. Les valeurs des tests statistiques sont reportées sur les graphiques correspondant.

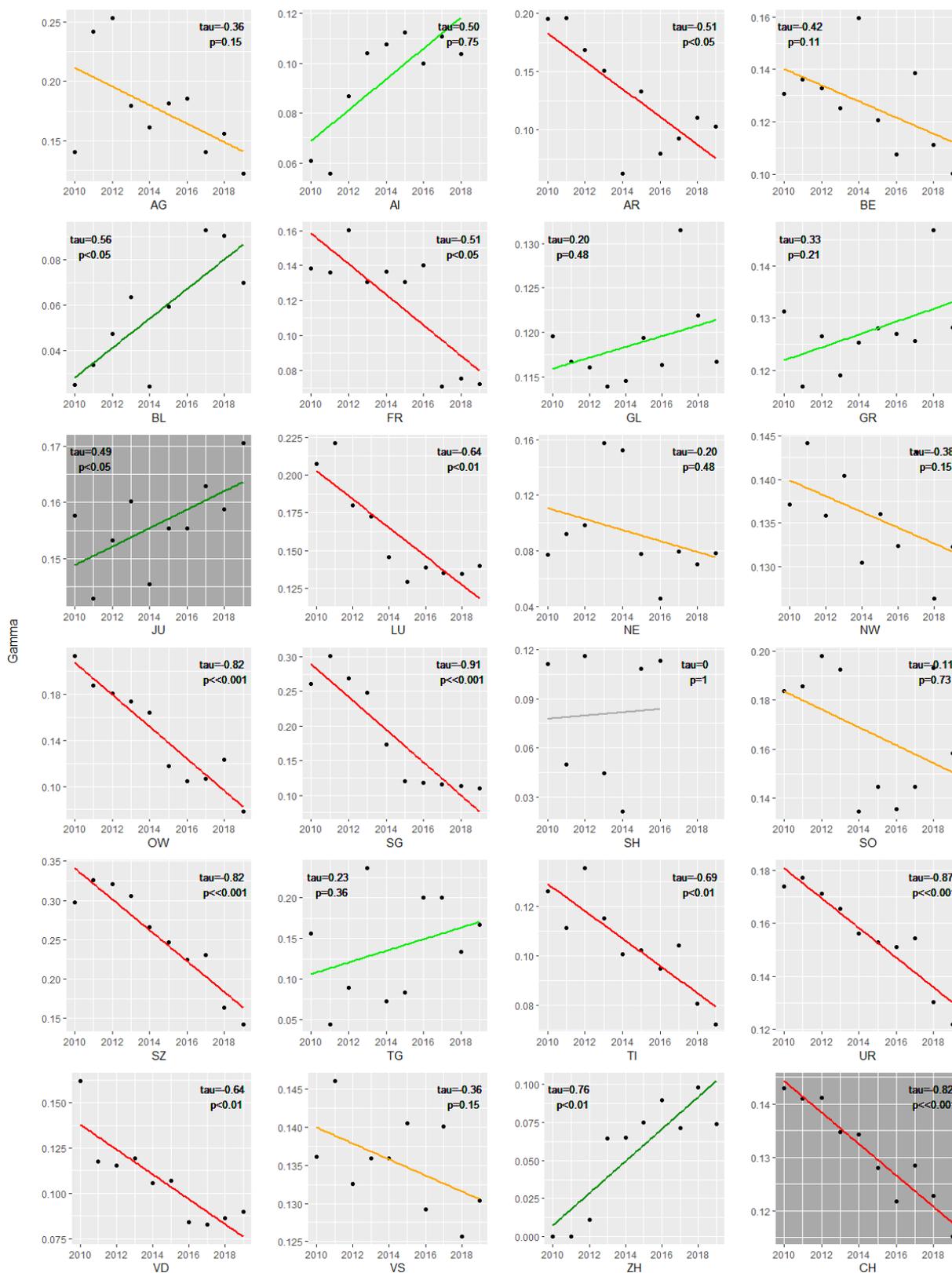


FIGURE 4 – Représentations graphiques du Tau de Kendall des γ dans les populations cantonales et dans la population nationale de chamois depuis 2010. En rouge, les taux significativement en décroissance ; en orange, les taux non-significativement en décroissance ; en vert clair, les taux non-significativement en croissance ; en vert sombre, les taux significativement en croissance. Les droites de tendances ont été modélisées grâce à la fonction `geom_smoothmethod="lm"` du package `ggplot2`. Les valeurs des tests statistiques sont reportées sur les graphiques correspondant.