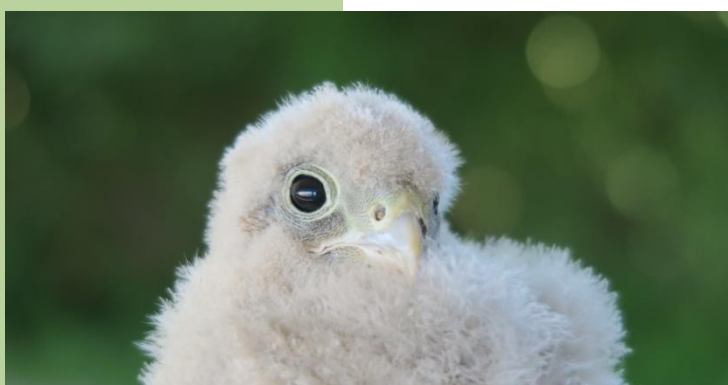


Conservation et monitoring intégré des populations du Faucon crécerelle et de l'Effraie des clochers

Rapport de la période 2016-2018

Jacques Laesser
Stephanie Michler
Rémi Fay
Reto Spaar



Rapport à l'intention des partenaires du projet



vogelwarte.ch

Impressum

Conservation et monitoring intégré des populations du Faucon crécerelle et de l'Effraie des clochers

Rapport de la période 2016-2018.

Auteurs

Jacques Laesser, Stephanie Michler, Rémi Fay et Reto Spaar

Collaboration

Isabelle Kaiser, Pius Korner, Claire Lischer-Guyot, Michael Schaub, Hans Schmid, Nicolas Strebel

Photos

© Station ornithologique suisse

Citation recommandée

Laesser, J., S. Michler, R. Fay & R. Spaar (2020) : Conservation et monitoring intégré des populations du Faucon crécerelle et de l'Effraie des clochers. Rapport de la période 2016-2018. Station ornithologique suisse, Sempach.

Contact

Jacques Laesser, Station ornithologique suisse, Seerose 1, 6204 Sempach

Tél. : 041 462 97 00, 041 462 97 23 (direct), Fax : 041 462 97 10, jacques.laesser@vogelwarte.ch

© 2020, Station ornithologique suisse

Sans discussion préalable avec la Station ornithologique suisse, ce rapport ne peut être reproduit même partiellement.

Contenu

Résumé	4
Zusammenfassung	5
1. Introduction	6
2. Méthode	7
2.1 Généralités	7
2.2 Réseau de nichoirs	8
2.3 Contrôles en période de nidification	9
2.4 Baguage et capture	10
2.5 Autorisations	10
2.6 Récolte et saisie des données	10
2.7 Méthodes d'analyses	11
2.7.1 Indice d'occupation	12
2.7.2 Date d'éclosion	12
2.7.3 Succès de reproduction	12
2.7.4 Grandeur de la nichée	13
2.7.5 Productivité	13
2.7.6 Dynamique des populations du Faucon crécerelle	13
2.7.7 Synchronie de la productivité comme indicateur de l'abondance de proies	14
3. Résultats	15
3.1 Indice d'occupation	15
3.1.1 Faucon crécerelle	15
3.1.2 Effraie des clochers	16
3.2 Date d'éclosion	18
3.2.1 Faucon crécerelle	18
3.2.2 Effraie des clochers	20
3.3 Grandeur des nichées, productivité et succès de reproduction	21
3.3.1 Faucon crécerelle	21
3.3.2 Effraie des clochers	23
3.4 Dynamique des populations du Faucon crécerelle	25
3.4.1 Contribution des nichoirs à la démographie de l'espèce	25
3.4.2 Corrélations entre variables démographiques	27
3.5 Synchronie de la productivité comme indicateur de l'abondance de proies	28
4. Discussion	29
4.1 Faucon crécerelle	30
4.1.1 Causes de l'évolution positive des populations	30
4.1.2 Répartition altitudinale	33
4.1.3 Reproduction	34
4.2 Effraie des clochers	35

4.2.1	Reproduction	37
4.3	Conservation	37
5.	Remerciements	39
6.	Annexes	39
6.1	Méthodes d'analyse des indices démographiques	39
6.1.1	Indice d'occupation	39
6.1.2	Estimation de la date d'éclosion	39
6.1.3	Estimation de la grandeur des nichées, de la productivité et du succès de reproduction par année	40
7.	Bibliographie	40

Résumé

Le monitoring intégré des populations de Faucon crécerelle et d'Effraie des clochers a débuté en 2002 et le présent rapport se base sur les données collectées entre 2002 et 2018. Dès 2012, le nombre de nichoirs contrôlés se situe entre 2000 et 2500. La population de Faucons crécerelles a doublé durant les vingt dernières années. L'indice d'occupation a légèrement augmenté pendant cette période, pour un réseau de nichoirs qui jusque vers 2012 était en constante augmentation. L'indice d'occupation des Effraies des clochers fluctue fortement. Après l'effondrement des populations nicheuses suite à des hivers rigoureux, les effectifs se sont rétablis à taux d'occupation relativement haut pour la période 2016-2018.

La grandeur des pontes était dans la norme pour les deux espèces durant la période 2016-2018. Une mortalité des poussins relativement forte les a touchées toutes deux en 2018. Lors de cette année, la productivité des Effraies a atteint la valeur la plus basse depuis 2008 avec 3,67 poussins par nichée. Pendant la décennie, seule 2013 présentait une productivité plus faible chez les Faucons crécerelles.

La date moyenne d'éclosion du Faucon crécerelle diffère de 21 jours entre le sud-ouest du pays et les collines du nord-est. L'altitude semble avoir une influence importante entre 300 et 600 m.

Un modèle intégré de population a démontré que la population de Faucons crécerelles installée en nichoirs produit des nouveaux nicheurs au-delà de ce qui permet de compenser la mortalité. Elle se comporte ainsi comme population-source, dont bénéficie les effectifs nicheurs voisins. Une modélisation permet de vérifier que la productivité des couples établis en nichoir, relativement supérieure à celle se reproduisant en nids ouverts, explique une grande partie de la croissance de la population.

Une deuxième analyse démontre que la survie des Faucons crécerelles dans la première année est positivement corrélée à la productivité de l'année où ils ont éclos. Un indice de l'offre en micromammifères lors de la nidification est fortement corrélé avec la productivité. Les années avec forte offre en nourriture sont favorables autant au succès de reproduction qu'à la survie des jeunes.

Dans une troisième publication, la synchronie spatiale de la productivité des Faucons crécerelles a été étudiée. Jusqu'à 300 km la corrélation est positive. Cela signifie que le succès annuel rencontré par les nichées est similaire sur de grandes distances. Comme la productivité des crécerelles est en grande partie expliquée par la proportion de campagnols parmi les proies, une synchronie dans l'abondance de ces derniers paraît aussi exister sur de grandes distances.

Les 2000 à 2500 nichoirs entretenus et contrôlés chaque année par les collaborateurs bénévoles de la Station ornithologique contribuent fortement au maintien de l'Effraie et à l'essor du Faucon crécerelle. Par leur rôle d'auxiliaires dans la lutte contre les campagnols, ces deux rapaces sont en général appréciés par les agriculteurs. Les ornithologues contribuent également à la perception positive de ces espèces grâce à leurs efforts de sensibilisation. Le programme coordonné du monitoring des populations de Faucons crécerelles et d'Effraies des clochers constitue ainsi un pont entre les milieux de la protection de la nature et ceux de l'agriculture, où les échanges se nourrissent d'intérêts communs.

Zusammenfassung

Das integrierte Populationsmonitoring Turmfalke/Schleiereule wurde bereits 2002 gestartet. Daher basiert dieser Bericht auf den Daten der Jahre 2002–2018, mit Fokus auf die Jahre 2015–2018.

Der Seit 2012 schwankt die Zahl der kontrollierten Nistkästen in den teilnehmenden Projekten zwischen 2000 und 2500. Der Brutbestand des Turmfalken hat sich in den letzten 20 Jahren verdoppelt. Gleichzeitig ist auch der Anteil der besetzten Nistkästen etwas angestiegen, bei bis 2012 konstant zunehmendem Nistkastenangebot. Bei der Schleiereule schwankt der Anteil besetzter Nistkästen stark. Nach einem Populationseinbruch in Folge härterer Winter, erholten sich die Brutbestände in den Jahren 2016–2018 wieder, und zeigen eine relativ hohe Besetzungsrate der Nistkästen.

Bei beiden Arten lag die Gelegegrösse in der Periode 2016–2018 im normalen Rahmen, 2018 war die Kükensterblichkeit dagegen relativ hoch. Die Schleiereule verzeichnete in diesem Jahr mit 3,67 Küken pro Brut die niedrigste Nachwuchsrate seit 2008. Beim Turmfalken lag der Bruterfolg im letzten Jahrzehnt nur im Jahr 2013 tiefer als 2018.

Das durchschnittlichen Schlüpfdatum des Turmfalken weist zwischen dem südwestlichen Mittelland und der Nordostschweizer Hügelizeone einen Unterschied von 21 Tagen auf. Die Höhe über Meer spielt offenbar vor allem zwischen 300 und 600 m eine wichtige Rolle.

Analysen mit Hilfe eines integrierten Populationsmodells zeigen, dass die Turmfalkenbestände in den Projektgebieten mehr Vögel produzieren als sie aufnehmen, dass heisst sie dienen als sogenannte Quell-Populationen für angrenzende Region innerhalb und ausserhalb der Schweiz. Modellberechnungen ergeben, dass die gute Produktivität in Nistkästen im Vergleich zu natürlichen Neststandorten einen massgeblichen Einfluss auf das Populationswachstum hat.

Eine zweite Auswertung findet einen positiven Zusammenhang zwischen der Überlebensrate von Turmfalken im ersten Lebensjahr und der Produktivität in Jahr ihres Schlupfes. Ein berechneter Index für das Angebot an Kleinsäugern zur Brutzeit korreliert stark positiv mit der Produktivität, was den Schluss nahelegt, dass in Jahren mit hohem Kleinsäugerangebot sowohl der Bruterfolg als auch die Überlebensrate von Jungvögeln gut ist.

In der dritten Publikation wurde die räumliche Synchronität der Produktivität (Anzahl flügger Jungen in erfolgreichen Bruten) beim Turmfalken untersucht. Die Produktivität ist räumlich bis zu 300 km korreliert. Das bedeutet, dass innerhalb eines Jahres Bruten über grosse Distanzen ähnlich erfolgreich sind. Da die Produktivität des Turmfalken stark von der Verfügbarkeit an Kleinsäugern abhängt, deckt dieses Muster eine räumliche Korrelation des Kleinsäugerangebots auf.

Die 2000 bis 2500 von den freiwilligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Vogelwarte instand gehaltenen und alljährlich kontrollierten Nistkästen sind für die Erhaltung der Schleiereulenbestände und für den Aufschwung beim Turmfalken von grosser Bedeutung. Beide Beutegreifer sind als Wühlmausvertilger bei den Landwirten in der Regel sehr beliebt. Die Besuche der Projektmitarbeiter auf den Höfen tragen ebenfalls zur Sensibilisierung und zum guten Ruf beider Arten bei. Das koordinierte Monitoringprogramm Turmfalke/Schleiereule schlägt so eine Brücke zwischen Naturschutz und Landwirtschaft, von der beide Seiten profitieren.

1. Introduction

Le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) et l'Effraie des clochers (*Tyto alba*) figurent sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de Suisse comme potentiellement menacés (Keller *et al.* 2010) et font partie des 50 espèces prioritaires pour des mesures ciblées de conservation (Ayé *et al.* 2011). Après un important déclin, les effectifs nicheurs de faucons crécerelles et d'effraies des clochers ont atteint leur niveau le plus bas, respectivement dans les années 1980 et 1990. Le manque d'offre en sites de nidification est soupçonné d'être la principale cause de la raréfaction de ces deux espèces des milieux agricoles (Schmid 1990).

En 2002, un programme coordonné de monitoring des populations a débuté mettant à contribution des dizaines de collaborateurs bénévoles. Leur travail remarquable a permis de développer un vaste réseau de nichoirs sur le Moyen-Pays. Ces nichoirs ont contribué au redressement des effectifs du Faucon crécerelle et abritent une importante proportion des couples d'Effraies nicheuses en Suisse. Ces deux prédateurs de micromammifères sont très appréciés par les agriculteurs et le suivi des ornithologues bénévoles bénéficie en général d'une très bonne acceptation de la part des exploitants. Le monitoring permet de suivre l'évolution des effectifs, de la phénologie et du succès de reproduction de ces deux espèces. Le présent rapport expose les méthodes et les résultats de ces indices qui seront mis à jour périodiquement.

Le programme a fait l'objet d'une publication (Zellweger-Fischer *et al.* 2011) et d'un rapport (Michler *et al.* 2016) qui traitent les mêmes données pour les années correspondantes.

Pour mieux comprendre les mécanismes régissant la croissance des populations suisses de Faucons crécerelles, des analyses combinant les données collectées dans le cadre du programme coordonné de suivi de population et les données du suivi des espèces nicheuses (Monir) ont été effectuées par Rémi Fay, du département de recherche écologique de la Station ornithologique suisse. Les résultats de ces analyses ont été publiés (Fay *et al.* 2019, Fay *et al.* 2020a, 2020b) et sont présentés dans ce rapport de manière synthétisée.



Fig. 1. Trois jeunes Faucons crécerelles dans une niche d'église. La patte baguée du cadet décédé est visible en bas à gauche.

2. Méthode

2.1 Généralités

Le programme coordonné a débuté en 2002 avec comme objectif l'utilisation des données dans un modèle intégré des populations. Durant la phase initiale (2002-2011), l'accent a été porté sur le baguage et l'estimation de la productivité. Les données ont été collectées au niveau de la nichée en suivant les instructions du programme coordonné (Spiess & Kestenholz 2002). Toutes les données de baguage ont été enregistrées. Dès 2008, elles l'ont été au moyen du programme RingExt, par les bagueurs eux-mêmes.

Depuis la restructuration du projet en 2012, chaque contrôle de nichoir est saisi. Les synthèses par nichée sont alors calculées sur la base de ces données. Les données d'absence sont collectées de manière systématique, fournissant un indice d'occupation plus fiable. De plus, un questionnaire de l'inventaire des sites de nidification a été développé, servant de référent autant pour les données de contrôles de nichoirs que pour les données de baguage. Les restructurations de 2012 sont présentées plus en détail dans Michler *et al.* (2016).

Actuellement, trois niveaux d'intensité de suivi sont pratiqués (objectifs mentionnés entre parenthèses) :

- Suivi des nichoirs sans baguage et généralement à distance, sans contrôle à l'intérieur du nichoir (occupation des nichoirs).
- Contrôle des nichoirs avec baguage des poussins (occupation des nichoirs ; phénologie ; grandeur des nichées ; succès de reproduction ; dispersion grâce aux reprises des poussins bagués).
- Contrôle des nichoirs avec baguage des poussins et captures d'adultes au nid (aux objectifs précédemment mentionnés s'ajoutent la survie et la dispersion des adultes et des jeunes).

Les données des deux derniers niveaux ont par ailleurs été utilisées dans les modèles intégrés de population (voir chapitres 2.7.6 et 3.4). Les projets régionaux appliquent l'un des trois niveaux, pour le suivi des deux espèces ou localement uniquement pour le Faucon crécerelle ou l'Effraie des clochers.

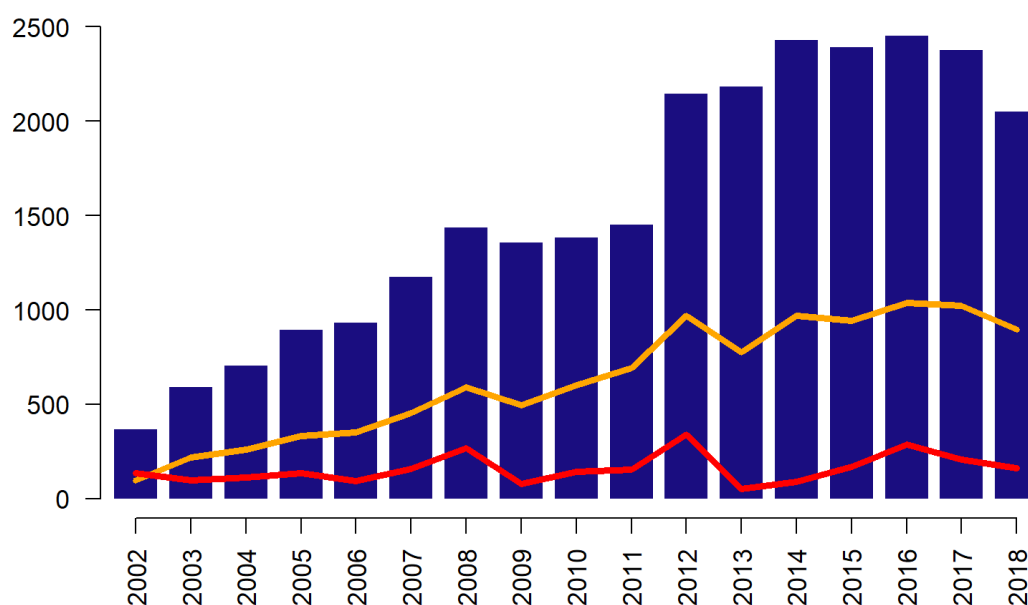


Fig. 2. Nombre annuel de nichoirs contrôlés (barres bleues) et nombre de nichoirs occupés par le Faucon crécerelle (orange) et par l'Effraie des clochers (rouge). La plupart des données de 2018 ont pu être intégrées dans ce rapport.

2.2 Réseau de nichoirs

Le réseau de nichoirs suivi dans le cadre du monitoring des populations était en constante augmentation jusqu'à 2012. Depuis, il fluctue entre 2000 et 2500 nichoirs (fig. 2). Il couvre une grande partie du Moyen-Pays, de Genève jusqu'au Lac de Constance (fig. 3). Quelques réseaux touchent des régions périphériques, comme la vallée du Rhône VS, le Val-de-Ruz NE, le Jura bâlois BL, le canton de Schaffhouse ou la région de Rothenthurm SZ. La majorité des nichoirs se situe en dessous de 650 m d'altitude et quelques nichoirs à Faucons crécerelles sont contrôlés jusqu'à 1000 m d'altitude (fig. 4).

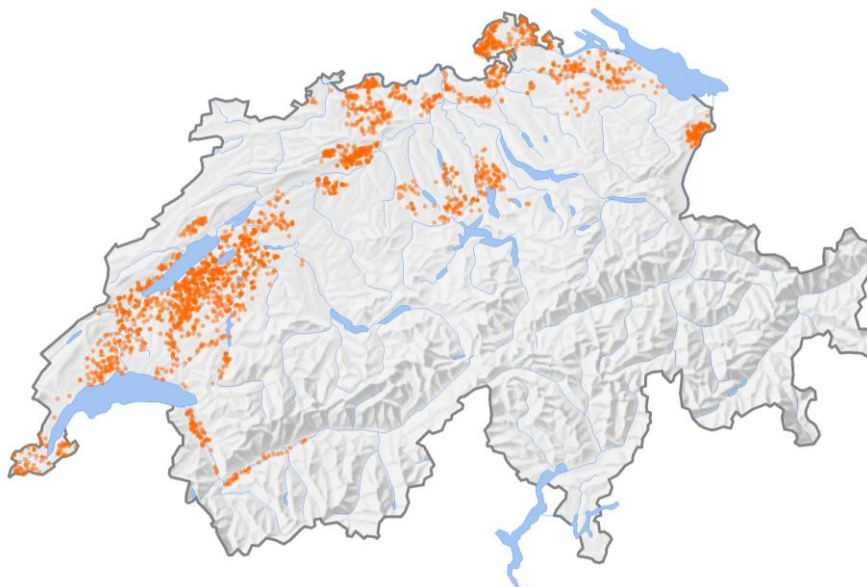


Fig. 3. Localisation des nichoirs contrôlés durant la période 2002-2018.

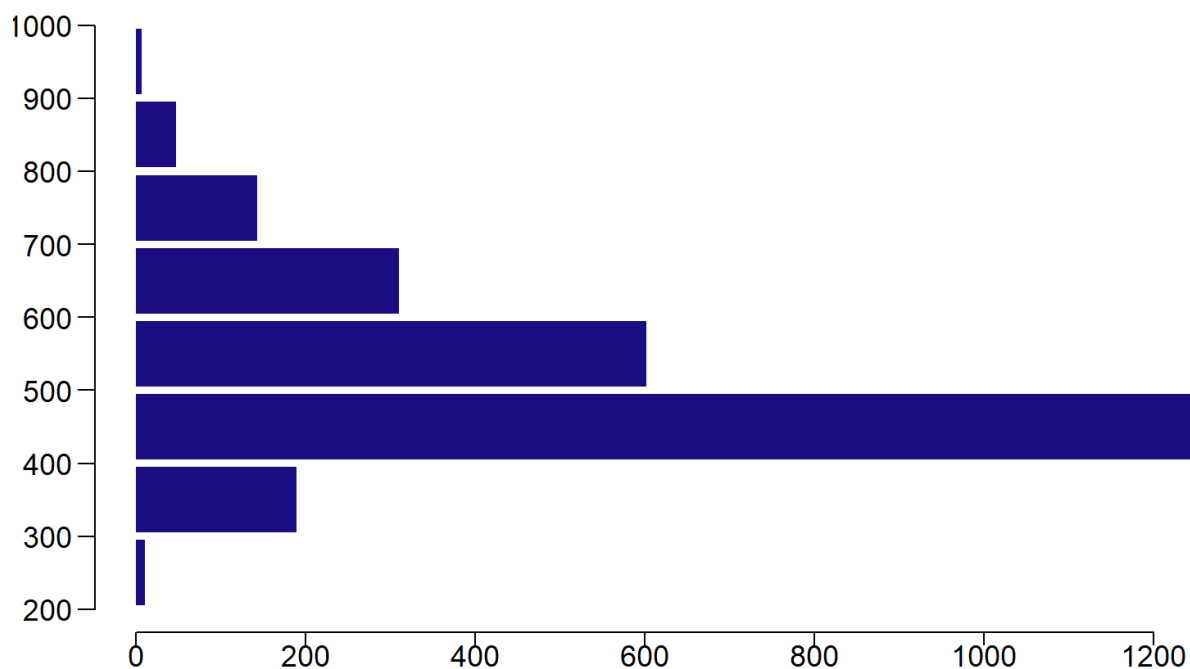


Fig. 4. Répartition altitudinale des nichoirs contrôlés durant la période 2007-2018.

2.3 Contrôles en période de nidification

Les différentes intensités de suivi produisent des données de précision variable qui sont filtrées en conséquence suivant les types d'analyses. En plus des indications qui suivent, des critères déterminant la sélection des données utilisées dans chaque modèle sont expliqués dans le chapitre *Méthodes d'analyses* (2.7).

Une visite pendant la période favorable respective à chaque espèce suffit à détecter l'occupation des niohirs. Le contrôle de l'intérieur des niohirs est nécessaire pour déterminer la grandeur de la nichée. Quand un niohir contenant des œufs est contrôlé, un deuxième contrôle est normalement effectué afin de déterminer la grandeur de la couvée définitive et la date d'éclosion. Cette deuxième visite permet en général de baguer la nichée et de documenter ainsi le succès de reproduction, selon la définition du projet (jeunes ayant atteint l'âge d'être bagués). Si cette dernière visite intervient trop tôt, une troisième visite est alors nécessaire. Dans certaines régions, un contrôle supplémentaire est effectué en août dans les niohirs à Effraie pour

documenter d'éventuelles deuxièmes nichées de cette espèce, puis le cas échéant, les visites nécessaires pour baguer les jeunes et vérifier le succès de reproduction.

La date d'éclosion est déterminée en estimant l'âge du poussin le plus âgé, d'après son développement morphologique et la longueur de son aile ou de ses rémiges primaires (Spiess & Kestenholz 2002). Les données d'une nichée sont écartées de l'estimation de date d'éclosion si aucune visite n'a lieu lors de la présence de poussins, lorsque l'âge des poussins est estimé avec une imprécision supérieure à 5 jours ou si une estimation d'âge manque. Toutefois, lorsque la date de ponte approximative est connue (par exemple grâce à un contrôle avec ponte incomplète), une date d'éclosion extrapolée peut être estimée.

L'indice d'occupation des niohirs par le Faucon crécerelle se base sur les données de 1559 niohirs occupés au minimum une fois par l'espèce durant la période d'étude 2002-2018 regroupant ensemble 11'913 données annuelles de contrôles de niohirs dont 5992 avec présence de l'espèce. Un total de 676 niohirs occupés au moins une fois par l'effraie des clochers regroupent ensemble 4851 données annuelles de contrôles de niohirs dont 1710 avec présence de l'espèce. L'estimation de la date d'éclosion des Faucons crécerelles a été documentée sur la base de 5245 nichées. Les grandeurs des nichées de 9617 familles de Faucons crécerelles ont été utilisées pour l'indice annuel de cette espèce et 2827 familles pour celui de l'effraie des clochers. Le succès de reproduction a été documenté pour 4317 nichées de Faucons crécerelles et pour 866 nichées d'Effraies des clochers.



Fig. 5. La capture de Crécerelles adultes au nid fournit de précieuses informations. Elle nécessite toutefois les compétences requises pour ne pas perturber la nidification.

2.4 Bagueage et capture

Les femelles d'Effraies sont capturées presque systématiquement dans certains projets, à l'aide de la filoché apposée contre l'entrée du nichoir. Les mâles ne le sont que sporadiquement, au moyen d'un clapet de fermeture du nichoir activé pendant la nuit. Dans le présent rapport, les données de captures d'adultes d'Effraies n'ont pas été analysées. Quelques projets tentent la capture de Faucons crécerelles adultes au nid, à l'aide d'une filoché, données qui ont contribué au modèle intégré des populations.

Entre 2002 et 2011, 808 Faucons crécerelles adultes ont été capturés au moyen de bal-chatri en saison de nidification dans les environs de nids occupés (Michler *et al.* 2016). Ces oiseaux ont été équipés par des bagues couleur à code, visibles à distance. Le bagueage des poussins ($n = 28'658$) et des adultes fournit des données permettant d'estimer la survie. Les captures d'adultes et les lectures de bagues de couleur durant la saison de reproduction fournissent des données pour 418 individus différents et les reprises d'oiseaux bagués blessés ou morts concernent 636 individus pour le Faucon crécerelle.

2.5 Autorisations

Le programme de monitoring des populations est conforme aux objectifs et exigences du programme de Monitoring démographique MoDem (von Rönn *et al.* 2019) et ne nécessite à ce titre pas d'autorisation pour expérimentation animale. La capture et le marquage par les bagueurs sont autorisés par l'Office fédéral de l'environnement.

2.6 Récolte et saisie des données

Jusqu'en 2011, les données de grandeur de ponte, nombre de poussins éclos et jeunes à l'envol ont été synthétisées par nichée, tandis que les contrôles de nichoirs vides n'ont pas été systématiquement enregistrés. En 2012, le projet a été restructuré. Des projets entrepris indépendamment ont alors rejoint le programme coordonné. Le détail des contrôles de nichoirs a été dès lors saisi et non plus seulement une donnée synthétisant la nichée. Les contrôles de nichoirs vides ont aussi été enregistrés systématiquement, permettant une meilleure estimation de l'indice d'occupation.

Pour la gestion des données, un identifiant unique a été attribué à chaque nichoir, repris autant pour la localisation des données de bagueage que pour celle des contrôles des nichées. L'historique des modifications apportées aux nichoirs est documenté. L'identification univoque des sites de nidification permet ainsi de regrouper toutes les données concernant chaque nichée.

Les formulaires de terrain (un par nichoir) ont la double fonction de fiche de terrain et de document à partir duquel la saisie est effectuée par la Station ornithologique (fig. 6). Plus d'informations sur l'inventaire des nichoirs et la gestion des données figurent dans Michler *et al.* (2016).

 **Nestprotokoll**
(Bitte für jeden Nistkasten/Brutort je ein Formularblatt ausfüllen)
Schweizerische Vogelwarte Sempach - Integriertes Populations-Monitoring

Allgemeine Daten

Gemeinde: Zeiningen **Kasten-Code 11**
 Flurname: Feldscheune "Uf Asp" 11 **Projekt-Nr 371**
 Koordinaten: 632200/266700
 Name Mitarbeiter: Hans Muster **ID-Mitarbeiter 1234**
 Kontaktperson:
 Art des Nestes: Nistkasten

Neststandort und Nestbeschreibung
 Angaben gleich wie letztes Jahr ☒ Nistkasten umgehängt (Änderungen in RingExt eingeben) ☐

Brutzeitkontrollen
 Keine Kontrolle ☐

Art(en): Turmfalke

Datum	Zeit	Anzahl Eier Eier	Eier Kütl/Warm	Anzahl Nestlinge lebend	tot	Alter/Tag Mittler Nestling	Bem.: z. Bsp. Futterreserven oder Altvogel im Kasten (abwesend, fliegt raus, bleibt sitzen, bringt Futter...)
28.04.2014		4	W	-	-		
25.05.2014		1	K	3	-	16	2 Höcker
5.07.2014		-	-	-	-		leer

Detail-Liste Nestlinge

Datum	Zeit	Alter Tage	Sex	Gewicht	Flügel	HS3	Ringnummer	Bemerkungen
25.05.2014		16					K 12345	
11		11					346	
11		11					347	

Detail-Liste Altvögel

Datum	Zeit	Alter Euring	Sex	Gewicht	Flügel	HS3	Ringnummer	Bemerkungen

Brutdaten (fakultativ)

Gelegegrösse (maximal festgestellte Eizahl): 4

Verluste (Eier, Nestlinge vor Beringung): 1

Anzahl Nestlinge nicht beringbar:

Verluste (Nestlinge nach Beringung):

Brutversuch
 Erstbrut ☒
 Zweibrut ☐
 Ersatzbrut ☐
 Unbekannt ☐

Datum Stand: 13.12.13

Fig. 6. Exemple de formulaire de terrain.

2.7 Méthodes d'analyses

Les indices présentés dans ce rapport seront actualisés périodiquement. Les méthodes statistiques qui permettent de les obtenir sont expliqués dans ce chapitre et plus en détails dans l'annexe.

Les importants changements dans la répartition des terrains d'étude et dans les réseaux de nichoirs à l'intérieur des terrains d'étude, introduisent une hétérogénéité dans les données qui doit être prise en considération dans les analyses. Pour cette raison, le nichoir a fréquemment été utilisé comme facteur aléatoire dans les modèles (voir explications sous Indice d'occupation, chapitre 2.7.1).

2.7.1 Indice d'occupation

L'indice d'occupation vise à mesurer l'évolution des effectifs reproducteurs au cours du temps. Dans le cadre du programme coordonné de monitoring des populations du Faucon crécerelle et de l'Effraie des clochers, le nombre de nichoirs contrôlés annuellement a fortement augmenté. L'interprétation de l'indice d'occupation est en particulier délicate si le réseau de nichoirs évolue dans le temps, principalement là où le réseau de nichoirs s'est densifié.

Bien que les nichoirs aient généralement été installés par les ornithologues bénévoles effectuant le suivi, certains ont été posés par des tierces personnes. Cette évolution rend l'interprétation plus difficile et doit être prise en considération. L'année d'installation n'est alors pas toujours connue et les nichoirs ne sont pas nécessairement contrôlés par les ornithologues. Enfin, des couples s'installent sur des sites naturels ou anthropiques pas toujours accessibles ou simplement inconnus des ornithologues. Ainsi, bien que les couples suivis dans la zone d'étude constituent une proportion importante de la population nicheuse, ce suivi n'est pas exhaustif.

L'introduction du nichoir dans le modèle de l'indice d'occupation comme variable aléatoire compense une grande partie des biais produits par les changements du réseau de nichoirs.

2.7.2 Date d'éclosion

Seules les nichées pour lesquelles la date d'éclosion a pu être estimée à au moins 5 jours de précision ont été retenues dans les analyses de phénologie de reproduction. Un modèle d'estimation de la date d'éclosion en fonction de la localisation de la nichée et de l'année a été réalisé pour le Faucon crécerelle en admettant une distribution normale des éclosions.

L'Effraie des clochers effectue fréquemment une deuxième nichée et il n'est pas toujours aisé de distinguer les premières pontes tardives des secondes pontes ou des pontes de remplacement, ce qui rend difficile une estimation de la date d'éclosion de premières nichées. De plus, un contrôle lors de la deuxième nichée n'est pas effectué dans tous les projets. Pour cette raison, le modèle traitant des dates d'éclosion des Faucons crécerelles n'a pas pu être appliqué à l'Effraie.



Fig. 7. Nichée de Faucon crécerelle installée sous un pont d'autoroute.

2.7.3 Succès de reproduction

Une nichée est considérée comme couronnée de succès, si des jeunes vivants ayant au moins 14 jours pour les Faucons crécerelles et 18 jours pour les Effraies des clochers sont présents. Cet âge est reconnu comme l'âge minimal pour baguer des poussins. Ainsi, le baguage de poussins suffit comme attestation de succès de reproduction d'une nichée. Le succès est aussi reconnu si cet âge minimal a pu être vérifié sans baguage des poussins. Des jeunes oiseaux observés à l'envol, apparte-

nant avec certitude à la nichée contrôlée remplissent aussi les conditions de succès de reproduction. Un succès est reconnu indépendamment du nombre de jeunes atteignant cet âge. Ainsi, les critères permettant d'attester l'échec sont soit le cumul d'œufs abandonnés et de poussins morts équivalant au maximum constaté pour la nichée, soit le contrôle d'un nid vide ou une nichée abandonnée avant que l'envol des jeunes ne soit possible. L'âge d'envol minimal est estimé à 27 jours pour le Faucon crécerelle et 44 jours pour l'Effraie des clochers.

Seules les nichées ayant bénéficié d'au moins deux visites par saison de nidification ont été retenues pour le calcul du succès de reproduction. Les probabilités de documenter un échec en ne visitant une nichée qu'à une seule reprise sont plus faibles. Lorsqu'aucun contrôle n'est effectué à partir du moment où l'âge minimal de baguage est atteint, l'issue de la nichée est considérée comme inconnue. Ces nichées sont écartées des analyses de succès de reproduction.

2.7.4 Grandeur de la nichée

Pour l'estimation de la grandeur des nichées avérées, le nombre maximal d'œufs et / ou de poussins est pris en compte. Des nichées contrôlées tardivement dans leur développement sont susceptibles d'être sous-estimées dans leur grandeur, puisque des pertes ont pu survenir entre-temps. Nous considérons toutefois que ce biais est relativement constant entre les années et que son influence sur les variations interannuelles est négligeable.

Les grandes pontes sont souvent issues de deux pontes distinctes (par exemple nichée échouée au stade de l'incubation et nichée de remplacement sans évacuation des œufs de la première). Tant que possible, ces deux nichées constatées simultanément ont été distinguées (poussins éclos considérés comme appartenant à la nichée de remplacement ; les autres œufs étant attribués à la première nichée échouée). Si cette distinction n'est pas possible, les données de grandes nichées ont été conservées telles quelles. Les valeurs extrêmes sont donc à interpréter avec prudence.

2.7.5 Productivité

La valeur utilisée pour l'estimation de la productivité est la grandeur de la nichée lorsque le plus grand poussin a au moins atteint l'âge d'être bagué (voir sous *succès de reproduction*). Les nichées ayant échoué ont été écartées. Pour estimer la productivité annuelle, le même modèle est utilisé que pour l'estimation de la grandeur des nichées.

2.7.6 Dynamique des populations du Faucon crécerelle

L'objectif initial de la coordination du suivi des Faucons crécerelles et Effraies des clochers était de collecter les données nécessaires pour établir un modèle intégré de population. Pour comprendre la dynamique de la population dans son ensemble, ce type de modèle combine l'estimation des différents paramètres démographiques : la survie (adultes et jeunes), la reproduction et le bilan immigration / émigration. Ainsi, les paramètres difficiles à mesurer directement, tels que l'immigration et l'émigration, peuvent être estimés grâce aux données connues telles que la grandeur de la population, la productivité et les recaptures d'oiseaux adultes.

Ces analyses ont été réalisées par Rémi Fay dans le cadre d'un post-doc supervisé par Michael Schaub. Deux questions ont principalement été traitées :

- Quelle est la contribution de la population de Faucons crécerelles se reproduisant dans les nichoirs dans l'essor des effectifs de cette espèce en Suisse durant les vingt dernières années ?
- La survie des jeunes dans leur première année est-elle corrélée avec le succès de reproduction ? Leur chance de survie souffre-t-elle d'une plus forte concurrence dépendante d'une plus grande densité de jeunes (corrélation négative) ou ces derniers profitent-ils aussi des conditions favorables qui ont permis une bonne reproduction (corrélation positive) ?

Afin de mesurer les avantages que représentent les nichoirs pour la reproduction, une synthèse de la littérature a été réalisée examinant la productivité de différentes populations nichant dans différents types de nids : nichoirs, cavités naturelles (y compris bâtiments) et nids ouverts. Le nombre de couples suivis en cavités naturelles et en nids ouverts est trop faible pour que cette analyse ait pu être réalisée sur la base des données du programme de monitoring des populations.

Les méthodes d'analyse sont décrites en détail dans les deux publications qui en résultent (Fay et al. 2019, Fay et al. 2020a). Parce qu'elles diffèrent des méthodes estimant la productivité et le succès de reproduction présentées précédemment dans le présent rapport, les résultats diffèrent légèrement.



Fig. 8. Femelle nicheuse de Faucon crécerelle commençant la mue de ses rémiges et couvertures primaires.

2.7.7 Synchronie de la productivité comme indicateur de l'abondance de proies

Afin de tester l'hypothèse que la productivité dépend fortement de la disponibilité en campagnols, Jacques Jeanmonod et son équipe ont systématiquement documenté les restes de proies trouvés parmi les nichées de Faucons crécerelles de la plaine de la Broye. Pour cette analyse, les restes de campagnols et d'oiseaux ont été retenus, les oiseaux étant reconnus pour être plutôt des proies alternatives, lorsque les proies de prédilection manquent. L'offre en campagnols est estimée pour chaque année en termes de proportion de l'ensemble des proies. La relation entre l'offre en proies et la productivité moyenne annuelle est ensuite estimée grâce à un modèle linéaire. (cf Fay et al. (2020b) pour le détail des méthodes d'analyses estimant la synchronie spatiale de la reproductivité).

3. Résultats

3.1 Indice d'occupation

3.1.1 Faucon crécerelle

L'indice d'occupation des niohirs par les Faucons crécerelles, calculé sur la base des données du programme de monitoring des populations montre une légère progression. Elle est remarquable compte tenu de la forte augmentation de l'offre en niohirs (fig. 10). Cela signifie que les effectifs nicheurs n'ont pas encore atteint les limites des capacités d'accueil des milieux. Cette augmentation suggère également que la disponibilité des sites de nidification constitue toujours le principal facteur limitant la population de Faucons crécerelles.

Le printemps 2013 remarquablement pluvieux a conduit à une occupation plus faible dans la majorité des cantons, qui ne s'est pas répercutée sur les années suivantes.



Fig. 9. Jeune crécerelle d'approximativement 25 jours.

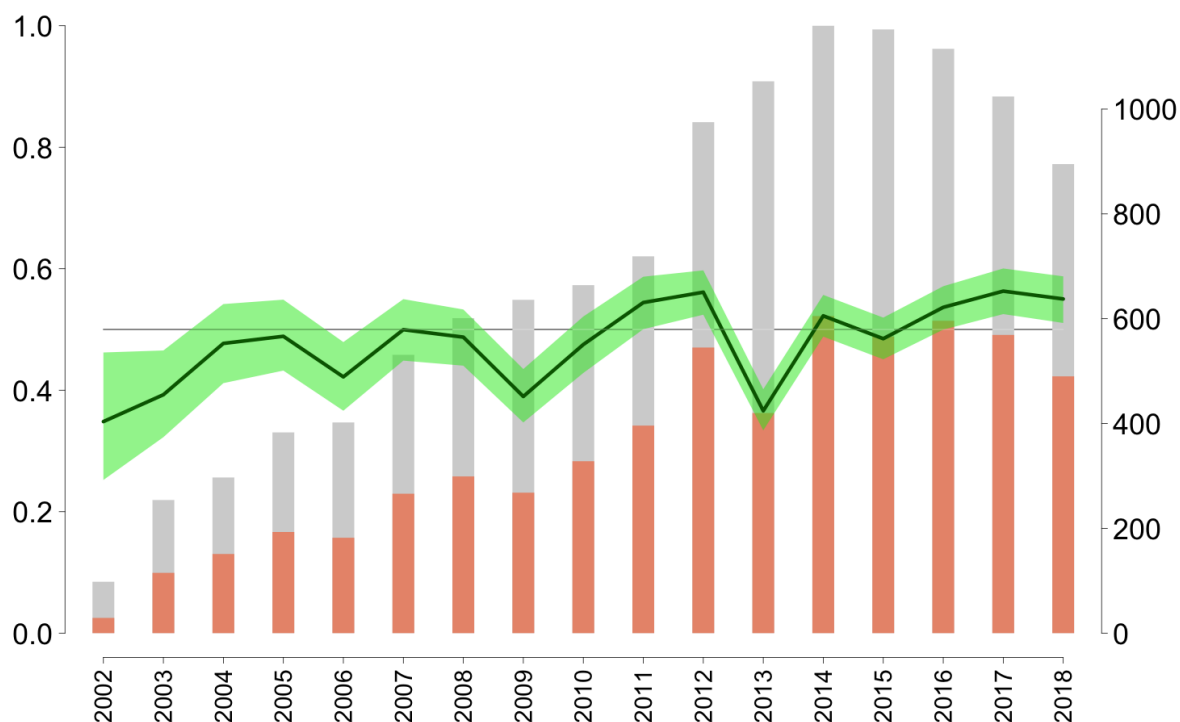


Fig. 10. Indice d'occupation pour le Faucon crécerelle avec intervalle d'incertitude (vert). L'échelle de l'indice est à gauche du graphique. Les colonnes en arrière-plan montrent les nombres de niohirs (colonnes grises) et de niohirs occupés (colonnes saumon). L'échelle des valeurs est indiquée sur l'axe de droite.



Fig. 11. Indice d'occupation selon le modèle pour le Faucon crécerelle pour les douze cantons fournissant le plus de données. Voir la figure 10 pour la signification des éléments du graphique.

3.1.2 Effraie des clochers

Les effectifs nicheurs de l'Effraie des clochers fluctuent fortement (fig. 12). L'indice d'occupation montre de fortes chutes en 2006, 2009 et 2013, compensées les années suivantes. Dans certaines régions toutefois, la reprise n'a été possible qu'après plusieurs années avec des effectifs très bas (LU), voire toujours incomplète en 2018 (ZH). Globalement, la progression s'est maintenue en 2016 et 2017 pour l'ensemble du pays avec un léger recul de l'indice d'occupation en 2018.

L'indice d'occupation de 80 % observé en début de suivi est extrêmement élevé. Les premiers suivis ont été effectués dans les régions à forte densité, ce qui peut expliquer ces valeurs très hautes.

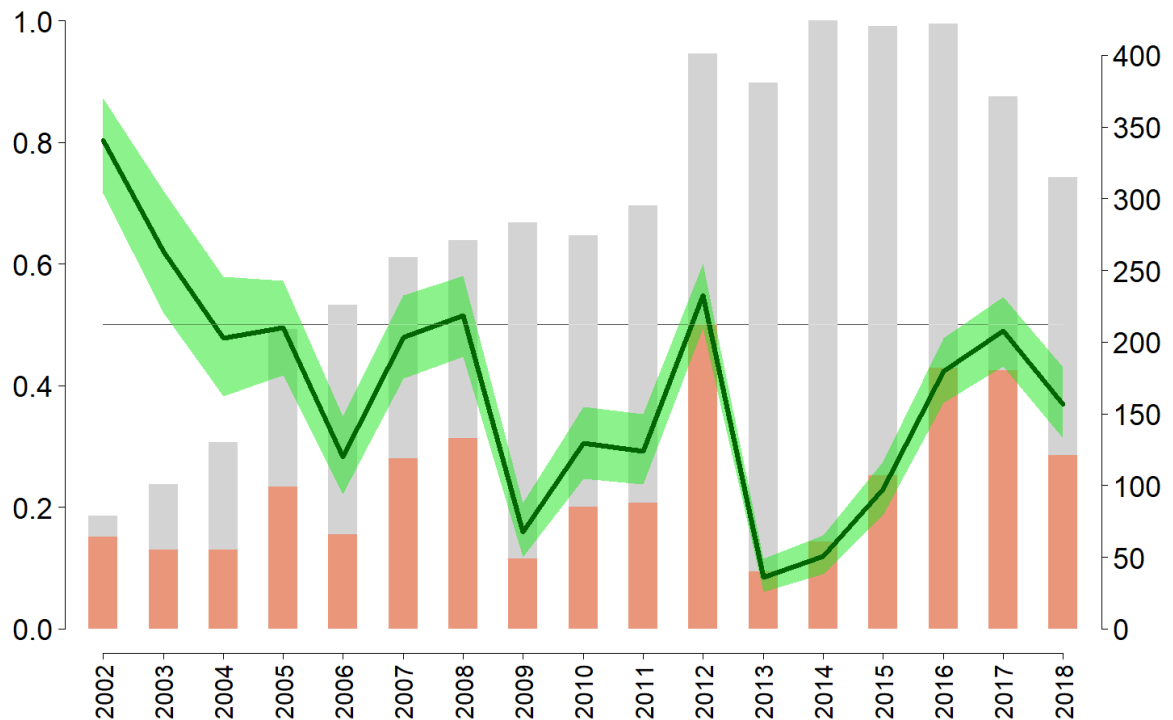


Fig. 12. Indice d'occupation pour l'effraie des clochers. Voir la figure 10 pour la signification des éléments du graphique.

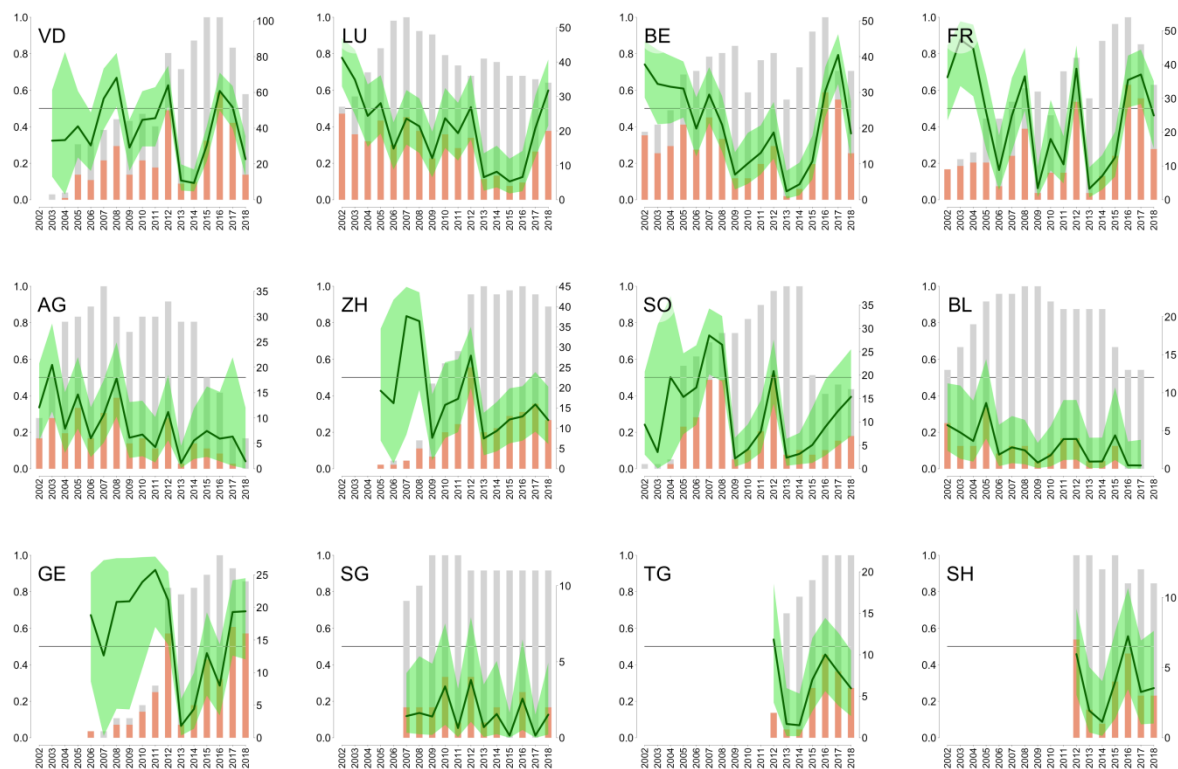


Fig. 13. Indice d'occupation selon le modèle pour l'Effraie des clochers pour les douze cantons fournissant le plus de données. Voir la figure 10 pour la signification des éléments du graphique.

3.2 Date d'éclosion

3.2.1 Faucon crécerelle

La date moyenne d'éclosion pour un site virtuel moyen (moyenne des latitudes, longitudes et altitudes de tous les nichoirs produisant des données) se situe au 2 juin. Entre les nichoirs de basse altitude dans le sud-ouest de la Suisse et les collines de Schaffhouse et de Thurgovie, les dates d'éclosion diffèrent de 21 jours en moyenne (fig. 15). Autant la localisation (latitude et longitude) que l'altitude influencent cette date. Les nichées sont plus hâtives en basse altitude. Environ une semaine sépare en moyenne les nichées enregistrées autour de 450 m de celles à 600 m. Dès cette altitude et jusqu'à au moins 1000 m (sites contrôlés les plus hauts), les dates de ponte ne semblent pas différer (fig. 16). Ce plafonnement mérite d'être confirmé compte tenu du faible nombre de données en altitude.

Onze jours séparent les moyennes de l'année la plus hâtive (2011 : 26 mai) de la seconde année la plus tardive (2009 : 6 juin). La moyenne de l'année 2013 (14 juin), particulièrement perturbée par des intempéries en mai était retardée de 8 jours par rapport à 2009 et 12 jours par rapport la moyenne des années.

Les éclosions les plus hâtives sont estimées au 13 avril. Les deux mentions qui les documentent proviennent de Combremont-le-Grand VD, où un jeune d'une famille de cinq a déjà quitté le nid le 18.5.2014 (J. Jeanmonod) et de Glattfelden ZH, où la nichée est contrôlée le 16.5.2014 avec des jeunes proches de l'envol (R. Sand). Les éclosions les plus tardives sont estimées au 28-29 juillet et proviennent de Montagny-la-Ville FR, où cinq jeunes d'environ 29 jours ont été bagués le 26.8.2016 (J. Jeanmonod), et de Rovray VD, où quatre jeunes de 21 jours environ ont été bagués le 19.8.2017 (L. Strehler).

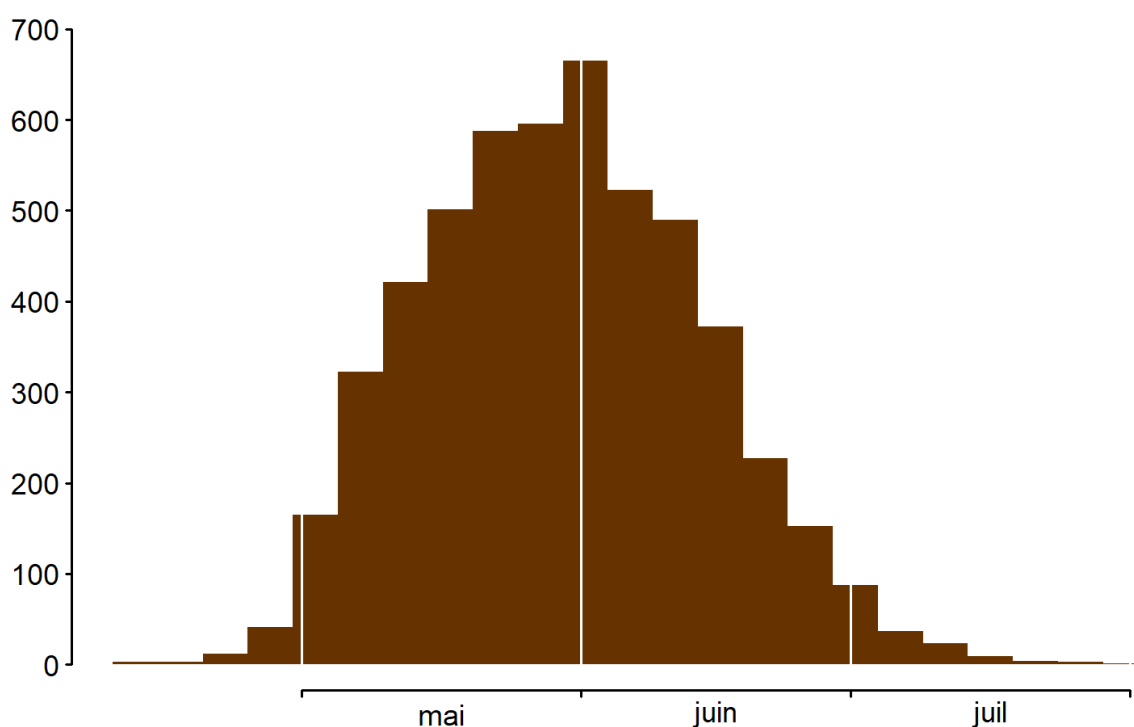


Fig. 14. Distribution des dates d'éclosions observées pour le Faucon crécerelle.

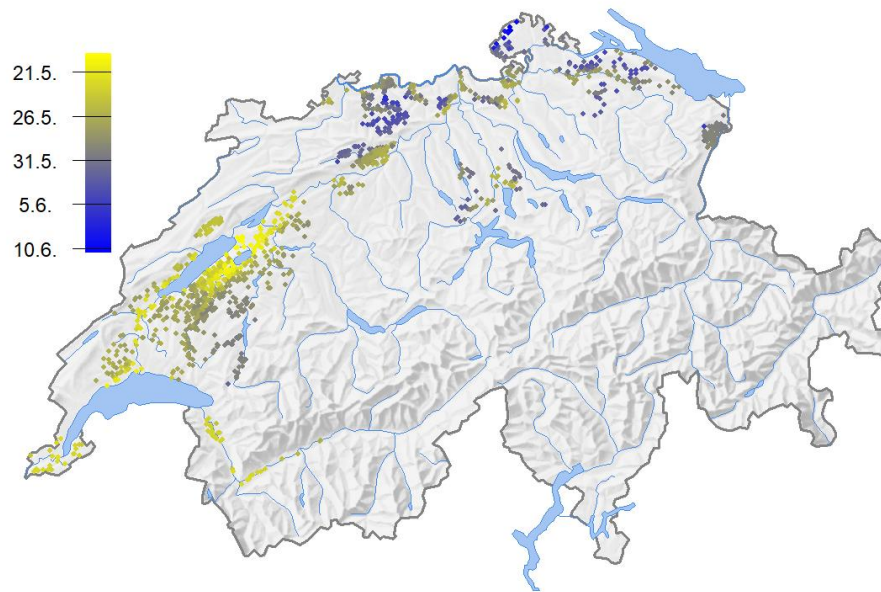


Fig. 15. Représentation spatiale des dates moyennes d'éclosion chez le Faucon crécerelle tenant compte de la latitude, de la longitude et de l'altitude. L'échelle des couleurs présente en jaune les sites où les nidifications sont en moyenne hâtives et en bleu où elles sont tardives. Fond de carte : © Swisstopo.

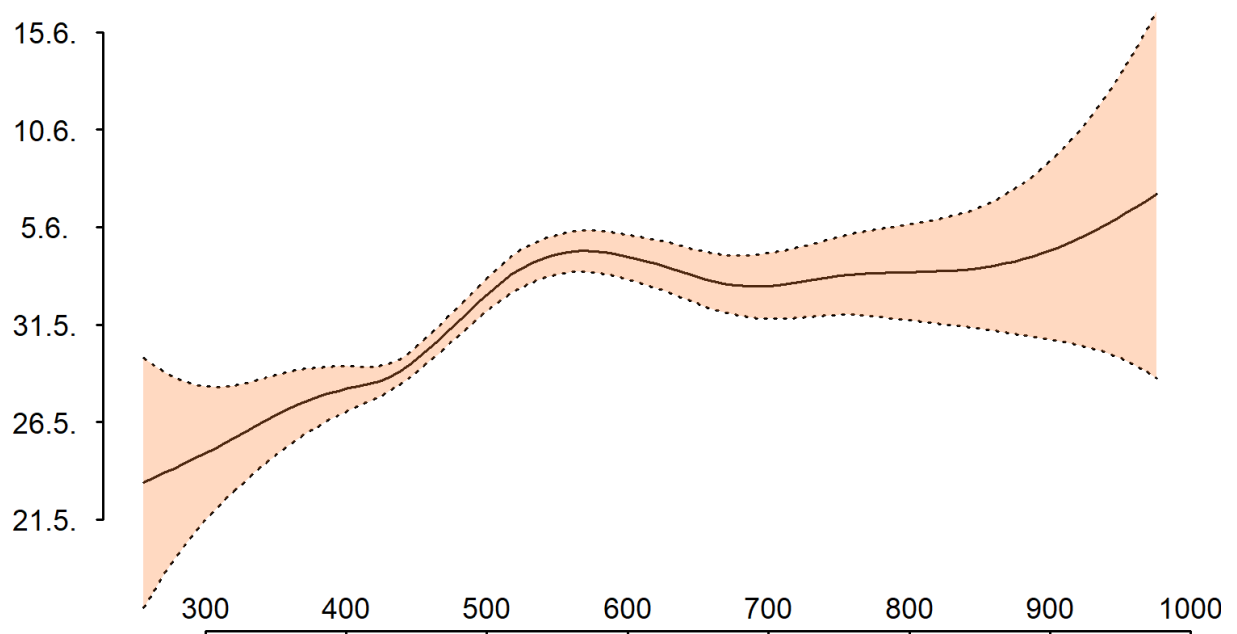


Fig. 16. Relation entre la date d'éclosion (axe vertical) et l'altitude (axe horizontal) pour le Faucon crécerelle. Le modèle prend en compte l'influence de la latitude et de la longitude.

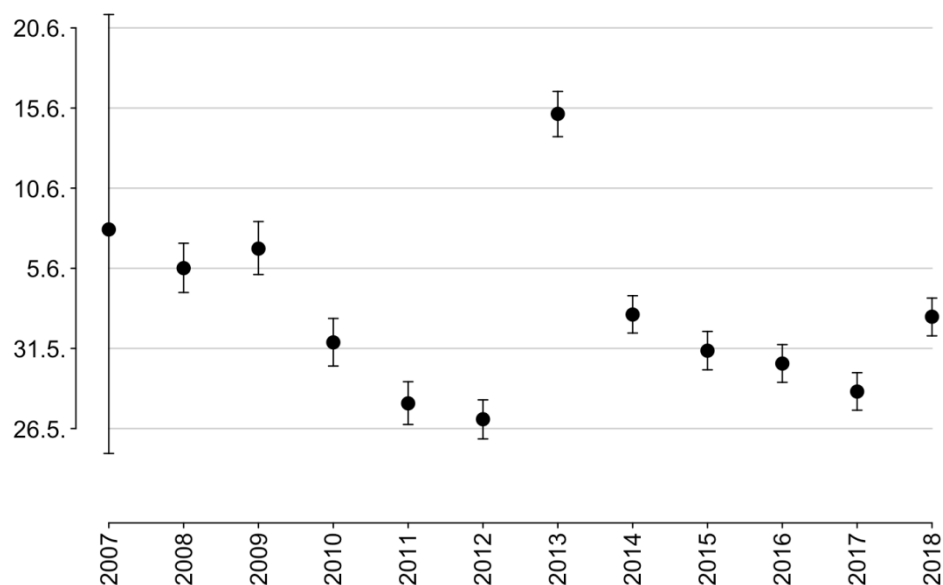


Fig. 17. Estimation des moyennes annuelles des dates d'éclosion chez le Faucon crécerelle pour un site virtuel moyen.

3.2.2 Effraie des clochers

Le maximum des éclosions intervient entre fin avril et début mai. La fréquence des éclosions diminue ensuite progressivement jusqu'à début septembre, où les dernières sont observées (fig. 18). Il est alors difficile de distinguer les premières nichées tardives des nichées de remplacement et des secondes nichées. L'éclosion la plus hâtive est estimée au 15 mars. Elle concerne une nichée baguée le 4.4.2016 à Corcelles-près-Payerne VD, dont le jeune le plus âgé avait approximativement 20 jours (Université de Lausanne). La donnée la plus tardive concerne un jeune bagué le 8.11.2011 à Hohnau LU, dont l'âge a été estimé à 58 jours (M. Buchs). La date d'éclosion se situerait aux alentours du 11 septembre.

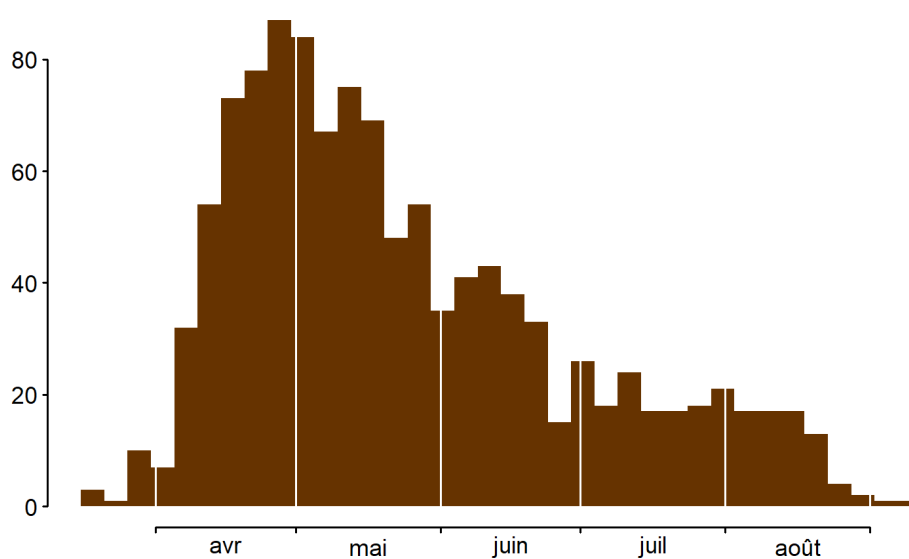


Fig. 18. Distribution des dates d'éclosion pour l'Effraie des clochers.

3.3 Grandeur des nichées, productivité et succès de reproduction

3.3.1 Faucon crécerelle

La grandeur des pontes des Faucons crécerelles se situe le plus souvent entre 3 et 6 œufs et atteint occasionnellement 7 ou 8 œufs. Les valeurs au-delà de 8 concernent plus vraisemblablement deux couvées (fig. 19). Les nichées de un ou deux œuf(s) / poussin(s) sont fréquemment issues de contrôles tardifs dont les pertes n'ont pas été enregistrées, ou de pontes incomplètes abandonnées.

La grandeur des nichées moyenne fluctue entre 3,87 (2013) et 5,04 (2007) en fonction des années. Sur l'ensemble de la période d'étude, la grandeur des nichées moyenne est estimée à 4,55 (fig. 20).

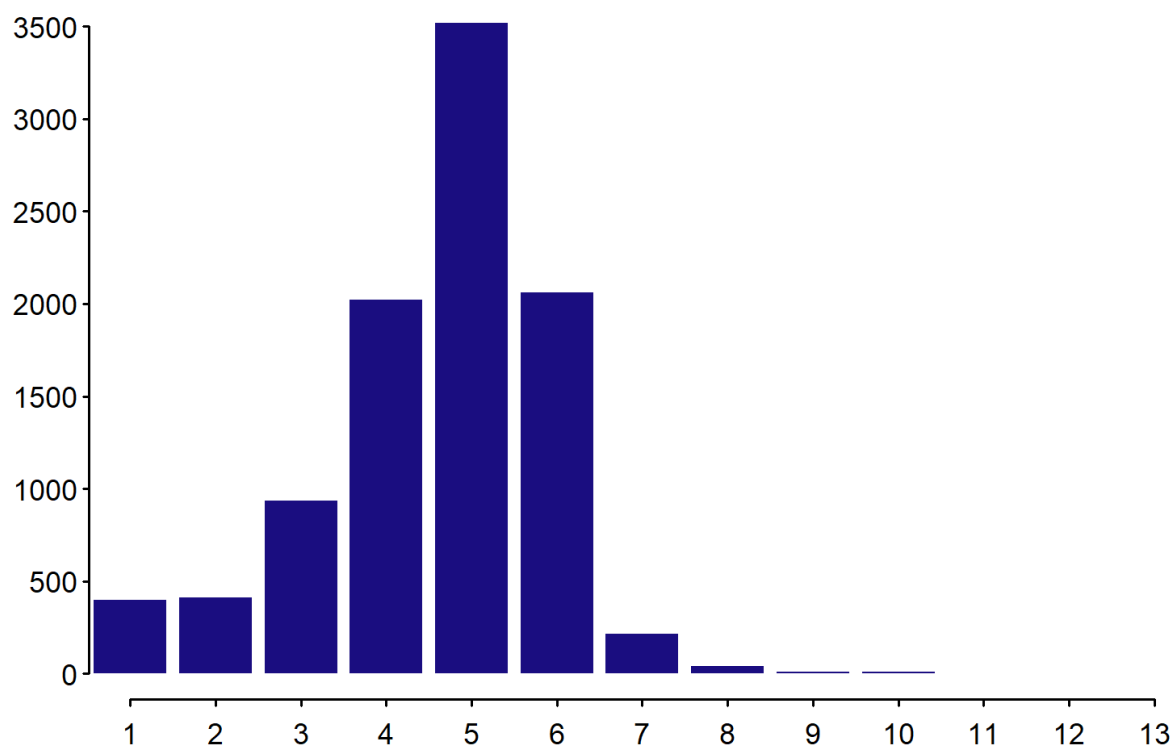


Fig. 19. Distribution des grandeurs de nichées pour le Faucon crécerelle. Voir le texte pour l'interprétation des valeurs extrêmes.

Les Faucons crécerelles enregistrent régulièrement des pertes entre la ponte et le baguage des poussins. La productivité moyenne par nichée se situe entre 2,73 (2013) et 4,26 (2011). Les pertes se situent entre 0,38 œuf ou poussin par nichée en 2011 et 1,28 en 2007 (fig. 20). Des pertes supérieures ont été mesurées avant 2007, mais les données moins nombreuses et les méthodes de suivi quelque peu différentes peuvent expliquer ces valeurs plus basses.

Depuis 2008, le succès de reproduction annuel est élevé et relativement constant, oscillant aux environs de 91,8 %. Avant cela, les données moins nombreuses et les méthodes de suivi quelque peu différentes peuvent expliquer des succès de reproduction plus bas. En laissant de côté cette phase initiale du projet, les moyennes annuelles extrêmes de succès de reproduction se situent entre 86,7 % en 2013 et 94,7 % en 2011 et 2012 (fig. 21). Aucune tendance temporelle n'apparaît dans le succès de reproduction.

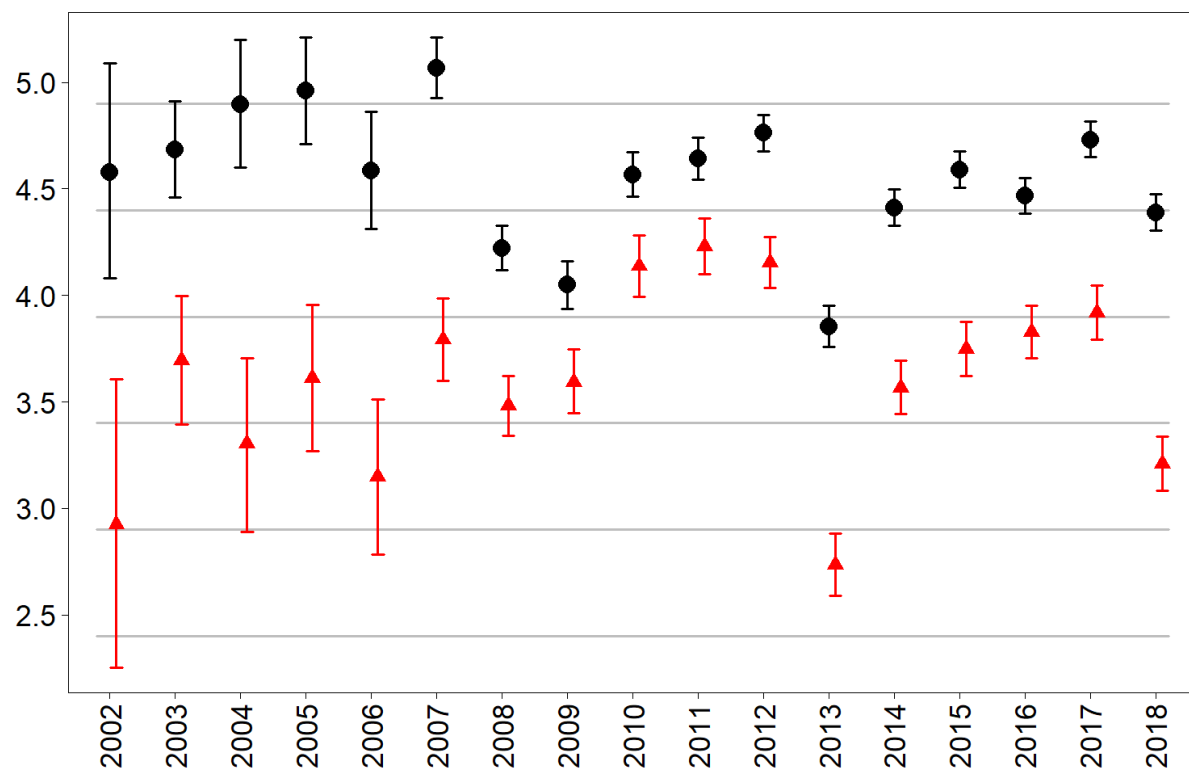


Fig. 20. Moyenne annuelle de la grandeur des nichées (ronds noirs) et de la productivité (grandeur des nichées à l'âge du baguage, triangles rouges) de Faucons crécerelles.

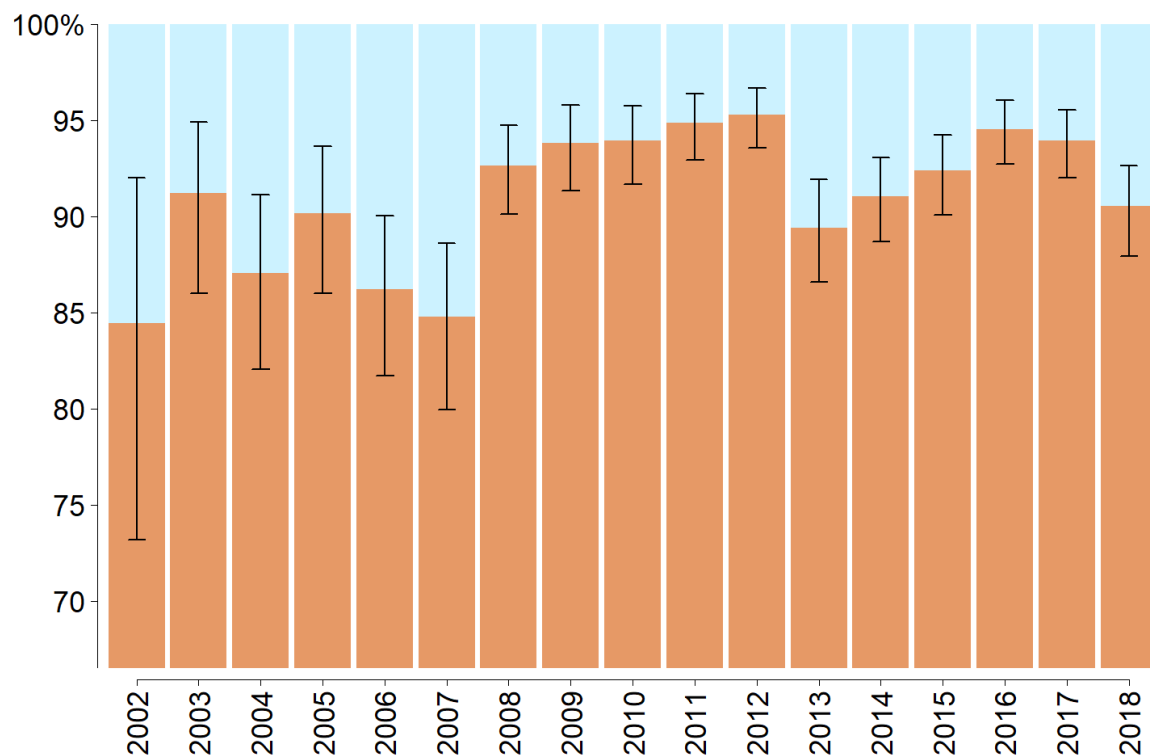


Fig. 21. Taux de succès de reproduction du Faucon crécerelle (colonnes orange). La barre noire indique l'intervalle d'incertitude.

3.3.2 Effraie des clochers

La plupart des nichées possèdent entre 4 et 7 œufs. Les valeurs au-delà de 10 œufs comportent vraisemblablement deux couvées, par exemple une première nichée avec œufs stériles à laquelle s'ajoute une ponte de remplacement (fig. 22). Les nichées de un ou deux œuf(s) / poussin(s) sont fréquemment issues de contrôles tardifs dont les pertes n'ont pas été enregistrées, ou de pontes incomplètes abandonnées.

La grandeur moyenne annuelle des couvées se situe entre 4,50 (2008) et 6,17 (2007) selon le modèle et la moyenne des années à 5,28 (fig. 23).

Les pertes entre la ponte et le baguage des jeunes sont relativement faibles chez l'Effraie des clochers. En écartant les données d'avant 2008 pour lesquelles l'effort d'échantillonnage est trop faible pour être comparable, la productivité moyenne annuelle se situe entre 3,67 (2018) et 5,30 (2010). Les pertes se situent entre 0,13 œuf ou poussin par nichée en 2010 et 1,10 en 2018.

Le succès de reproduction relativement bas enregistré dans la phase initiale du projet entre 2002 et 2007 se base sur un nombre de nids plus faible et est peut-être influencé par une méthode de suivi quelque peu différente.

Entre 2008 et 2018, la moyenne est de 95,1 %. Depuis 2010 qui enregistre le taux maximal de 97,9 %, cette valeur diminue progressivement pour atteindre 90,6 % en 2018 (fig. 24).

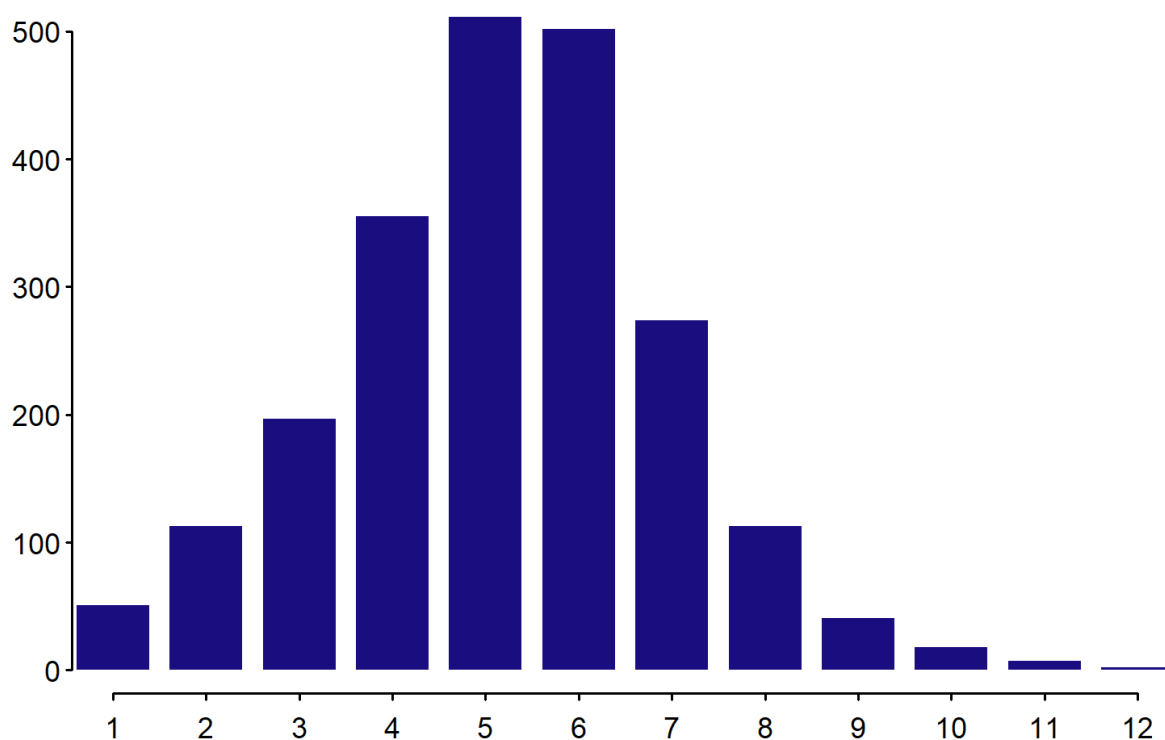


Fig. 22. Grandeurs de nichées pour l'Effraie (axe horizontal). Voir le texte pour l'interprétation des valeurs extrêmes.

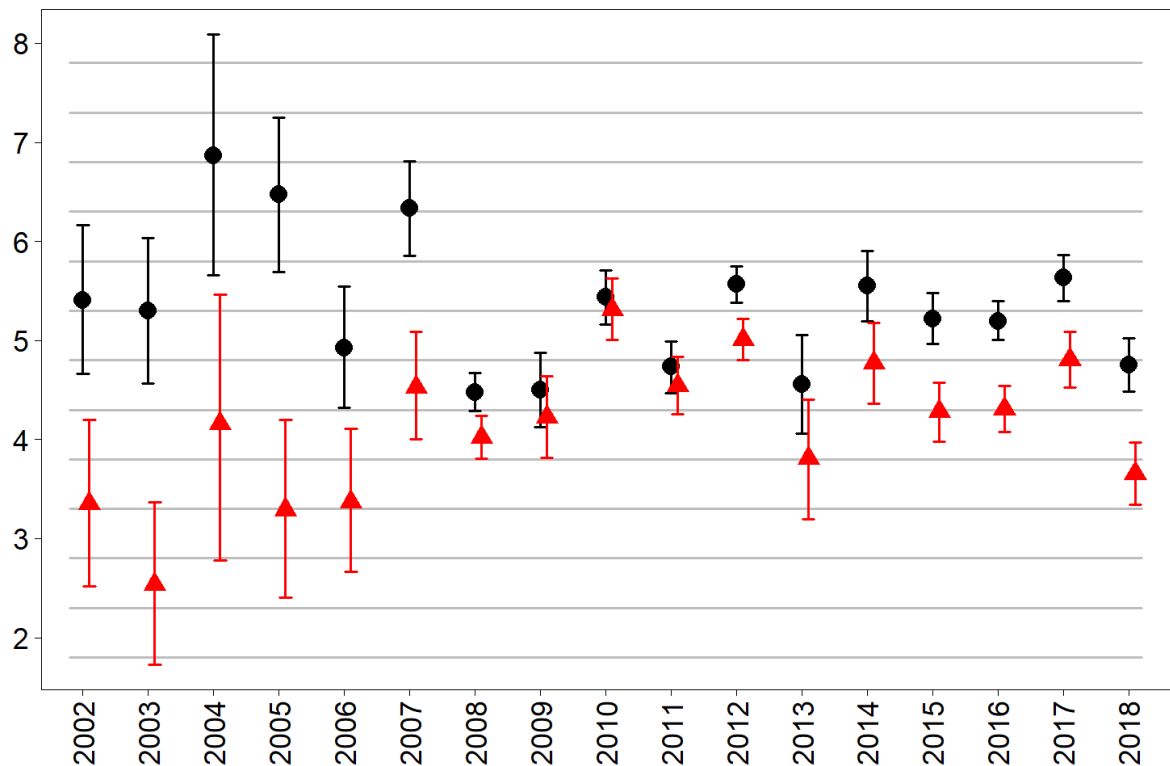


Fig. 23. Moyenne annuelle de la grandeur des nichées (ronds noirs) et de la productivité (grandeur des nichées à l'âge du baguage, triangles rouges) d'Effraies des clochers.

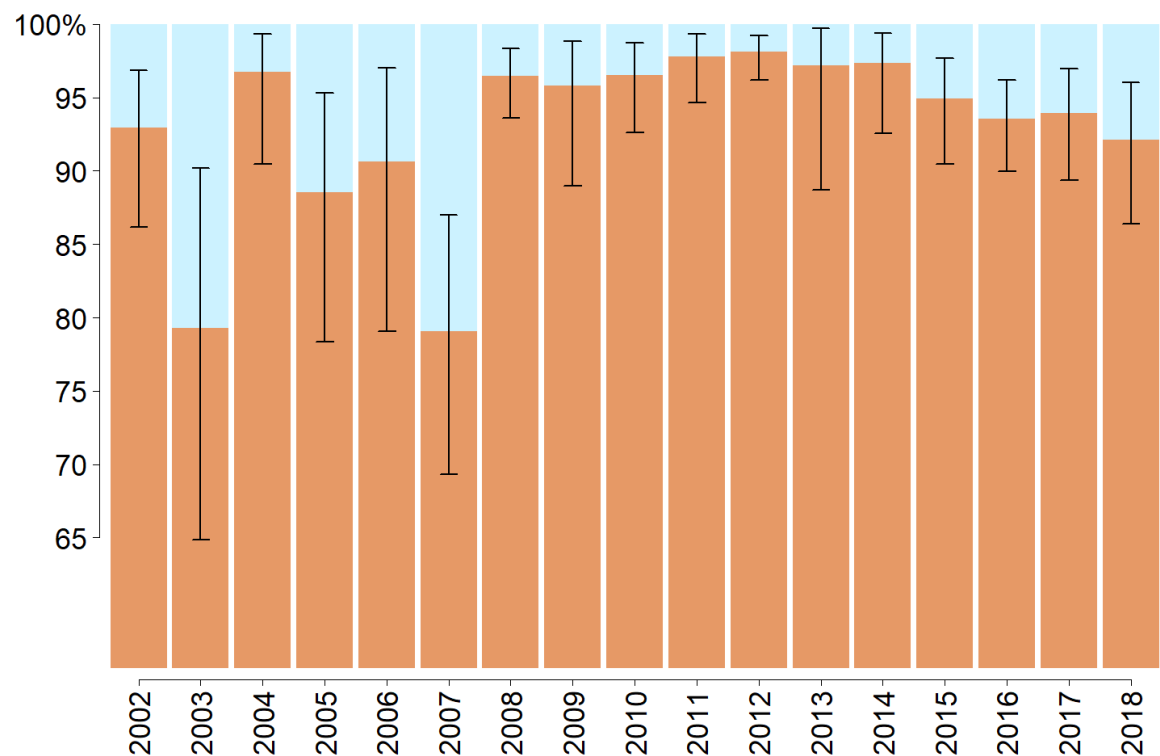


Fig. 24. Taux de succès de reproduction de l'Effraie des clochers (colonnes orange). La barre noire indique l'intervalle d'incertitude.

3.4 Dynamique des populations du Faucon crécerelle

Les résultats présentés dans ce chapitre sont issus de deux publications récentes (Fay et al. 2019, Fay et al. 2020a).

Tabl. 1. Estimation des valeurs moyennes annuelles des différents paramètres démographiques et les variances correspondantes pour la période 2002-2016. Entre parenthèses figurent les intervalles d'incertitude à 95 %.

Paramètres démographiques	Moyenne	Variance
Survie des adultes	0,72 (0,69, 0,76)	0,15 (0,01, 0,37)
Survie des jeunes	0,49 (0,45, 0,54)	0,11 (0,01, 0,30)
Succès de reproduction	0,88 (0,87, 0,90)	0,24 (0,09, 0,44)
Productivité par nichée avec succès	4,20 (3,99, 4,41)	0,38 (0,25, 0,59)
Taux de dispersion	-0,38 (-0,49, -0,27)	0,08 (0,00, 0,18)
Croissance annuelle de la population	1,07 (1,05, 1,08)	-

3.4.1 Contribution des nichoirs à la démographie de l'espèce

Le taux de survie moyen annuel des adultes a été estimé à 72 % (intervalle de crédibilité à 95 % : 69-76) et à 49 % (45-54) pour les jeunes dans leur première année (tab. 1, fig. 25 en haut).

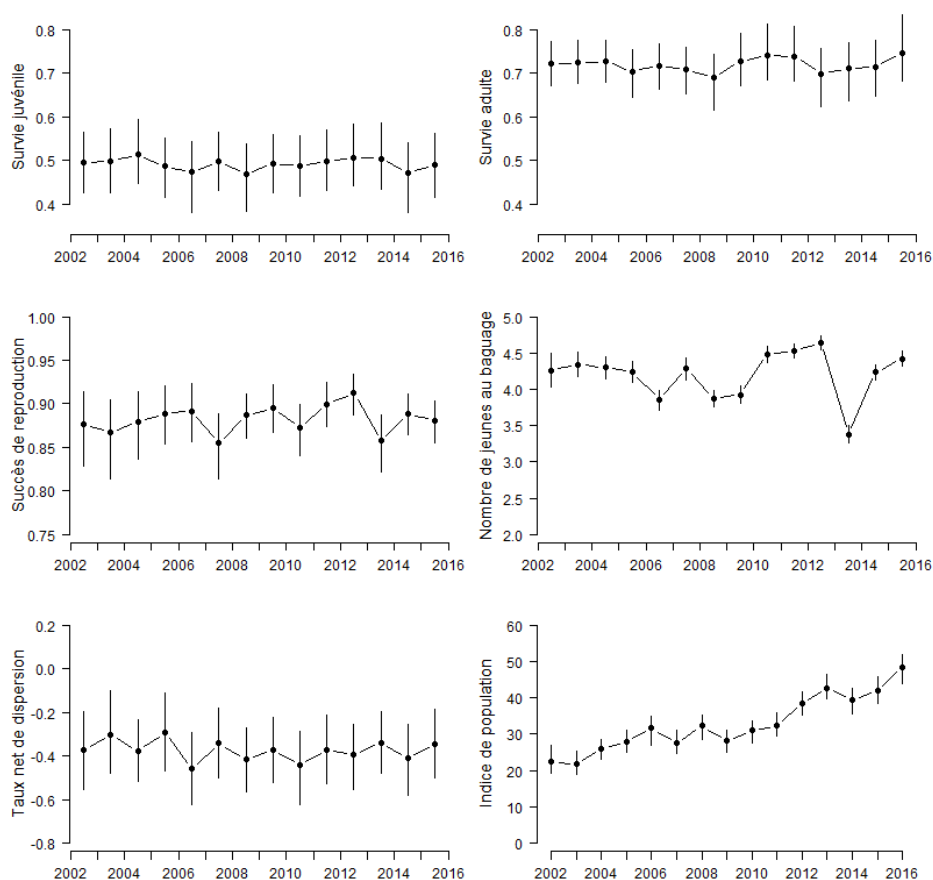


Fig. 25. Estimations annuelles des différents paramètres démographiques obtenus grâce au modèle intégré de population. Les valeurs trouvées pour le succès de reproduction et pour la productivité diffèrent légèrement de celles présentées dans le chapitre 3.3 du fait d'une sélection des données différentes. Tiré de Fay et al. (2019).

Le modèle démontre que le taux net de dispersion (c'est-à-dire l'émigration soustraite à l'immigration) est négatif (fig. 25, première colonne en bas), c'est-à-dire qu'un plus grand nombre d'oiseaux élevés dans le réseau de nichoirs suivis s'est établi en dehors de celui-ci (émigration) que l'inverse (immigration). On parle dans ce cas d'une population source, produisant plus d'individus en âge de se reproduire qu'il n'en recrute (par opposition à une population puits). Les reprises de baguage montrent que les jeunes se dispersent jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres. Ainsi, les excédents d'individus produits dans la zone d'étude profitent aux populations voisines (fig. 26).

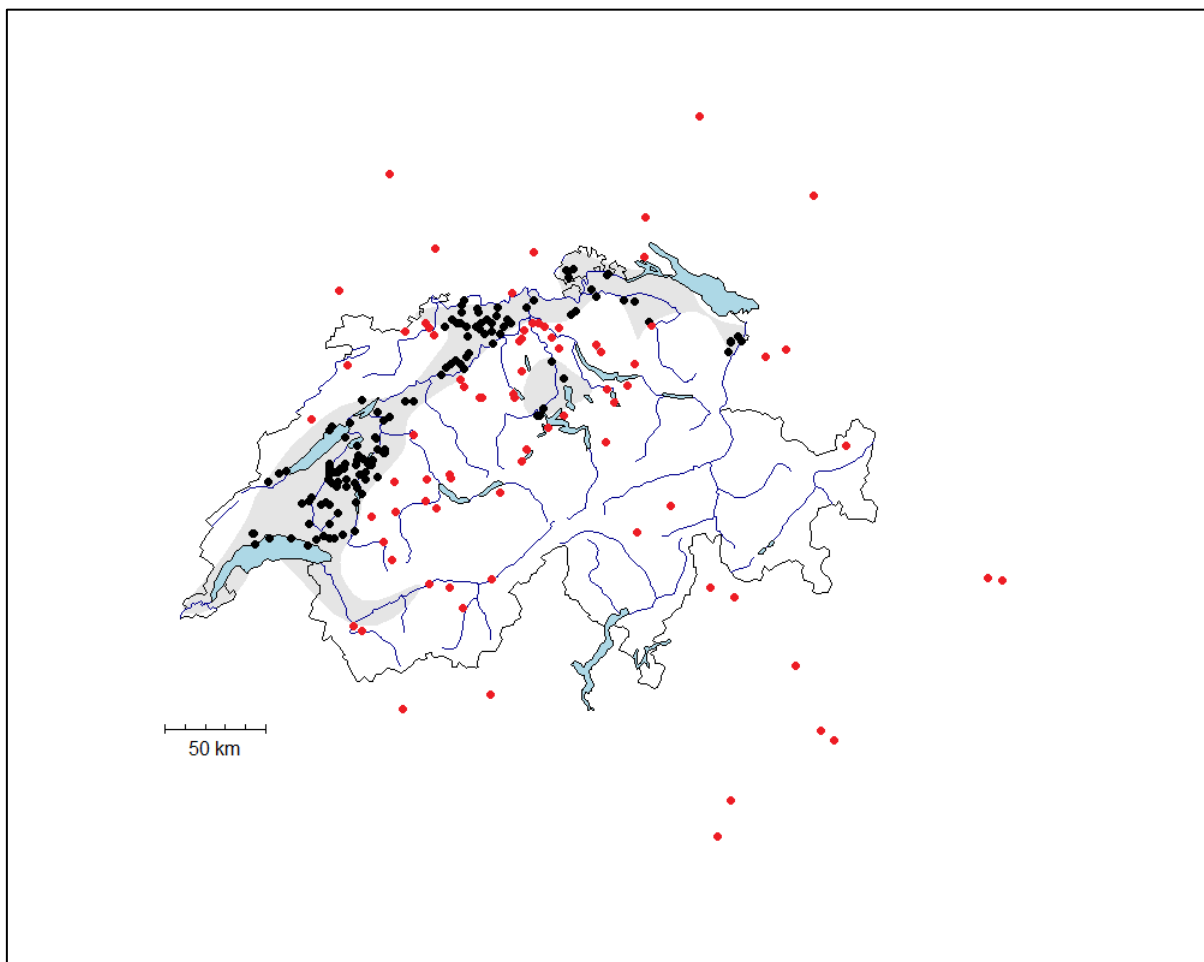


Fig. 26. Reprises de Faucons crécerelles bagués comme poussins et retrouvés adultes pendant la saison de nidification (1.4-15.8). La couleur des points indique la localisation des reprises au sein de la zone d'étude (noir) et en dehors (rouge). Tiré de Fay et al. (2019).

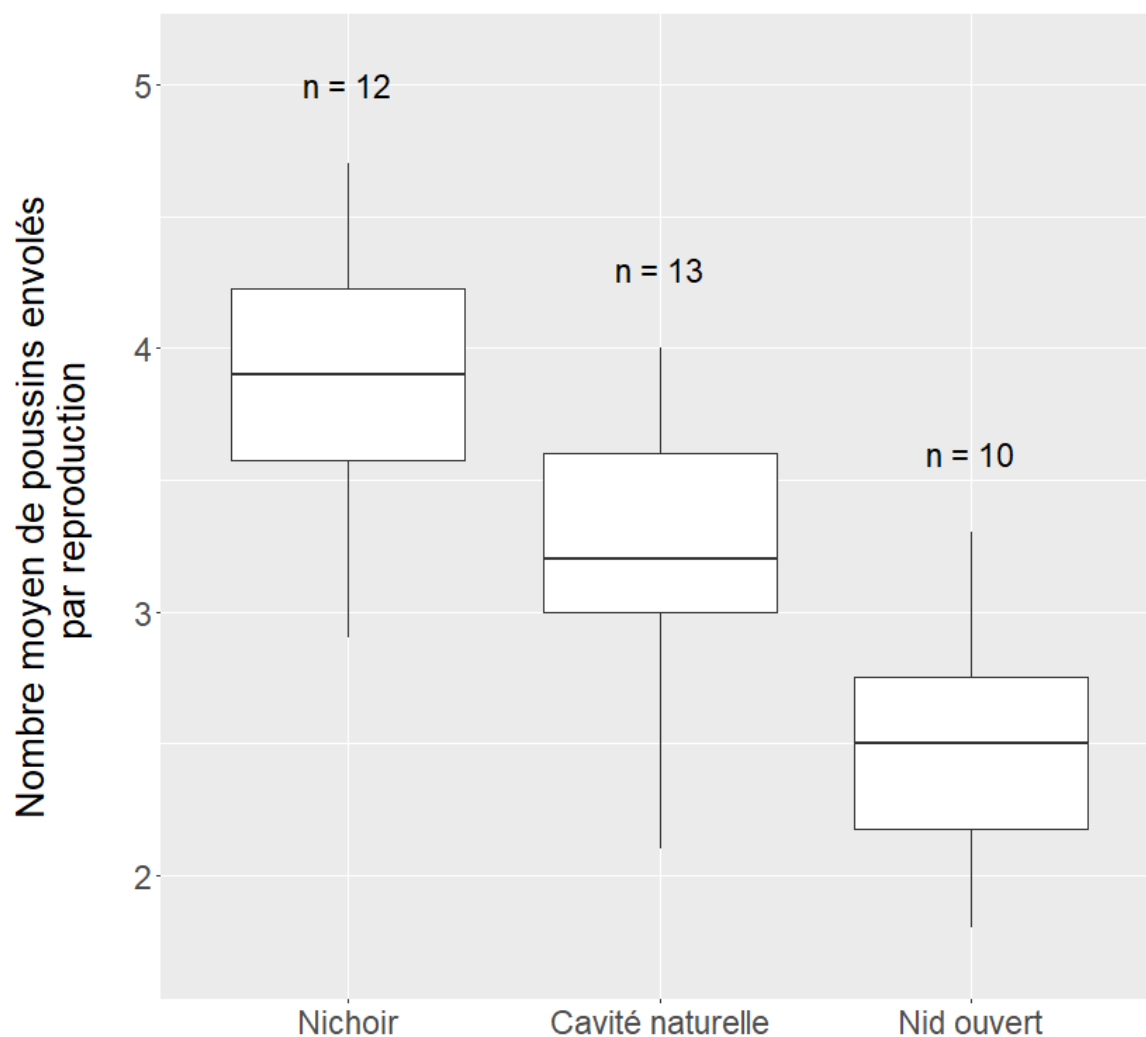


Fig. 27. Fécondité selon le type de nid pour le Faucon crécerelle. Les données proviennent de différentes études publiées. Le nombre d'études sur lesquelles se basent les estimations est mentionné par le n. Tiré de Fay et al. (2019).

Une analyse de la littérature montre que la productivité au sein des nichoirs est nettement supérieure à celle dans des cavités naturelles et plus encore à celle dans des nids ouverts (fig. 27). La grandeur des pontes est similaire et c'est principalement le taux d'éclosion et la survie des poussins qui influencent la productivité. Une simulation utilisant le modèle intégré de population montre que les nicheurs ne produiraient plus d'excédent de recrues s'ils devaient se satisfaire de nids ouverts et que celui-ci serait bien moindre en cavités naturelles (Fay et al. 2019).

Les fluctuations annuelles des effectifs sont principalement déterminées par les changements dans la productivité. Ce résultat indique que la croissance de la population de Faucons crécerelles repose avant tout sur les performances de reproduction. L'influence de la dispersion sur les variations d'effectifs semble être également forte.

3.4.2 Corrélations entre variables démographiques

Les jeunes élevés lors d'années avec forte productivité bénéficient en moyenne de meilleures chances de survie durant la première année de leur vie que les jeunes élevés lors d'années avec faible productivité. La survie des adultes est elle aussi légèrement meilleure après un bon succès de reproduction, bien que cette corrélation soit moins nette que pour la survie des jeunes (fig. 28).

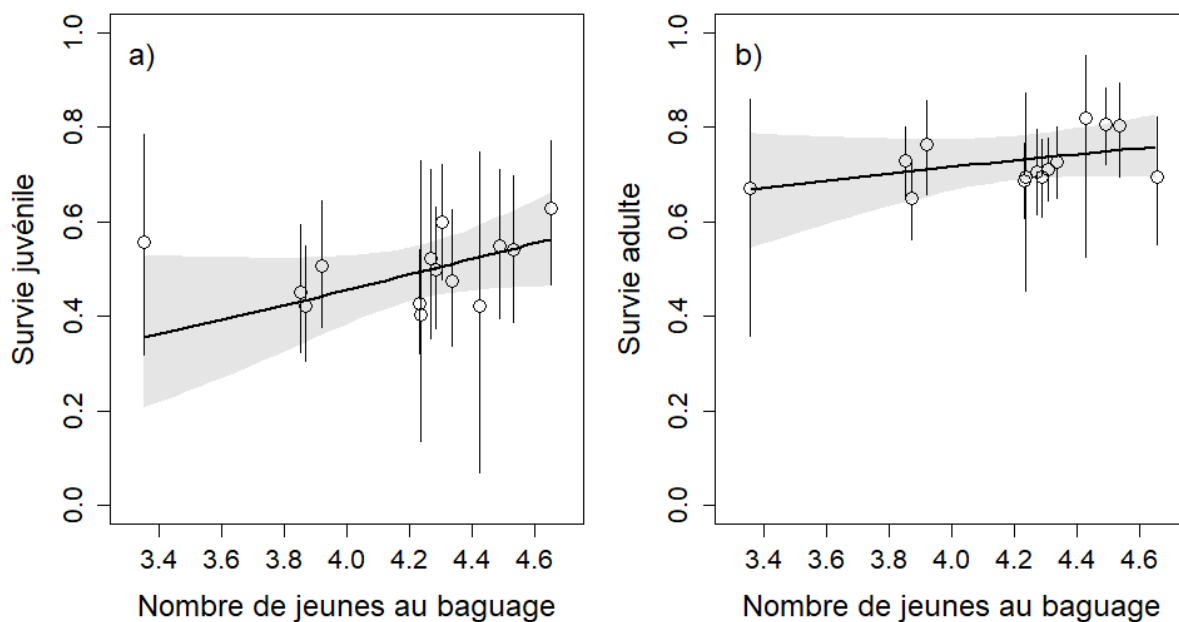


Fig. 28. Corrélation entre la productivité et la survie des jeunes (gauche) et des adultes (droite). Tiré de Fay et al. (2020a).

3.5 Synchronie de la productivité comme indicateur de l'abondance de proies

Les résultats de ce chapitre sont tirés de Fay et al. (2020b).

La proportion de campagnols dans les restes de proies explique 86% des variations inter-annuelles de la productivité des nichées de Faucons crécerelles. Ainsi, une moyenne de seulement 3,5 à 4 poussins est estimée pour les années où les campagnols sont minoritaires dans les restes de proies. Lorsque ceux-ci sont majoritaires, la productivité atteint 4,5 à 5 poussins (fig. 29).

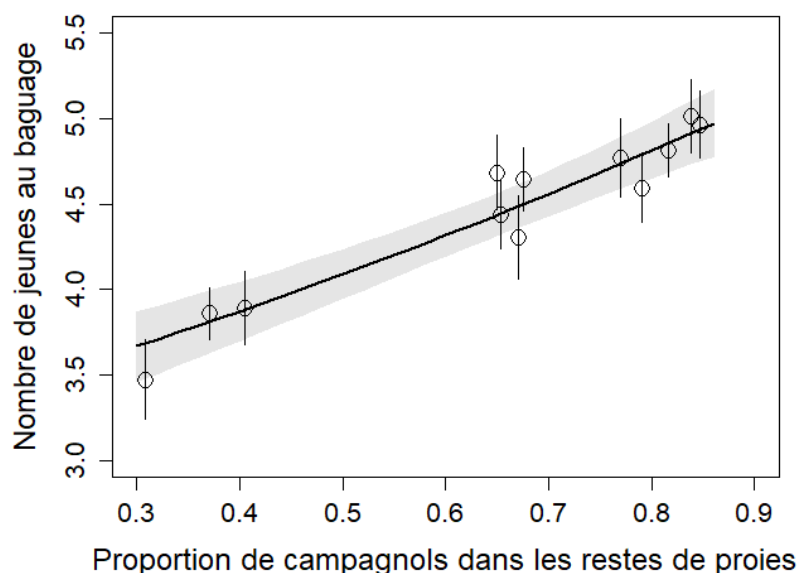


Fig. 29. Relation entre la proportion de campagnols dans les restes de proies et la productivité. Tiré de Fay et al. (2020b).

Nous avons testé jusqu'à quelle distance les fluctuations annuelles de la productivité évoluent de manière synchrone. Ainsi, une corrélation positive reste pratiquement constante au-delà de 150 km pour diminuer de moitié vers 200 km. Autour de 300 km, ce qui correspond approximativement à la distance entre les sites les plus extrêmes du réseau de nichoirs du programme coordonné, une corrélation dans la productivité disparaît (fig. 30). On en déduit que les populations de campagnols fluctuent de manière parallèle (synchrone) sur de larges distances. Ce sont vraisemblablement les conditions climatiques qui influencent le plus fortement les variations d'abondance des campagnols.

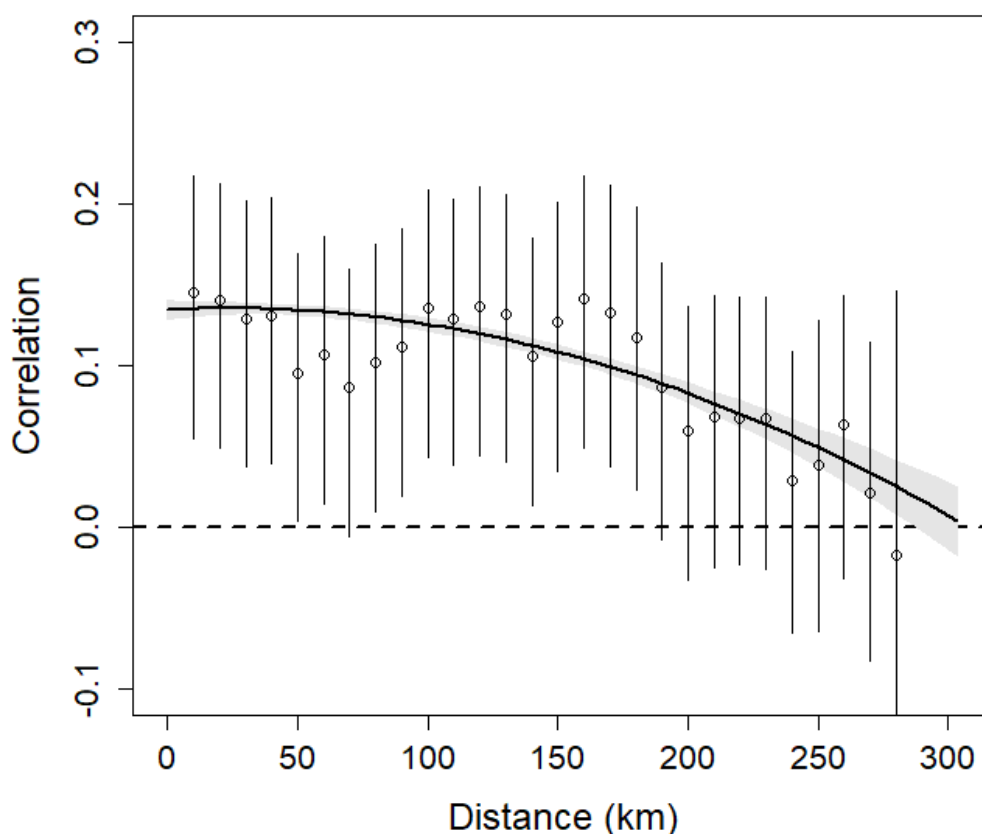


Fig. 30. La productivité annuelle des nichées de Faucons crécerelles est corrélée positivement jusqu'à une distance de 300 km (ligne grasse). Les cercles montrent l'estimation par tranches de 10 km. Les lignes verticales et la surface grise montrent l'intervalle d'incertitude. Tiré de Fay et al. (2020b).

4. Discussion

Le monitoring des populations de Faucons crécerelles et d'Effraies des clochers par les collaborateurs bénévoles poursuit principalement deux objectifs : la conservation et le suivi des populations nicheuses de ces deux espèces. Les analyses des données de Faucons crécerelles ont permis de démontrer l'importance des populations se reproduisant en nichoirs dans le développement positif des effectifs suisses. Elles prouvent que les efforts des collaborateurs bénévoles ont porté leurs fruits. Les résultats confirment que les données collectées systématiquement permettent de comprendre les mécanismes qui régissent les dynamiques de populations.

4.1 Faucon crécerelle

4.1.1 Causes de l'évolution positive des populations

La légère progression de l'indice d'occupation inscrite sur le long terme est remarquable compte tenu de la forte augmentation de l'offre en nichoirs (fig. 10). Cela indique que les effectifs nicheurs sur les sites de suivi n'ont pas encore atteint les capacités limites d'accueil des milieux. L'indice d'espèce issu du monitoring des espèces nicheuses communes (Schmid et al. 2018), montre une multiplication des effectifs par deux depuis 2000 (fig. 31), ce qui corrobore l'essor relevé par le monitoring intégré.

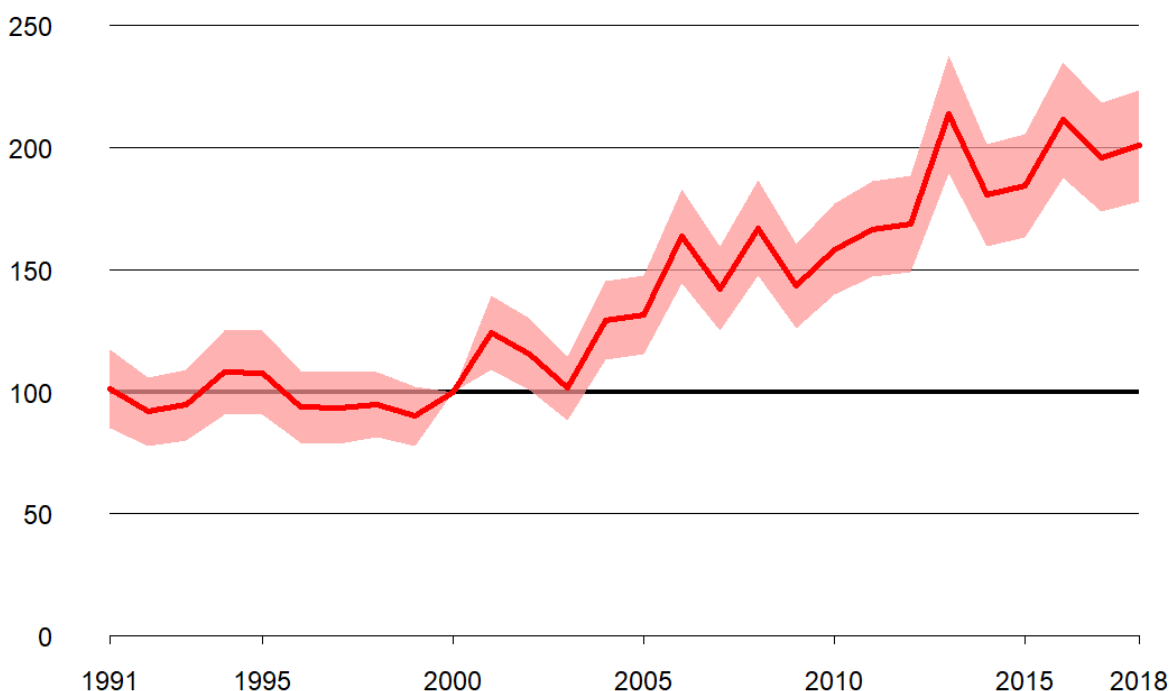


Fig. 31. Indice d'espèce pour le Faucon crécerelle. Source : Schmid et al. (2018).

L'augmentation spectaculaire qui a commencé à la fin des années 1990, mais localement déjà à la fin des années 1980, fait suite à une période de déclin durant les décennies précédentes (Schmid 1990). Quels sont les changements qui se sont produits et qui ont permis un redressement de la population ? Trois raisons sont supposées : 1. Des changements dans les pratiques agricoles ont eu un effet positif sur les proies ou l'accès aux proies ; 2. Des hivers moins rigoureux ont eu un impact moindre sur la mortalité. ; 3. L'augmentation de l'offre en sites de nidification ou leur amélioration permettent un meilleur succès de reproduction.

Les **pratiques agricoles** se sont généralement intensifiées depuis les années 1980. Par contre, l'introduction de paiements directs pour prestations écologiques dès 1993 (Harder 1998, Aviron et al. 2009) de manière volontaire, puis dès 1998 comme prestation obligatoire pour paiements directs (Widmer 1998), a permis de maintenir et de développer des surfaces de production extensives et peu intensives (König 2019). L'importance de l'abondance de campagnols disponibles est manifeste dans le succès de la reproduction des Faucons crécerelles en Suisse. Leur raréfaction, bien que seulement supposée, a été avancée comme cause du déclin du Faucon crécerelle en Suisse (Aschwanden et al. 2005) et en Europe (Hagemeijer & Blair 1997). L'étude comparant la productivité des Crécerelles avec les restes de proies retrouvés dans les nichoirs suivis dans la région de la Broye, montre une forte

corrélation entre d'une part le nombre de jeunes lors du baguage et d'autre part la proportion de campagnols mise en rapport avec celle d'oiseaux parmi les restes (Fay et al. 2020b; fig. 29). De plus, les conditions favorisant une bonne saison de reproduction (accès aux proies et quantité) semblent aussi ménager des bonnes conditions de survie à la fois pour les jeunes et les adultes. Cela signifie que les variations entre bonnes et mauvaises années de reproduction sont très fortes et principalement influencées par l'offre en proies, puisque les deux étapes déterminant le nombre potentiel de recrues nicheuses, la reproduction et la survie des jeunes durant leur première année, varient conjointement, se cumulant plutôt qu'elles ne s'annulent (Fay et al. 2020a).

Dans les premières semaines après l'envol, les jeunes pourraient être très dépendants des invertébrés dont la capture est plus facile que celle des micromammifères. D'une manière générale, la biomasse d'insectes semble décliner fortement. Toutefois, plusieurs gros orthoptères (principalement *Tettigonia viridissima* et *T. cantans*) montrent une extension de leur distribution depuis deux décennies (banque de données Info-Fauna, C. Monnerat *comm pers.*) et localement au moins une augmentation (Artmann-Graf 2017). Des restes de ces gros orthoptères sont d'ailleurs régulièrement retrouvés parmi les restes de proies, dans la Basse-Broye (J. Jeanmonod, *comm. pers.*). Les raisons de leur augmentation ne sont pas claires.

Des pertes importantes, du moins temporaires, ont été constatées après des **hivers rigoureux** (Kaiser & Schmid 1989). La couverture en neige, constatée notamment à Lucerne (fig. 32) montre que la durée d'enneigement durant les 30 dernières années était en moyenne moindre que celle des décennies précédentes. Ces périodes adverses ont pu signifier une mortalité ou des contraintes énergétiques plus élevées. Toutefois, le taux de survie estimé de la population suisse se reproduisant en nichoirs n'a que peu varié durant les quinze dernières années, comprenant aussi des hivers relativement rigoureux (Fay et al. 2019).

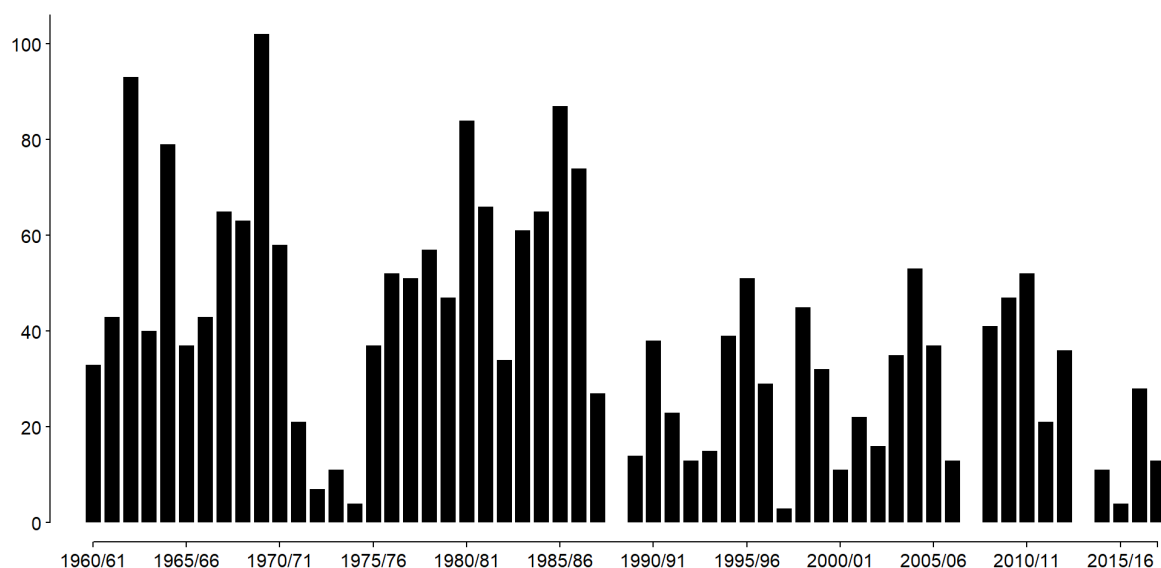


Fig. 32. Somme des jours avec couverture neigeuse par hiver à Lucerne. Les années 1980 ont eu un enneigement en moyenne nettement supérieur à la période qui a suivi. Source des données : MétéoSuisse

Entre les périodes 1993-1996 et 2013-2016, où les deux derniers atlas des oiseaux nicheurs de Suisse ont été réalisés, c'est dans les régions où des **réseaux de nichoirs** ont été installés que l'augmentation est la plus spectaculaire (fig. 33 à comparer à la fig. 3 ; Knaus et al. 2018). Toutefois, dans les régions pionnières telle que la Broye où le réseau de nichoirs était déjà bien établi dans les années 1990, la probabilité de rencontrer le Faucon crécerelle était déjà proche de 100 %, ce qui ne

laisse pas apparaître de densification du nombre de nicheurs sur la carte, alors que la population en nichoirs est passée de 85 en 1995 à 165 en 2016.

La présence de nichoirs est mentionnée dès les années 1950. L'installation de réseaux influençant l'offre en cavités à large échelle ne date par contre que des années 1980. Les régions qui en bénéficient voient leurs effectifs nicheurs augmenter (Schmid 1990). La situation précédant la pose de nichoirs dans la Basse-Broye illustre très bien les difficultés rencontrées alors par les Crécerelles. Les conditions météorologiques de 1981 étaient défavorables et lors de cette année, les six nichées en nids ouverts se sont soldées par un échec, tandis que parmi les 5 nichées qui ont abouti, quatre étaient établies dans les rares nichoirs alors installés (Jeanmonod & Broch 2001). En 1985, seulement onze couples sont comptabilisés nicheurs. Les effectifs décuplent ensuite pratiquement en dix ans suite à l'aménagement de 140 nichoirs à Crécerelles et 100 nichoirs à Effraies (Jeanmonod & Broch 2001), alors que dans l'essentiel de la Suisse et de l'Europe centrale, les populations sont au plus bas après au moins deux décennies de déclin. La croissance généralisée des Faucons crécerelles en Suisse depuis a été clairement favorisée par l'installation de nichoirs, pratiquement sur l'ensemble du Moyen-Pays.

Évolution de la présence 1993-1996 vs 2013-2016



Fig. 33. Évolution de la probabilité de présence du Faucon crécerelle entre les périodes 1993-1996 et 2013-2016. Une augmentation de la probabilité de présence est enregistrée dans les zones vertes, alors qu'elle est stable dans les zones beige. Source : Knaus et al. (2018). Fond de carte : © Swisstopo.

4.1.2 Répartition altitudinale

Le monitoring des populations des Faucons crécerelles couvre principalement le Moyen-Pays et plus marginalement les moyennes altitudes. L'espèce y est en effet moins commune comme le montre l'atlas des oiseaux nicheurs. De vastes régions du Jura et des Préalpes ont une densité plus faible (fig. 34) que l'on remarque dans le graphique altitudinal entre 900 et 1500 m (fig. 35). Les forêts étendues de ces tranches n'expliquent pas partout cette densité plus faible.

Même si ces populations ont vraisemblablement aussi bénéficié de la productivité excédentaire du Moyen-Pays, l'augmentation observée durant les vingt dernières années en moyenne altitude est restée moindre qu'en basse et en haute altitude. La différence de densité s'est donc accentuée entre les années 1990 et les années 2010.

Les raisons provoquant ce phénomène ne sont pas claires. L'offre en sites de nidification peut être dans certaines régions lacunaire. Les contraintes climatiques s'expriment aussi différemment à cette altitude et sont aussi susceptibles de limiter les effectifs. Les raisons qui laissent apparaître un plafonnement des dates d'éclosion à partir de 600 m, du moins chez les couples se reproduisant en nichoir, ne sont pas non plus expliquées (fig. 16). Toutefois, les données à partir de cette altitude sont moins nombreuses (fig. 4). Les suivis en moyenne altitude mériteraient d'être intensifiés afin de mieux comprendre les mécanismes de ces populations et le cas échéant, d'améliorer leurs conditions de nidification.

Présence 2013-2016

Probabilité de présence/km²



Fig. 34. Probabilité de présence du Faucon crécerelle pour la période 2013-2016 en Suisse. Source : Knaus et al. (2018). Fond de carte : © Swisstopo.

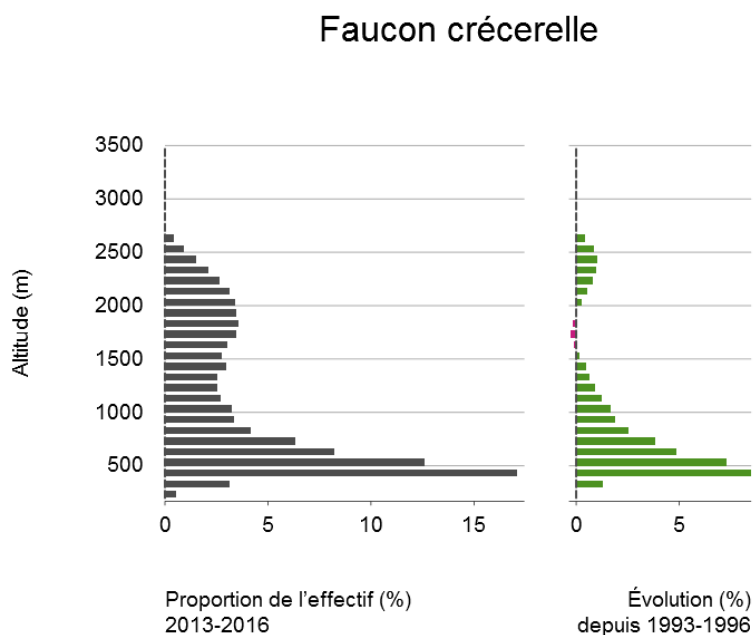


Fig. 35. Répartition altitudinale 2013-2016 et évolution depuis la période 1993-1996 pour le Faucon crécerelle en Suisse. Source : Knaus et al. (2018).

4.1.3 Reproduction

Les Faucons crécerelles ont bénéficié de conditions favorables pour la nidification en 2016 et 2017. En 2018, alors que la grandeur des pontes était dans la moyenne, les nichées ont subi d'importantes pertes. La productivité était en effet la deuxième plus médiocre après 2013, en écartant les premières années où les données étaient trop lacunaires pour permettre la comparaison. L'année 2013 se distinguait par ailleurs par des éclosions particulièrement tardives et par l'indice d'occupation très faible. L'occupation médiocre des niochirs ne semble pas être due à une baisse du nombre d'individus adultes, mais plutôt au fait que nombre d'entre eux ont renoncé à mener une nidification. En effet, l'indice d'espèce, issu du monitoring des espèces nicheuses répandues, montre une densité relativement forte (fig. 31). Cet indice est basé sur des recensements d'individus en période de nidification sans que leur statut de reproduction ne soit vérifié. Les reproducteurs et non-reproducteurs sont donc confondus.

La mauvaise reproduction de 2013 peut largement être expliquée par les conditions météorologiques. Les mois de mai et de juin étaient nettement plus froids et pluvieux que la moyenne (fig. 36). L'accès aux proies a été ainsi rendu difficile par la couverture herbeuse longtemps non fauchée à cause des précipitations pendant une grande partie de la période de nourrissage des jeunes. Les conditions météorologiques n'expliquent par contre guère le succès médiocre des nichées de 2018. La saison de reproduction était en général plutôt chaude et sèche, malgré deux épisodes pluvieux en mi-mai et mi-juin (fig. 36). C'est plus probablement l'offre en proies qui en était la cause. Les proportions de campagnols parmi les restes de proies des niochirs de la Basse-Broye étaient en effet en 2013 et 2018 les plus faibles de la période considérée (Fay et al. 2020b, Supplementary Material).

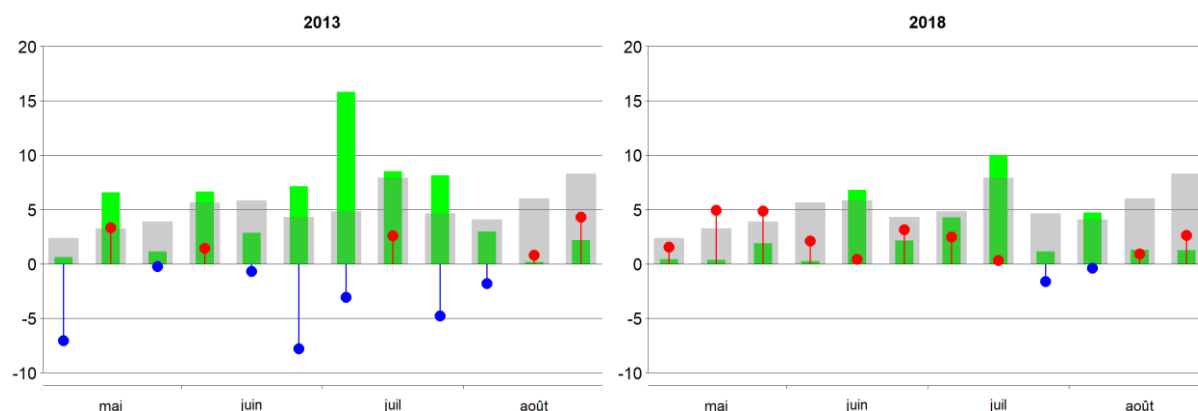


Fig. 36. Précipitations et températures pour les années 2013 et 2018 à la station de mesure de Saint-Gall. Les colonnes grises indiquent les moyennes des précipitations par décennie pour la période 2000-2018. Les colonnes vertes indiquent les moyennes des précipitations pour respectivement 2013 et 2018. Les lignes rouges et bleues indiquent la différence entre la moyenne des températures de la décennie pour respectivement les années 2013 et 2018 et la moyenne pour la période 2000-2018. Les mois sont indiqués en chiffres sur l'axe horizontal. Source des données : MétéoSuisse.

4.2 Effraie des clochers

Les nichoirs du programme de monitoring couvrent l'essentiel de la population d'Effraies telle que montrée par l'Atlas des oiseaux de Suisse (fig. 37, à comparer avec la fig. 3 ; Knaus et al. 2018).

Présence 2013-2016

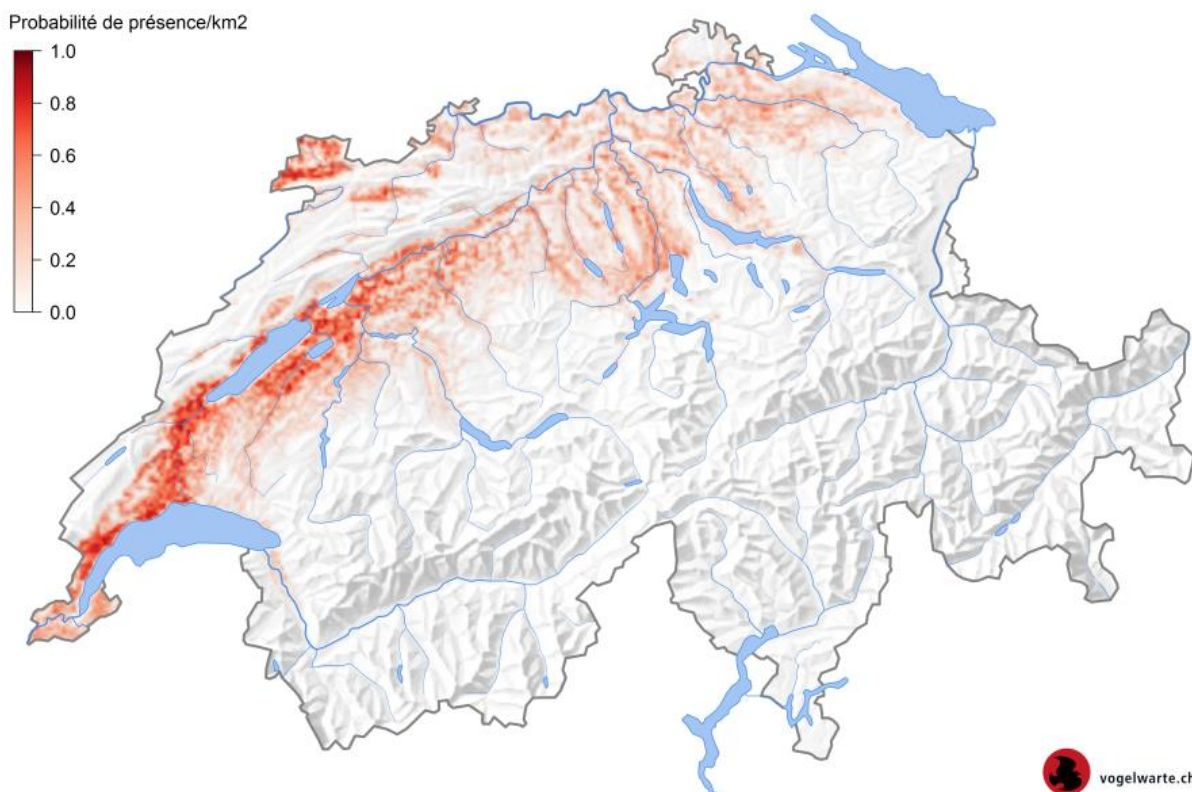


Fig. 37. Probabilité de présence de l'Effraie des clochers pour la période 2013-2016 en Suisse. Source : Knaus et al. (2018). Fond de carte : © Swisstopo.

L'indice d'espèce (fig. 38) montre d'importantes similitudes avec l'indice d'occupation. Les chutes d'effectifs en 2009 et 2013, et dans une moindre mesure en 2006, sont aussi perceptibles. Il suggère aussi que les effectifs sont moindres pendant la période considérée comparés à ce qu'ils étaient lors du début du programme du suivi de population en 2002. Le déclin suggéré par l'indice d'occupation entre 2002 et 2004 pourrait ainsi être réel, même si les données le documentant sont insuffisantes. La constance des effectifs nicheurs telle que le montre l'indice d'espèce dans les années 1990 est par contre surprenante et susceptible d'être influencée par la méthode d'analyse choisie. Les fluctuations observées dans la Broye pendant cette décennie (Altwegg *et al.* 2003) suggèrent que leur amplitude était alors déjà importante.

Les hivers extrêmes avec longue période de couverture de neige provoquent une mortalité massive chez les adultes et les jeunes causant de lourdes pertes dans les effectifs nicheurs (Altwegg *et al.* 2006). L'indice d'occupation montre les pertes importantes suivant les hivers relativement rudes de 2005-2006, 2008-2009, 2012-2013 (fig. 12). Les effectifs se sont ensuite reconstitués, d'abord dans le sud-ouest du pays, ce qui suggère une recolonisation depuis cette région, peut-être soutenue par de l'immigration.

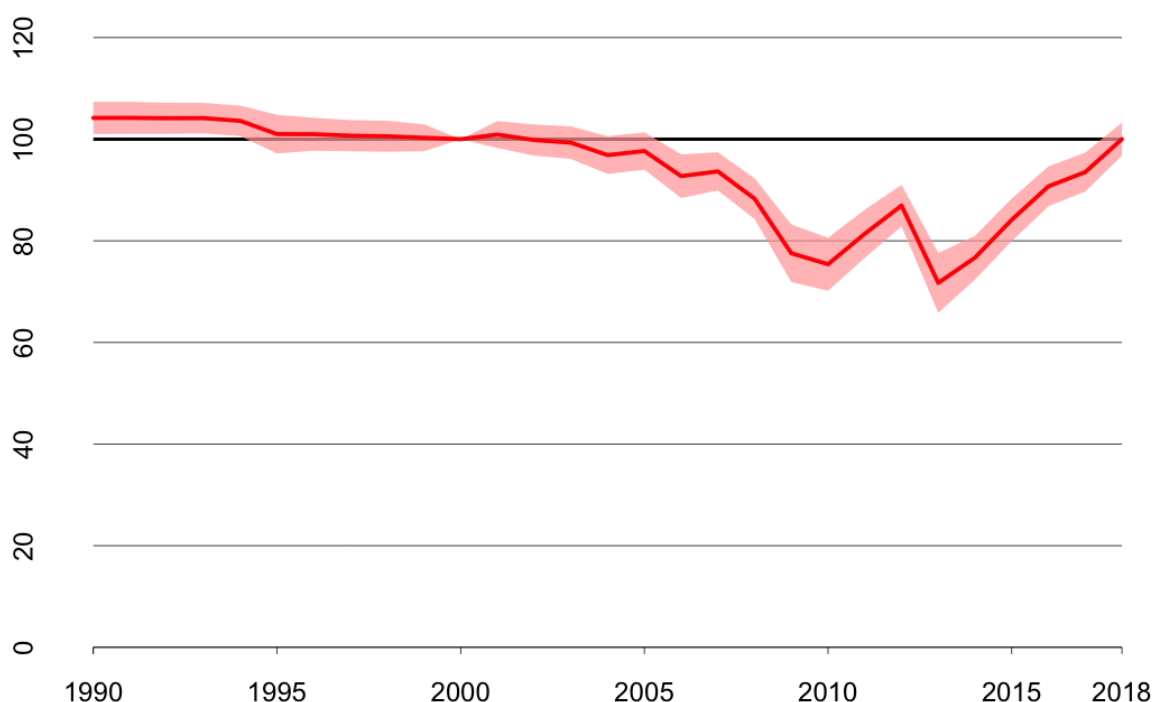


Fig. 38. Indice d'espèce pour l'Effraie des clochers en Suisse. Source : Schmid *et al.* (2018).



Fig. 39. Nichée de cinq poussins d'Effraie des clochers.

4.2.1 Reproduction

Dès 2015, le succès de reproduction décline légèrement, mais régulièrement (fig. 24). Toutefois, la productivité ne montre pas la même tendance (fig. 23) et s'inscrit dans les variations annuelles des années précédentes. Le recouvrement des effectifs nicheurs qui s'est produit durant ces années (fig. 12) ne semble d'ailleurs pas en subir l'influence. Les raisons et l'éventuelle perdurance d'une baisse du succès de reproduction sont toutefois à surveiller.

En plus de montrer le succès de reproduction le plus médiocre depuis 2008, l'année 2018 se distingue aussi par la productivité la plus basse si l'on écarte les premières années du suivi où les données sont trop peu nombreuses et à ce titre non comparables. La grandeur des pontes était déjà en dessous de la moyenne et à cela s'est ajoutée une importante mortalité des poussins. L'offre en proies était vraisemblablement la cause de cette saison de reproduction médiocre, comme le montre l'examen des restes de proies des nichoirs à Faucons crécerelles de la Basse-Broye. La proportion de campagnols était en 2013 et 2018 en effet la plus faible de la période considérée (Fay *et al.* 2020b, Supplementary material).

4.3 Conservation

Avec l'installation, l'entretien et le suivi de réseaux de nichoirs, les collaborateurs bénévoles de la Station ornithologique maintiennent une offre en cavités importante. La pose de nichoirs a soutenu l'essor des effectifs de Faucons crécerelles et a permis d'augmenter la capacité d'accueil d'Effraies nicheuses issue des bonnes années de leurs fluctuations naturelles. La nidification en nichoirs aide probablement ces deux espèces à atteindre un plus haut succès de reproduction. De plus, par leur expérience et leur expertise, les collaborateurs ont largement contribué à l'acceptation de ces deux prédateurs de micromammifères auprès des agriculteurs. Le rôle d'auxiliaires dans la lutte contre les micromammifères que revêtent ces deux prédateurs facilite leur acceptation. Chaque année, de nombreux particuliers, agriculteurs ou non, installent spontanément des nichoirs. La relation en générale très bonne de ces ornithologues avec les exploitants représente un pont important entre agriculteurs

et protecteurs de la nature. Les premiers sont sensibilisés par les ornithologues à la conservation d'espèces menacées, tandis que ces derniers profitent de ces échanges en appréhendant mieux les problématiques touchant l'agriculture suisse et la complexité des enjeux de la conservation de la biodiversité en milieux agricoles.

Ces deux espèces sont fréquemment choisies comme espèces-cibles de réseaux écologiques agricoles. L'abondance de ces deux prédateurs peut surprendre dans des zones agricoles où dominent des pratiques intensives. Même si l'Effraie et le Faucon crécerelle montrent manifestement une certaine tolérance, le maintien d'une attention particulière concernant la conservation de leur habitat est essentiel (Aschwanden *et al.* 2005). Ainsi, les agriculteurs devraient être encouragés à mettre en place des structures extensives où Faucon crécerelle et Effraie des clochers chassent. L'installation de nichoirs représente une mesure simple, attractive et efficace et est donc fréquemment proposée par les planificateurs. Toutefois, l'entretien et le suivi de vastes réseaux de nichoirs restent souvent l'affaire des collaborateurs bénévoles. La conservation de ces deux espèces dépend en grande partie de leur engagement dans beaucoup de régions.

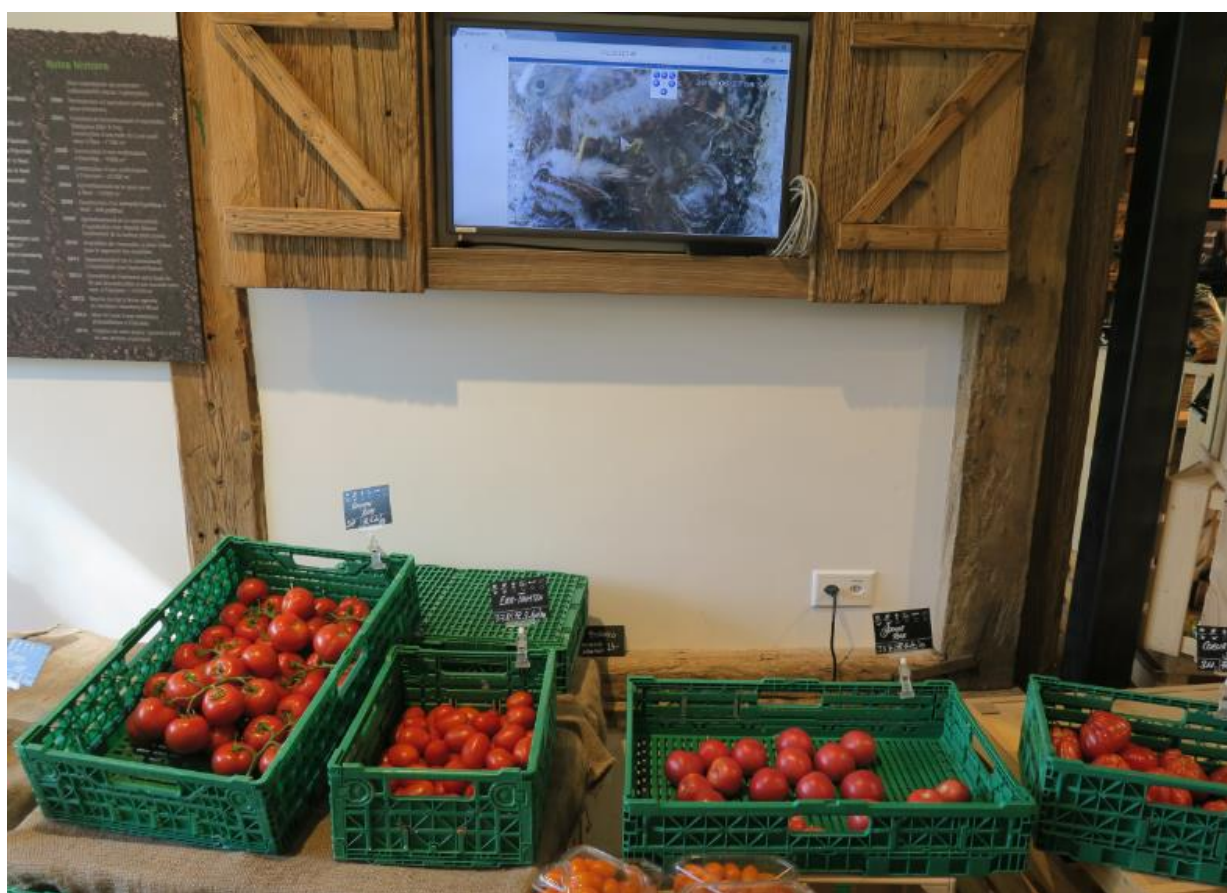


Fig. 40. Webcam montrant en direct la nidification de Faucons crécerelles dans le bâtiment d'un magasin bio à Morat.

5. Remerciements

Le succès du projet de conservation du Faucon crécerelle et de l'Effraie des clochers doit énormément au remarquable engagement des groupes de bénévoles qui suivent et baguent ces deux espèces dans de vastes régions de la Suisse. Nous les remercions chaleureusement pour leur énorme travail. Nous remercions également les exploitants et autres partenaires qui ont mis à disposition leurs infrastructures permettant l'installation et le contrôle des nichoirs.

Notre gratitude va au groupe d'Alexandre Roulin de l'Université de Lausanne qui collabore au suivi et met son savoir-faire à la disposition du projet.

Les autorisations de baguage ont été délivrées par le Service de la faune de l'Office de l'environnement. L'administration des activités de baguage a été assurée par la Centrale de baguage que nous remercions pour sa collaboration.

6. Annexes

6.1 Méthodes d'analyse des indices démographiques

Les différents modèles et indices démographiques ont été réalisés au moyen du Software R dans la version 3.4.1 (R Development Core Team 2018).

6.1.1 Indice d'occupation

L'introduction du nichoir dans le modèle estimant le taux d'occupation comme facteur aléatoire corrige la pseudo-réplication résultante des contrôles répétés des mêmes nichoirs. Ce modèle est donc un modèle linéaire mixte.

L'année est utilisée dans le modèle comme facteur fixe. L'introduction de l'année comme facteur aléatoire supposerait une distribution normale des déviations des moyennes annuelles autour de la moyenne globale. Les saisons à conditions environnementales extrêmes s'en écartent toutefois fortement et un tel modèle affaiblirait leurs valeurs (« shrinkage »), alors que ces années nous intéressent particulièrement.

Avant 2012, plusieurs projets n'ont pas collecté les données des nichées de manière systématique. Pour écarter ce type de données qui augmentent artificiellement l'indice d'occupation, les séries de données uniquement positives ont été écartées. Quelques données biaisées où les nichoirs contrôlés vides n'ont pas été systématiquement documentés échappent toutefois vraisemblablement à ce filtre. Les indices cantonaux, en particulier, peuvent souffrir de telles données lors d'années où leur nombre est restreint. Ils présentent typiquement une occupation très haute et une importante imprécision, typiquement lors des premières années de l'indice.

Le modèle binomial $\text{indice d'occupation} \sim \text{année}_{\text{facteur fixe}} + \text{nichoir}_{\text{facteur aléatoire}}$ estimant l'indice d'occupation est effectué au moyen de la fonction `stan_glmer` du package `rstanarm` (Goodrich et al. 2018).

6.1.2 Estimation de la date d'éclosion

Les variations annuelles et spatiales de la date d'éclosion sont estimées pour le Faucon crécerelle au moyen d'un *modèle additif généralisé* (generalised additive model) en utilisant la fonction `gam` du package `mgcv` (Wood et al. 2017): $\text{date d'éclosion} \sim (\text{longitude} + \text{latitude})_{\text{lissé}} + \text{altitude}_{\text{lissé}} + \text{année}_{\text{facteur fixe}} + \text{nichoir}_{\text{facteur aléatoire}}$. Le modèle intègre la localisation avec une régression non paramétrique en trois dimensions. Ainsi, la relation entre la date d'éclosion et la localisation géographique (latitude-longitude) est d'une part estimée. D'autre part, la troisième dimension intègre la relation entre la date d'éclosion et l'altitude (fig. 16). L'année est introduite dans le modèle comme facteur fixe. Les prédic-

tions sur lesquelles se basent les représentations graphiques des figures 15 et 16 sont projetées pour l'année 2017 dont la date moyenne d'éclosion s'approche de la moyenne globale.

6.1.3 Estimation de la grandeur des nichées, de la productivité et du succès de reproduction par année

La grandeur moyenne annuelle des nichées est estimée par le modèle linéaire mixte *grandeur de la nichée* $\sim$ *année*_{facteur fixe} + *nichoir*_{facteur aléatoire}. La productivité (nombre de jeunes atteignant l'âge d'être bagué) est estimée par le modèle linéaire mixte *productivité* $\sim$ *année*_{facteur fixe} + *nichoir*_{facteur aléatoire}. Le succès de reproduction est estimé par le modèle binomial mixte *succès de reproduction* $\sim$ *année*_{facteur fixe} + *nichoir*_{facteur aléatoire}.

La fonction *lmer* du package *lme4* (Bates et al. 2015) est utilisée pour les modèles linéaires mixtes et la fonction *stan_glmer* du package *rstanarm* (Goodrich et al. 2018) pour le modèle binomial mixte. La fonction *lmer* utilise des statistiques bayésiennes pour estimer la distribution des paramètres au moyen de la fonction *sim* du package *arm* (Gelman & Su 2018).

7. Bibliographie

- ALTWEGG, R., A. ROULIN, M. KESTENHOLZ & L. JENNI (2003): Variation and covariation in survival, dispersal, and population size in barn owls *Tyto alba*. J. Anim. Ecol. 72: 391–399.
- ALTWEGG, R., A. ROULIN, M. KESTENHOLZ & L. JENNI (2006): Demographic effects of extreme winter weather in the barn owl. Oecologia 149: 44–51.
- ARTMANN-GRAF, G. (2017): Heuschrecken in der zentralen Nordwestschweiz gestern und heute: Verbreitungsatlas und Monitoring. Bird Life Solothurn.
- ASCHWANDEN, J., S. BIRRER & L. JENNI (2005): Are ecological compensation areas attractive hunting sites for common kestrels (*Falco tinnunculus*) and long-eared owls (*Asio otus*)? J. Ornithol. 146: 279–286.
- AVIRON, S., H. NITSCH, P. JEANNERET, S. BUHOLZER, H. LUKA, L. PFIFFNER, S. POZZI, B. SCHÜPBACH, T. WALTER & F. HERZOG (2009): Ecological cross compliance promotes farmland biodiversity in Switzerland. Frontiers Ecol. Environ. 5: 247–252.
- AYÉ, R., V. KELLER, W. MÜLLER, R. SPAAR & N. ZBINDEN (2011): Révision 2010 de la liste rouge et des espèces prioritaires de Suisse. Nos Oiseaux 58: 67–84.
- BATES, D., M. MÄCHLER, B. BOLKER & S. WALKER (2015): Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software 67.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER, J. JEANMONOD & M. SCHAUB (2020a): Can temporal covariation and autocorrelation in demographic rates affect population dynamics in a raptor species? Ecol Evol 10: 1959–1970.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER, J. JEANMONOD & M. SCHAUB (2020b): Large-Scale Vole Population Synchrony in Central Europe Revealed by Kestrel Breeding Performance. Front. Ecol. Evol. 7: 512.
- FAY, R., S. MICHLER, J. LAESSER & M. SCHAUB (2019): Integrated population model reveals that kestrels breeding in nest boxes operate as a source population. Ecography 42: 2122–2131.
- GELMAN, A. & Y.-S. SU (2018): arm: Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models: R package version 1.10-1.
- GOODRICH, B., J. GABRY, I. ALI & S. BRILLEMANN (2018): rstanarm: Bayesian applied regression modeling via Stan: R package version 2.17.4.
- HAGEMEIJER, W. J. M. & M. J. BLAIR (1997): The EBCC Atlas of European breeding birds: Their distribution and abundance. T. & A.D. Poyser, London.

- HARDER, W. (1998): Parlament verabschiedet "Agrarpolitik 2002". Agrarforsch. 5: 229–232.
- JEANMONOD, J. & L. BROCH (2001): Suivi d'une population de Faucon crécerelle *Falco tinnunculus* dans la vallée de la Broye en suite d'une pose intensive de nichoirs: premiers résultats. Nos Oiseaux suppl. 5: 27–39.
- KAESER, G. & H. SCHMID (1989): Bestand und Bruterfolg des Turmfalken *Falco tinnunculus* und der Schleiereule *Tyto alba* in der Region Rheinfelden 1951-1988. Ornithol. Beob. 86: 199–208.
- KELLER, V., A. GERBER, H. SCHMID, B. VOLET & N. ZBINDEN (2010): Liste rouge oiseaux nicheurs. Espèces menacées en Suisse, état 2010. L'environnement pratique 1019. Office fédéral de l'environnement, Berne et Station Ornithologique suisse, Sempach.
- KNAUS, P., S. ANTONIAZZA, S. WECHSLER, J. GUÉLAT, M. KÉRY, N. STREBEL & T. SATTLER (Hrsg.) (2018): Atlas des oiseaux nicheurs de Suisse 2013-2016.: Distribution et évolution des effectifs des oiseaux en Suisse et au Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- KÖNIG, P. (2019): Zahlen zu den Biodiversitätsbeiträgen: Update 2017. BirdLife Schweiz, Zürich.
- MICHLER, S., J. LAESSER, M. SPIESS & R. SPAAR (2016): Projet de conservation et monitoring intégré des populations de faucon crécerelle et d'effraie des clochers. Résultats de 14 ans de projet. Station ornithologique suisse, Sempach.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2018): R: A Language and Environment for Statistical Computing. URL <http://www.R-project.org/>.
- SCHMID, H. (1990): Die Bestandsentwicklung des Turmfalken *Falco tinnunculus* in der Schweiz. Ornithol. Beob. 87: 327–349.
- SCHMID, H., M. KESTENHOLZ, P. KNAUS, L. REY & T. SATTLER (2018): Etat de l'avifaune en Suisse: Rapport 2018. Station ornithologique Suisse, Sempach. URL : www.vogelwarte.ch/zustand.
- SPIESS, M. & M. KESTENHOLZ (2002): Monitoring des populations d'effraie des clochers et de faucon crécerelle: Manuel de terrain. Station ornithologique suisse, Sempach.
- VON RÖNN, J. A. C., M. SCHAUB, F. KORNER-NIEVERGELT, M. KÉRY, S. MICHLER & L. JENNI (2019): Monitoring démographique MoDem - Objectifs et exigences de projets de baguage d'espèces spécifiques. Station ornithologique suisse, Sempach.
- WIDMER, C. (1998): Möglichkeiten für eine naturnahe Landwirtschaft aufgrund des neuen Landwirtschaftsgesetzes. Mitt.Nat.forsch.Ges.Bern 55: 199–206.
- WOOD, S. N., N. PYA & B. SÄFKEN (2017): Smoothing Parameter and Model Selection for General Smooth Models. Journal of the American Statistical Association 111: 1548–1563.
- ZELLWEGER-FISCHER, J., M. SCHAUB, C. MÜLLER, M. RUDIN, M. SPIESS & L. JENNI (2011): Der Bruterfolg des Turmfalken *Falco tinnunculus*: Resultate und Erkenntnisse aus fünf Jahren integriertem Populationsmonitoring. Ornithol. Beob. 108: 37–54.