

LAPPRAND Clémence
N° étudiant : 20701862
Année universitaire : 2011-2012



Mémoire de stage d'Étude et de Recherche effectué à :
Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) Franche-Comté

dans le cadre de la première année de Master Sciences, Technologies, Santé
parcours Ecosystèmes et environnement

Le protocole STOC-EPS en Franche-Comté : Bilan de 10 années de suivi et perspectives



Encadrant: Isabelle Leducq, chargée de mission « faune »

Tuteur pédagogique UFC: Patrick Giraudoux, professeur



Le contenu de ce mémoire est de la seule responsabilité du candidat et de l'organisme d'accueil et n'engage pas nécessairement la responsabilité scientifique du tuteur pédagogique et de l'université

« Le savant n'est pas l'homme qui fournit les vraies réponses,
c'est celui qui pose les vraies questions »
Claude Lévi-Strauss

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier la LPO Franche-Comté en la personne de Jean-Christophe Weidmann son directeur de m'avoir accueillie en son sein pour la réalisation de ce travail.

Je remercie vivement mes deux encadrants, Isabelle Leducq et Patrick Giraudoux, pour leur investissement dans cette étude, et leur attention. Merci de m'avoir guidée et de m'avoir montré les difficultés auxquelles je dois me préparer à faire face. Merci pour votre suivi rigoureux et votre pédagogie.

Je tenais à adresser un remerciement particulier à Michael Coeurdassier, pour son agréable et constructif investissement, dans ce travail comme dans beaucoup d'autres, malgré sa dispense d'enseignement cette année. Sa sympathie et sa « tchatte » en font un interlocuteur d'autant plus agréable.

Merci aussi à Christophe et Nathalie, qui m'ont acceptée dans leur bureau et qui furent de très plaisante compagnie.

Merci à Lucile pour son accompagnement psychologique et binômial tout au long de l'année.

Merci également à tous les STOCeurs pour leur investissement dans ce programme prometteur : AUBRY Gabriel, BETTINELLI Luc, BROCAIL Lilian, BUHRER Tina, CELLIER Thomas, CHAPUT Eric, CHEVALDONNET Francois, CHIFFAUT Alain, CONTEJEAN Georges, CRETIN Cyril, CRETIN Emmanuel, DAVID Antoine, DAVID Jean, DEFORET Laurent, DEFORET Thomas, DURLET Pierre, ELOY Louis, FAUCOUP Loic, FEUVRIER Benoit, FONTENEAU Alain, GADRET Gregory, GALLIOU Serge, GENIN Patrick, GERARD Jean-Marc, GIROUD Marc, GOLLION Cyril, GUILLET Willy, HACQUEMAND Didier, HAGIMONT Aurelien, HECK Virginie, HELIN Dominique, JOLY Marc, JUSSYK Frederic, KERVYN Patrice, LAIBE Denis, LAVRUT Didier, LECORNU Didier, LEGAY Philippe, LEMAIRE Elisabeth, LOCATELLI Guillaume, MAAS Samuel, MAILLOT Frederic, MANGIN Caroline,

MARCONOT Bernard, MAUVAIS Christophe, MENETREY Jerome, MENNERAT Adele, MICHELAT Dominique, MICHELAT Jean-Marie, MORIN Christophe, MORLET Louis, PARRATTE Cyrille, PAUL Jean-Philippe, PETITJEAN Guillaume, PETITCOLLIN Corinne, PETITJEAN Guillaume, PIOTTE Christine, REMY Jean-Marie, REY-DEMANEUF Francois, ROLLAND Cecile, ROUX ORTAR Caroline, RUFFINONI Frederic, SCHMITT Aime, SCHNEIDER Thomas, SENECHAL Cyril, SIESS Jan, TERRAZ Luc, THEVENET Annie, WEIDMANN Jean-Christophe, WOLFF Eric, WOLFF Patrick

Enfin merci à ces extraordinaires oiseaux communs, faites le maximum pour vous adapter et soyez toujours aussi fascinants. Et tâchez d'être moins complexes à comprendre, merci.



« Serin cini au jardin » (Cliché : Isabelle Lapprand)

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	
INTRODUCTION	4
MATERIELS ET METHODES	6
1) <u>Structure d'accueil</u>	6
2) <u>Récolte des données : le protocole STOC-EPS (Jiguet, 2003)</u>	6
3) <u>Structure des données</u>	7
4) <u>Analyse temporelle</u>	7
4.1 : Etude des cinétiques d'observations grâce au logiciel TRIM	7
4.2 : Etude des cinétiques grâce à l'utilisation d'un modèle mixte additif généralisé (GAMM)	8
4.3 : Tendances nationales	8
RESULTATS	9
1) <u>Analyse des tendances avec TRIM</u>	9
2) <u>Analyse des tendances par des GAMM</u>	11
2-1 : Effet de l'habitat	11
2-2 : Effet du passage précoce	12
3) <u>Comparaison des deux méthodes d'analyse</u>	13
DISCUSSION	17
1) <u>Méthode d'analyse des tendances</u>	17
2) <u>Effet de l'habitat</u>	17
3) <u>Effet du passage précoce</u>	18
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	19
BIBLIOGRAPHIE	21
ANNEXES	23

INTRODUCTION

La notion de biodiversité a retenu de plus en plus l'attention à partir de 1992 à l'occasion du sommet de la Terre de Rio de Janeiro (Chauvet et Olivier, 1993). Synonyme de diversité biologique, la biodiversité est une notion globale faisant référence à trois niveaux : diversité écologique, diversité spécifique et diversité génétique (Chauvet et Olivier, 1993).

La diversité biologique est menacée par une multitude de facteurs, tels que l'ouverture des habitats, la surexploitation végétale et animale, la pollution chimique, l'urbanisation (McNeely et al., 1990) qui sont d'origine anthropique. Au niveau mondial, 10 à 15 % des terres sont utilisées pour l'agriculture et 6 à 8 % ont été converties en pâturage par exemple. La fraction des terres transformées ou dégradées par l'Homme est estimée entre 40 et 50% (Lévêque et Mounolou, 2001), les transformations n'étant pas forcément une contrainte pour le fonctionnement de l'écosystème.

L'existence de ces menaces révèle la nécessité de réaliser des suivis de la biodiversité, bien que celle-ci soit très difficilement mesurable (Chauvet et Olivier, 1993). Cependant, une évaluation relative mais pertinente peut être effectuée en se référant à des indicateurs pouvant concerner la génétique, les espèces ou les peuplements, la structure de l'habitat ou toute combinaison (Lévêque et Mounolou, 2001). L'approche la plus largement pratiquée consiste à faire des inventaires d'espèces. Le suivi¹, ou « monitoring » est un procédé permettant de garder en vue les caractéristiques de l'environnement et s'intègre dans un programme traitant deux aspects : la collecte des données, et leur analyse (Spellerberg, 1991).

En 1979, « la directive-cadre européenne 79/409/CEE dite « directive oiseaux » a comme but la protection et la gestion des populations d'oiseaux sauvages et de leurs habitats » (Malfait, 2011), et nécessite donc l'utilisation d'un monitoring. L'avifaune présente l'avantage d'avoir une importante valeur indicatrice. En France métropolitaine, seul pays d'Europe à posséder de vastes territoires situés dans quatre domaines biogéographiques : atlantique, continental, alpin et méditerranéen (Lévêque et Mounolou, 2001), 306 espèces sont réparties dans une large gamme d'écosystèmes et à des niveaux trophiques variés (Dupuis et al., 2011). De plus, dans une politique de suivi, l'étude des oiseaux offre des facilités car ces animaux sont visibles, faciles à identifier, de taxonomie connue et constituent une valeur économique pour l'Homme (Norris et Pain, 2002). Enfin, chez les oiseaux, les populations peuvent rapidement montrer des réponses aux variations environnementales, qui seront donc décelables par le suivi (Couvét et al., 2005).

En 1989, un programme de Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) a été initié en France par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et plus particulièrement le Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (MNHN-CRBPO). L'intérêt porté sur les espèces communes s'explique par leur aspect « indicateur » du fonctionnement d'un écosystème, mais également par la « proximité » pour le grand public des espèces visibles dans les jardins (Leducq, 2010). De plus, les espèces communes se prêtent plus facilement à un dispositif de monitoring qui serait plus délicat à mettre en place pour des

¹ Suivi, ou monitoring : Observation systématique de paramètres reliés à un problème spécifique, désigné pour fournir les informations sur les caractéristiques du problème et son changement au cours du temps (Spellerberg, 1991).

espèces rares. Ce programme est coordonné au niveau régional par différentes structures offrant une large gamme de bénévoles et professionnels pour la réalisation du suivi à l'échelle locale. Ce programme se subdivise en deux parties : le STOC-EPS (échantillonnages ponctuels simples), qui est basé sur l'écoute, et le STOC-Capture, basé sur la méthode « capture-marquage-recapture ».

Le STOC-EPS est un protocole standardisé au cours duquel un observateur effectue deux ou trois passages dans l'année sur 10 points répartis dans un carré de 4 km² où un recensement de l'avifaune est effectué (Jiguet, 2003).

En Franche-Comté, la coordination régionale du programme STOC-EPS est assurée depuis 2002 par la Ligue pour la Protection des Oiseaux de Franche-Comté (LPO-Franche-Comté), financée par l'état, la région et l'Europe (Leducq, 2010). L'année 2011 est donc la 10^{ème} année de suivi et suit directement l'année 2010, année internationale de la biodiversité. Cette dernière représentait une échéance majeure quant à la volonté de stopper l'érosion de la biodiversité. Ces 10 ans sont donc d'autant plus l'occasion de réaliser un bilan afin de surveiller l'état de santé de ces populations d'espèces communes. De plus, compte tenu de décalages suspectés des périodes de chant en conséquence du réchauffement climatique (Jiguet et Moussus, 2009), il a été proposé d'ajouter un inventaire précoce facultative en 2011. Ce passage précoce permet de tester si le déclin constaté de certaines espèces est réel ou si les effectifs ne sont simplement pas détectés au bon moment.

L'étude ici présentée vise donc à élaborer ce bilan, afin de répondre à différentes problématiques.

D'une part, d'un point de vue analytique, il est important de maîtriser les outils d'analyse permettant d'obtenir des tendances temporelles basées sur l'abondance spécifique. Cela permet d'obtenir la méthode d'analyse la plus adaptée aux problèmes étudiés offrant l'interprétation la plus pertinente.

D'autre part, il est important d'explorer le champ d'utilisation de données telles que les données STOC pour répondre à des questions biologiques récurrentes dans un souci de préservation de la biodiversité : mise en évidence du réchauffement climatique, effet de la modification des habitats, utilisation de ce protocole dans une politique d'observatoire...

Enfin, pouvoir émettre un avis sur la nécessité éventuelle d'augmenter l'effort d'échantillonnage en Franche-Comté tout en considérant les contraintes existantes, à savoir les moyens humains et financiers.

Au cours de cette étude, deux méthodes d'analyse temporelle des données seront confrontées, l'influence de paramètres extérieurs sur les courbes de tendance sera décrite, et les perspectives liées à ce protocole seront discutées.

Les questions auxquelles l'étude suivante va tenter de répondre sont donc :

- **Y a-t-il une différence de résultats selon le mode d'analyse des tendances ?**
- **Quelle différence apporte la suppression de l'effet habitat dans le modèle d'analyse ?**
- **Le passage précoce facultatif modifie-t-il les tendances observées ?**
- **Des perspectives d'amélioration du protocole, ou de son analyse peuvent-elles être envisagées ?**

MATERIELS ET METHODES

1) Structure d'accueil

Cette étude a été réalisée au sein de la Ligue pour la Protection des Oiseaux Franche-Comté, située au 7, rue Voirin à Besançon (25) en partenariat avec l'université de Franche-Comté. Les données fournies pour l'étude sont le fruit de l'investissement de 72 observateurs (dont une majorité de bénévoles) se répartissant sur 76 carrés en Franche-Comté au cours des 10 dernières années.

2) Récolte des données : le protocole STOC-EPS (Jiguet, 2003)

Le protocole STOC-EPS est standardisé à l'échelle nationale en France métropolitaine. Des observateurs se voient alors attribués d'un carré de prospection. L'observateur choisit une commune de rattachement et le coordinateur national lui attribue un carré au hasard dans un rayon de 10 km autour de la commune choisie. Ce carré, de 2 km de côté, sera prospecté par l'observateur deux fois au printemps avec un délai de 4 à 6 semaines entre les deux prospections. Le premier passage a lieu en début de saison de reproduction (du 1^{er} avril au 8 mai), le second a lieu entre le 9 mai et le 15 juin pour les nicheurs tardifs. Depuis l'année 2011, un passage précoce facultatif peut être effectué en mars. L'observateur va effectuer des écoutes de 5 minutes sur 10 points qui sont répartis dans le carré, subjectivement, de manière à représenter tous les habitats du carré. Les 10 points prospectés doivent être distants d'au moins 300 mètres (figure 1).

Lors de l'écoute de 5 minutes, l'observateur relève de manière exhaustive les individus qu'il voit ou entend, posés ou en vol. Idéalement, le relevé commence une heure avant le lever du soleil et se termine avant 10 heures du matin.

Parallèlement, l'observateur effectue un relevé détaillé des différents habitats autour de chaque point d'écoute, grâce à une liste standard définie par le MNHN. Les variations d'habitats d'une année sur l'autre peuvent ainsi être relevées.

De plus, des informations supplémentaires sont données, à savoir les conditions météorologiques, la visibilité au moment du relevé, et l'altitude du point.

Une fois les prospections de l'année réalisées, les observateurs saisissent leurs données sur un logiciel spécifique : FEPS-2011. Le même protocole est ainsi reproduit chaque année.

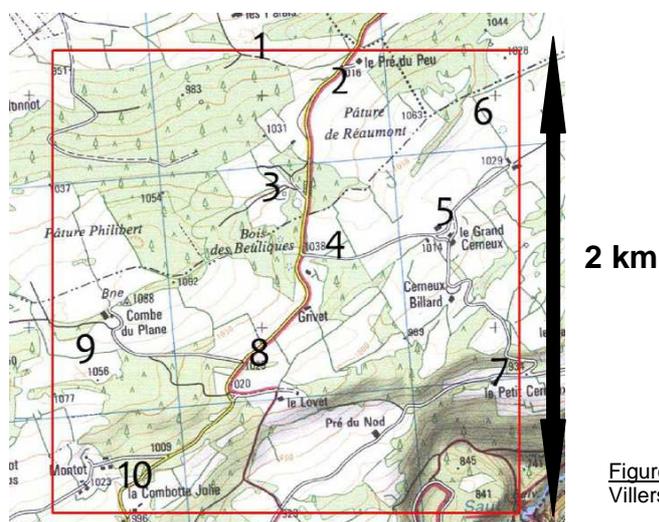


Figure 1 : Exemple d'un carré EPS (n°25-0839, commune de Villers-le-Lac)

3) Structure des données

Les données ainsi récoltées par les observateurs sont coordonnées à l'échelle régionale grâce au logiciel FNAT-2000 qui permet leur rassemblement en base de données Access. La base rassemble pour chaque observation tous les paramètres qui y sont associés : date, descriptions des habitats, géo-localisation des carrés et des points. Pour la géo-localisation des points, le carré est divisé en 100 cases, et les coordonnées GPS du centroïde de la case qui contient le point sont enregistrées. Cela permet d'homogénéiser la structure des données. Ce référencement a pu être confirmé et/ou corrigé grâce au logiciel de Système d'Information Géographique MapInfo.

4) Analyse temporelle

L'analyse temporelle des données STOC-EPS est réalisée sur la Franche-Comté sur les 10 années de résultats, de 2002 à 2011 inclus. Pour cela, différentes méthodes sont utilisées.

4.1 : Etude des cinétiques d'observations grâce au logiciel TRIM

Depuis l'interface FNAT, le coordinateur régional peut effectuer une analyse utilisant le logiciel TRIM (TRENds and Indices for Monitoring data), qui permet d'obtenir les tendances régionales par espèce, en considérant, pour chaque espèce, la moyenne des observations par carré (Jiguet, comm. pers). Le logiciel FNAT, via TRIM, teste alors de façon semi-automatique la variation temporelle d'effectif sur la base de modèles log linéaires (« Linear trend ») du type suivant : $Ln\mu_{ij} = \alpha_i + \beta(j-1)$, avec le logarithme du compte observé au site i au temps j comme une fonction linéaire de pente β à partir du temps $j-1$. Le compte attendu au temps j augmente donc de la quantité β par rapport au compte observé en $j-1$. Cette structure linéaire est utilisée pour détecter des tendances (linéaires) globales (« Time effect ») sur la période, et peut être utilisée aussi pour détecter des éventuels points de changement de cette tendance. Un test de Wald est utilisé pour mesurer la significativité des tendances, dont la tendance générale (Croissance, déclin, stabilité ou non significativité) (figure 2).

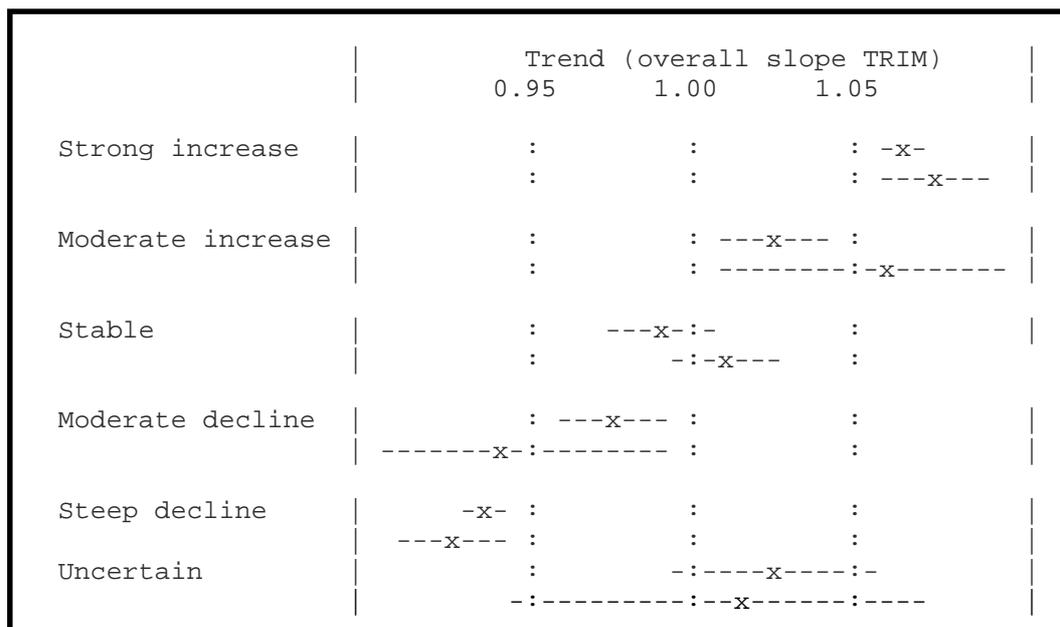


Figure 2 : Conclusions effectuées par TRIM

4.2 : Etude des cinétiques grâce à l'utilisation d'un modèle mixte additif généralisé (GAMM)

Les 10 points d'observation étant groupés en carrés, la structure spatiale des données d'observation est essentiellement agrégative, et donc possiblement auto-corrélée. TRIM contourne ce problème en ne considérant que la moyenne par carré des 10 points d'observation. Il est alors impossible d'utiliser l'information « habitat », qui est, elle, intrinsèquement liée à chaque point d'observation. De plus, parti n'est pas tiré de l'information concernant la variation de la mesure autour de la moyenne de chaque carré. Enfin, l'approche « Linear trend » de TRIM, comme son nom l'indique, pré-suppose une variation linéaire des comptes au cours du temps, variation qui n'est pas la seule possible en matière de démographie. Les données ont donc été analysées en utilisant une autre méthode fondée :

- (1) sur la prise en compte de la structure hiérarchique des données (modèle à effet mixte), dans laquelle la variable « carré » est considérée comme une variable « random », et éventuellement la variable « habitat » comme un autre effet « random » emboîté dans le premier
- (2) sur l'utilisation d'un modèle additif généralisé avec une fonction de lien de Poisson, pour prendre en compte la possibilité de variations non linéaires. Globalement, le modèle s'appuie sur une fonction de lien de Poisson g qui lie la variable réponse aux variables indépendantes par la relation :

$$g(E(Y)) = \beta_0 + f(t) + \varepsilon$$

$f(t)$ étant une fonction de lissage non paramétrique (ex somme continue de sections de splines cubiques polynomiaux calculés de telle manière qu'ils se joignent en des points appelés nœuds – knots -) ou paramétrique (sans lissage) du temps, et ε les résidus. Ici, la fonction de lissage utilisée a été une *thin plate regression spline* (http://en.wikipedia.org/wiki/Thin_plate_spline)

Au total, quatre types de modèles par espèce ont été calculés, de manière à distinguer la considération ou non de l'habitat et du passage précoce de 2011.

Les calculs et graphiques ont été réalisés à l'aide du logiciel R 2.14.2 (R Development Core Team 2012) et du package `mgcv` 1.7-13 (Wood, 2006).

4.3 : Tendances nationales

Les tendances nationales sont publiées par le MNHN pour chaque espèce sur le site « Vigie Nature » (<http://vigienature.mnhn.fr/page/r-sultats-par-esp-ces>) en continu jusqu'à 2009 (la plupart des espèces étant suivies depuis 1989).

L'étude suivante consiste en une comparaison détaillée des cinétiques obtenues, en tenant compte de l'habitat ou non, en tenant compte du passage précoce ou non, et entre le GAMM et l'analyse de TRIM. Enfin, une comparaison sera effectuée entre les tendances régionales et nationales, sur la base des données et analyses disponibles.

RESULTATS

1) Analyse des tendances avec TRIM

L'observation des données brutes (distributions d'indices d'effectifs au cours du temps) permet de constater que les variations d'effectifs ne sont pas toujours linéaires (figure 3). Or, TRIM se base sur une hypothèse de linéarité des tendances à long terme. Basée sur l'examen visuel des données brutes, une présélection des espèces dont la tendance démographique semble linéaire est donc réalisée. Cette démarche n'est habituellement pas effectuée avant l'analyse sous TRIM.

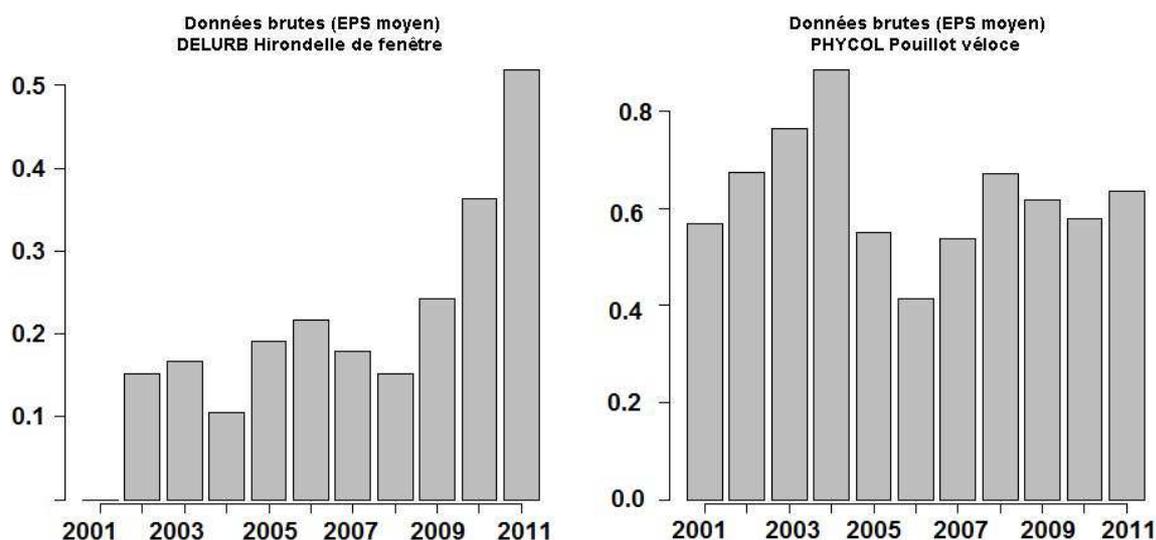


Figure 3 : Représentation des distributions brutes d'indices d'effectifs au cours du temps (à gauche, l'hirondelle de fenêtre (N=919) présente une tendance linéaire; à droite, le pouillot véloce (N=2447) présente une distribution non linéaire)

Le tableau 1 montre les résultats de l'analyse sous TRIM des espèces pré-sélectionnées. Parmi ces espèces au nombre de 40, 26 présentent une variation d'effectif linéaire qualifiée par TRIM de stable, augmentant ou déclinant. Les autres espèces présentent une variation qualifiée de « incertaine ». Le MNHN a défini des listes d'espèces spécialistes des milieux agricoles, bâti, forestier et une liste d'espèces généralistes. Ces listes sont définies comme indicatrices « habitat » et sont différentes suivant les régions biogéographiques. C'est à partir de ces listes qu'une spécialisation a été attribuée à une partie des espèces du tableau 1. Pour les autres ne figurant pas dans ces listes, aucune spécialisation n'a donc été fournie. Il est alors difficile de tester ici la différence de tendance entre ces catégories. Toutes les catégories présentées ici montrent au moins une espèce en augmentation sauf la catégorie « espèces spécialiste de milieu agricole », qui présente moins d'espèces renseignées.

Tableau 1 : Synthèse des sorties de TRIM pour les espèces présentant une variation brute qualifiable de linéaire. Les espèces en jaune sont spécialistes de milieu agricole, les espèces en orange de milieu bâti, en vert de milieu forestier et en gris les espèces généralistes.

Espèce	Statut	TRIM		
		linear trend: p	time effect: p	conclusion
Alouette lulu	NT	0,34	0,95	Incertain
Bruant jaune	LC	0,04	0,001chi2cor	Déclin
Tarier pâtre	LC	0,47	0,37	Incertain
Fauvette grisette	LC	0,15	0,74	Incertain
Buse variable	LC	0,056	0,08	Incertain
Linotte mélodieuse	DD	0,08	0,03	Incertain
Serin cini	LC	0,002	0,2	Déclin
Hirondelle de fenêtre	LC	0	0,008chi2cor	Augmentation
Pie bavarde	LC	0,004	0,09	Augmentation
Rougequeue noir	LC	0,11	0,3	Stabilité
Rougequeue à front blanc	LC	0,67	0,62	Incertain
Chardonneret élégant	LC	0,001	0,35	Déclin
Verdier d'Europe	LC	0,35	0,06	Stabilité
Grimpereau des jardins	LC	0,67	0,022	Incertain
Grimpereau des bois	LC	0,75	0,64	Incertain
Rougegorge familier	LC	0,42	0,03chi2cor	Stabilité
Pouillot véloce	LC	0,01	0chi2cor	Déclin
Pouillot fitis	LC	0,0036	0,55	Augmentation
Grive musicienne	LC	0,24	0,06	Stabilité
Mésange nonnette	DD	0,01	0,13	Augmentation
Pinson des arbres	LC	0,1	0,004chi2cor	Stabilité
Torcol fourmiller	NT	0,69	0,4	Incertain
Mésange bleue	LC	0,005	0,24	Augmentation
Mésange charbonnière	LC	0,67	0,001chi2cor	Stabilité
Pigeon ramier	LC	0	0,48	Augmentation
Corneille noire	LC	0,02	0,76	Augmentation
Mésange à longue queue	LC	0,07	0,44	Incertain
Accenteur mouchet	LC	0,01	0,25	Déclin
Fauvette à tête noire	LC	0,09	0,53	Stabilité
Merle noir	LC	0,06	0,22	Stabilité
Héron cendré	LC	0,45	0,19	Incertain
Rossignol philomèle	LC	0,48	0,8	Stabilité
Rousserolle effarvate	LC	0,01	0,71	Augmentation
Loriot d'Europe	LC	0,4	0,018	Stabilité
Canard colvert	LC	0	0,005 + chi2cor	Augmentation
Moineau friquet	DD	0,25	0,22	Incertain
Faisan de colchide	NE	0,007	0,019chi2cor	Augmentation
Tourterelle des bois	DD	0,03	0,02chi2cor	Déclin
Fauvette babillarde	LC	0,32	0,83	Incertain
Coucou gris	LC	0,53	0,52	Incertain

2) Analyse des tendances par des GAMM

Au contraire des analyses effectuées sous TRIM, l'utilisation d'un GAMM permet de traiter une distribution non linéaire (figure 4).

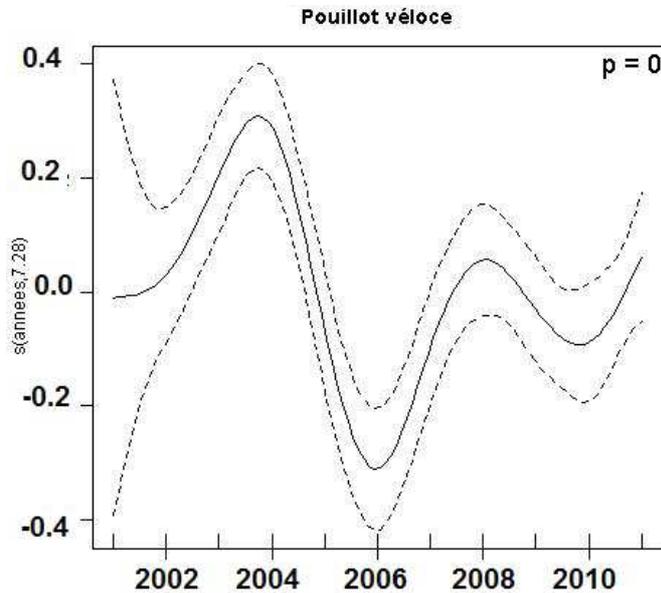


Figure 4 : Représentation de la distribution du Pouillot véloce (N=2447) en utilisant un GAMM (la variation d'effectif n'est pas linéaire).

2-1 : Effet de l'habitat

L'utilisation de modèles à effet mixte permet d'exclure la variable habitat dans l'explication de la distribution des effectifs, en plaçant celle-ci en effet random. Ainsi, il peut être constaté que pour une même espèce, la tendance qui découle de la représentation des effectifs peut être différente si l'effet habitat n'est pas considéré (figure 5).

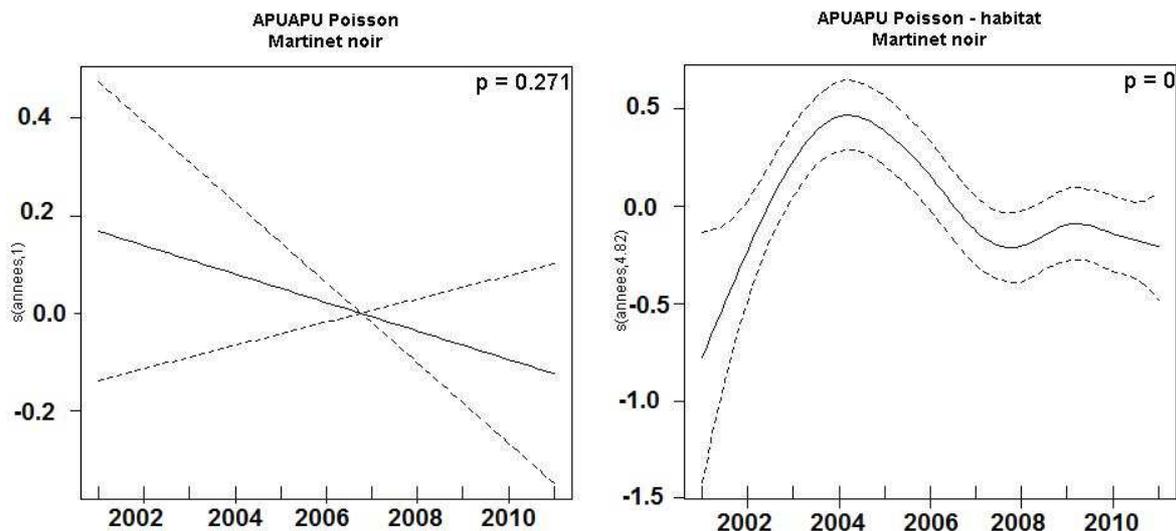


Figure 5: Représentation des distributions au cours du temps du Martinet noir (N=1655) (à droite, l'habitat est un effet « random » du modèle : la distribution est significativement représentée par le modèle. L'espèce présente des variations inter-annuelles significatives d'effectif; à gauche, la probabilité de H_0 étant supérieure à 0.05, l'effectif de la population peut être considéré stable).

Ainsi pour la suite de l'analyse, seuls les modèles pour lesquels l'habitat a été intégré comme effet random ont été considérés. L'habitat n'est également pas pris en compte dans l'analyse semi automatisée effectuée sous TRIM.

Il est toutefois nécessaire de préciser que les habitats principaux ne sont pas forcément représentés de manière homogène en Franche-Comté (figure 6). En effet, malgré une simplification des habitats principaux en 5 catégories (agricole, bâti, forestier, rochers et zones humides), il peut être constaté que certains carrés sont exclusivement forestiers ou agricoles par exemple. Une minorité de points EPS représentent les habitats de zones humides et rocailloux.

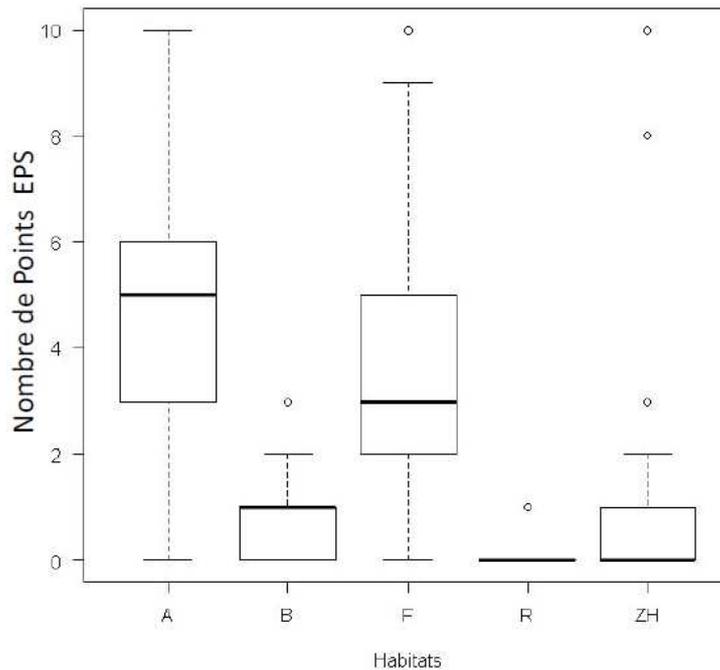


Figure 6 : Représentation du nombre de points EPS de chaque catégorie d'habitat principal (A : agricole ; B : bâti ; F : forestier ; R : rochers ; ZH : zone humide) par carré.

2-2 : Effet du passage précoce

La structure des données peut être modifiée par la prise en compte du passage précoce de plusieurs façons. D'abord, un « faux déclin » peut être mis en évidence et disparaître lorsque le passage précoce est pris en compte (cas du Rougegorge familier (figure 7), et du pinson des arbres). Aussi, la distribution peut être non significative (tendance stable) et devenir significative (cas du Pic épeiche, du Gros-bec casse-noyaux, du Bouvreuil pivoine et de la Sittelle torchepot en augmentation, ainsi que du Milan noir). Enfin, la tendance peut devenir non significative (cas de la Grive musicienne pour laquelle un faux déclin est observé ($p=0.007$) tandis que la prise en compte du passage précoce traduit une tendance stable ($p=0.174$)).

Ainsi ces 8 espèces présentent une différence notable de distribution temporelle d'effectifs lorsque le passage précoce est considéré. Pourtant, seuls 11 carrés sur les 41 prospectés en 2011 ont fait l'objet d'un passage précoce.

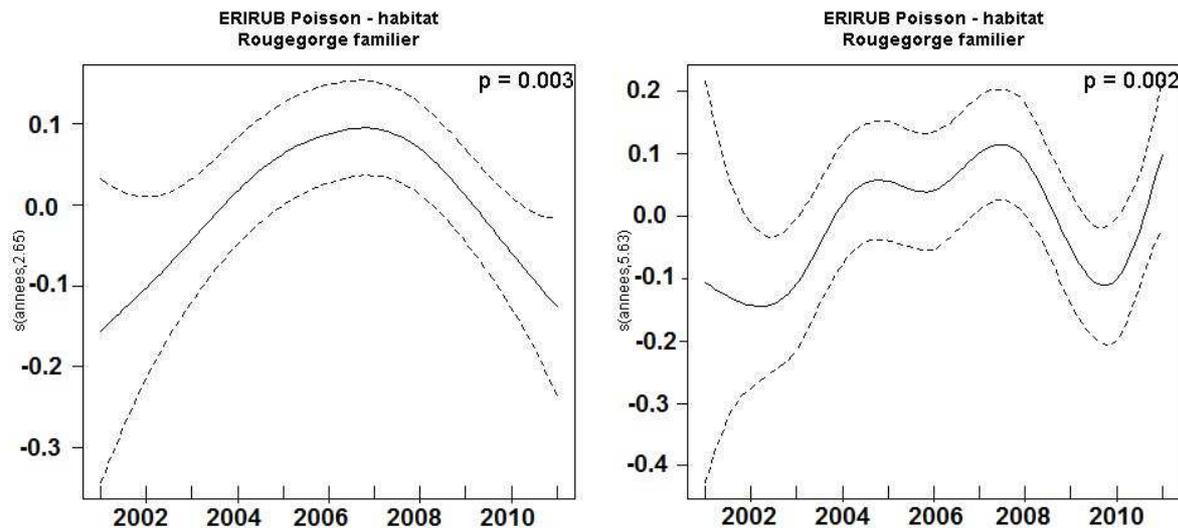


Figure 7: Représentation des distributions au cours du temps du Rouge-gorge familial (N=1903) (à gauche, le passage précoce n'est pas pris en compte: un « faux déclin » est observé; à droite, le passage précoce est pris en compte: l'espèce n'est pas en déclin).

3) Comparaison des deux méthodes d'analyse

Pour une comparaison globale des deux méthodes d'analyse proposées par cette étude, d'après les précédentes constatations, le modèle de GAMM prenant en compte le passage précoce et pour lequel l'habitat est considéré comme un effet random sera considéré afin de comparer avec les conclusions de TRIM.

Seulement 15 espèces aboutissent à la même conclusion lorsqu'elles sont analysées par TRIM et par une approche GAMM, (tableau 2). Il apparaît clairement que l'utilisation d'un GAMM apporte de l'information supplémentaire surtout en ce qui concerne les espèces sortant « incertain » de l'analyse par TRIM. Environ 63,23% des espèces sont qualifiées d'ayant une tendance incertaine par TRIM. Le GAMM apporte également de la précision pour le Rougegorge familial, le Pinson des arbres et la Mésange charbonnière qui sont perçues stables par TRIM alors que la représentation donnée par l'utilisation d'un GAMM montre une certaine variabilité (figure 8).

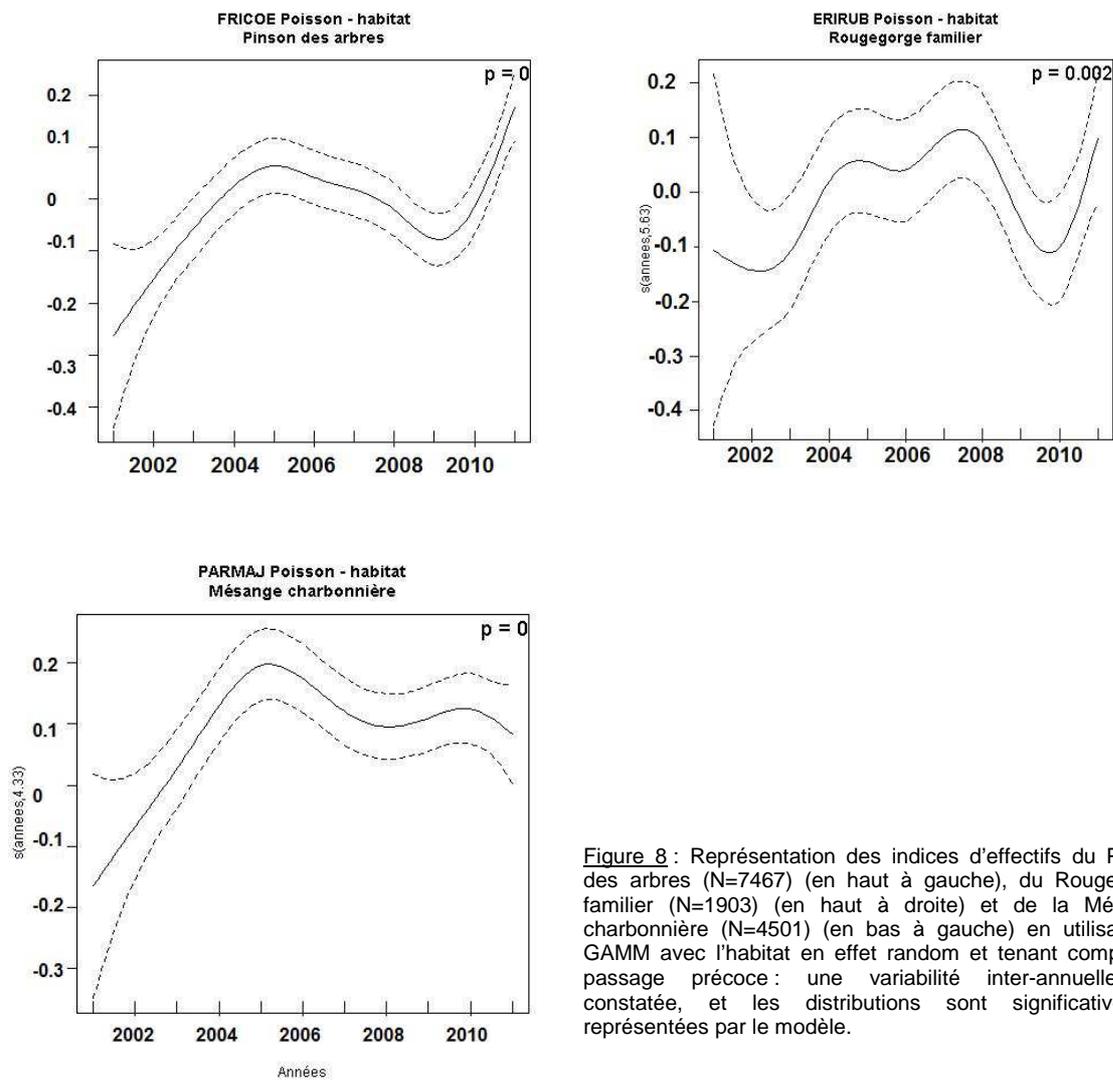


Figure 8 : Représentation des indices d'effectifs du Pinson des arbres (N=7467) (en haut à gauche), du Rougegorge familier (N=1903) (en haut à droite) et de la Mésange charbonnière (N=4501) (en bas à gauche) en utilisant un GAMM avec l'habitat en effet random et tenant compte du passage précoce : une variabilité inter-annuelle est constatée, et les distributions sont significativement représentées par le modèle.

La Fauvette à tête noire ne fluctue pas beaucoup et pourrait être qualifiée d'en augmentation par l'observation du GAMM (figure 9). Pourtant, l'analyse sous TRIM la qualifie de stable, ce qui est assez contradictoire.

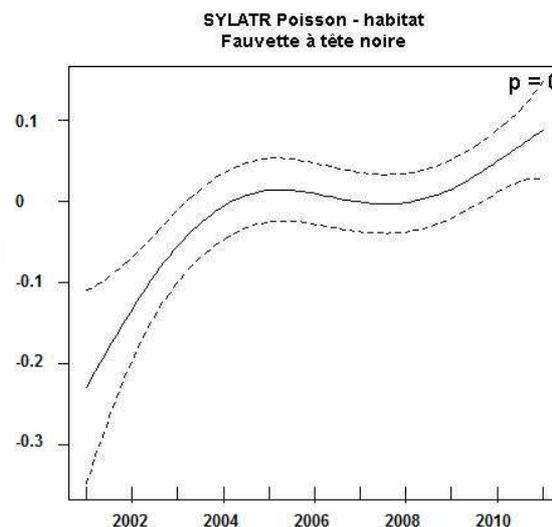


Figure 9 : Représentation des indices d'effectifs de la Fauvette à tête noire (N=5583) en utilisant un GAMM avec l'habitat en effet random et tenant compte du passage précoce : la distribution est significativement représentée par le modèle.

De plus, seules 3 espèces (l’Hirondelle de fenêtre, la Rousserolle effarvatte et le Canard colvert) ne sont pas analysées par le GAMM (en raison de non-convergence du modèle) mais le sont par TRIM.

Tableau 2 : Synthèse des conclusions par l’utilisation d’un GAMM et de TRIM. Les espèces en jaune sont spécialistes de milieu agricole, les espèces en orange de milieu bâti, en vert de milieu forestier et en gris les espèces généralistes. Les conclusion surlignées en rose correspondent à celles où l’information apportée par TRIM et par le GAMM est la même.

Espèce	GAMM	TRIM
Alouette des champs	Stabilité	Incertain
Alouette lulu	Augmentation	Incertain
Buse variable	Déclin	Incertain
Linotte mélodieuse	Déclin	Incertain
Corbeau freux	Déclin depuis 2008	Incertain
Bruant jaune	Déclin depuis 2006	Déclin
Bruant proyer	Léger déclin depuis 2006	Incertain
Faucon crécerelle	Augmentation	Incertain
Pie-grièche écorcheur	Diminue depuis 2007	Incertain
Tarier pâtre	Stabilité	Incertain
Fauvette grisette	Stabilité	Incertain
Caille des blés	Déclin entre 2006 et 2009	Incertain
Martinet noir	Déclin depuis 2004	Incertain
Chardonneret élégant	Déclin	Déclin
Verdier d'Europe	Stabilité	Stabilité
Hirondelle de fenêtre		Augmentation
Hirondelle rustique	Déclin depuis 2006	Incertain
Moineau domestique	Léger déclin depuis 2006	Incertain
Rouge-queue noir	Stabilité	Stabilité
Rouge-queue à front blanc	Stabilité	Incertain
Pie bavarde	Augmentation	Augmentation
Tourterelle turque	Légère augmentation	Incertain
Serin cini	Déclin	Déclin
Grimpereau des jardins	Stabilité	Incertain
Grimpereau des bois	Stabilité	Incertain
Gros-bec casse noyaux	Déclin entre 2008 et 2010	Incertain
Pic épeiche	Augmentation	Incertain
Pic mar	Augmentation	Incertain
Pic noir	Augmentation	Incertain
Rougegorge familier	Augmentation, mais déclin entre 2005 et 2009	Stabilité
Pinson des arbres	Augmentation, mais déclin entre 2008 et 2010	Stabilité
Geai des chênes	Augmentation depuis 2007	Incertain
Mésange noire	Pic de déclin en 2007	Incertain
Mésange boréale	Augmentation depuis 2007	Incertain
Mésange nonnette	Augmentation	Augmentation
Mésange huppée	Déclin	Incertain

Pouillot véloce	Gros pic de déclin en 2006	Déclin
Pouillot fitis	Augmentation	Augmentation
Roitelet à triple bandeau	Stabilité	Incertain
Roitelet huppé	Stabilité	Incertain
Sitelle torchepot	Augmentation depuis 2006	Incertain
Fauvette des jardins	Stabilité depuis 2004	Incertain
Troglodyte mignon	Stabilité	Incertain
Grive musicienne	Stabilité	Stabilité
Grive draine	Augmentation	Incertain
Pigeon ramier	Augmentation	Augmentation
Corneille noire	Augmentation	Augmentation
Pic vert	Déclin entre 2006 et 2009	Incertain
Torcol fourmiller	Stabilité	Incertain
Mésange bleue	Augmentation	Augmentation
Mésange charbonnière	Léger déclin depuis 2006	Stabilité
Accenteur mouchet	Déclin	Déclin
Fauvette à tête noire	Augmentation	Stabilité
Merle noir	Stabilité	Stabilité
Pipit des arbres	Déclin depuis 2008	Incertain
Héron cendré	Stabilité	Incertain
Coucou gris	Léger déclin depuis 2006	Incertain
Rossignol philomèle	Stabilité	Stabilité
Milan noir	Gros pic de déclin en 2006	Incertain
Bergeronnette grise	Augmentation depuis 2007	Incertain
Loriot d'Europe	Déclin entre 2006 et 2009	Stabilité
Faisan de colchide	Déclin entre 2004 et 2008	Augmentation
Tourterelle des bois	Déclin fluctuant depuis 2005	Déclin
Etourneau sansonnet	Déclin depuis 2005	Incertain
Fauvette babillarde	Stabilité	Incertain
Grive litorne	Déclin entre 2004 et 2007	Incertain
Bouvreuil pivoine	Augmentation	Incertain
Rousserolle effarvate		Augmentation
Canard colvert		Augmentation

DISCUSSION

1) Méthode d'analyse des tendances

L'étude ainsi réalisée a permis de mettre en évidence que les résultats découlant de deux modes d'analyse peuvent être différents.

En effet, l'utilisation du logiciel TRIM présente l'avantage de permettre une analyse pertinente des données à distribution linéaire. De plus, celui-ci apporte l'information supplémentaire de l'année de changement de tendance en cas de variations inter-annuelles (European Bird Census Council, 2012).

Toutefois, l'utilisation du GAMM, méthode plus récente, donne un certain avantage de précision (Fewtser et al., 2000) puisqu'elle permet une analyse pertinente sur davantage d'espèces que TRIM (principalement les qualifiées d' « incertaines »). En effet, le GAMM permet l'analyse de distributions non linéaires et un meilleur contrôle des variables expliquant ces distributions. Par exemple, l'étude de Jiguet et al. (2007) a utilisé un taux de croissance pour estimer les tendances en mettant le site d'échantillonnage et l'année en effet additif. Un lien logarithmique et la loi de poisson ont été utilisés dans le modèle. Certaines études ont déjà utilisé ces méthodes d'analyse de distribution non linéaire pour l'examen de données type STOC et concluent que celle-ci est prometteuse et recommandable (Gregory et al., 2004 ; Massimino et al., 2008).

L'utilisation de différentes méthodes d'analyse n'exclut cependant pas la nécessité d'effectuer au préalable la visualisation des données brutes. Dans les programmes de suivi en écologie, le mode d'analyse et la présentation des données est un aspect facilement oublié (Spellerberg, 1991, Giraudoux comm. pers.). Pour réaliser des analyses des séries long terme sous TRIM (modèle « time effect »), il est fondamental d'anticiper la linéarité des tendances par l'examen des données brutes. Ainsi l'utilisation de GAMMs apporte des informations supplémentaires et multiplie les chances d'examiner un maximum d'espèces. Par exemple, il semblerait que 2006 soit une année charnière pour un certain nombre d'espèces, année à partir de laquelle des déclin ou des augmentations sont observées. En revanche, selon la question posée et en toute connaissance de cause, il n'est pas forcément à exclure de réaliser une analyse se basant sur des modèles linéaires à très long terme pour obtenir des tendances simplifiées d'espèces. Cela permet une meilleure transmissibilité de ces données, un examen plus rapide de celles-ci etc. Cela étant plus pertinent à l'échelle nationale quand les données sont très abondantes. De surcroît, les fluctuations inter-annuelles dans les effectifs spécifiques ne sont pas interprétables comme étant dues à l'effort d'échantillonnage ou à une véritable causalité biologique. Il est cependant nécessaire d'apporter de la pertinence au choix de la méthode d'analyse après examen des données brutes, et ne pas négliger l'aspect parfois complémentaire de ces méthodes.

2) Effet de l'habitat

Le fait de mettre l'habitat en effet random peut modifier la distribution des données. Cet effet est certainement imputable au fait que les différents types d'habitats ne sont pas équilibrés entre les carrés EPS, mais ce résultat nécessiterait une analyse spécifique pour être correctement interprétable. Il a donc été considéré que le maintien de cet effet en effet random

était nécessaire pour « éliminer » statistiquement la confusion induite par des variations d'habitat dans le plan d'échantillonnage sur les tendances interannuelles observées.

Cependant, cette variable peut être d'un intérêt primordial dans une optique d'évaluation d'effets spécifiques de l'habitat. Il a en effet été démontré que l'habitat principal a un effet significatif sur le « taux de croissance » des populations (Jiguet et al., 2009). C'est également un déterminant important de la distribution des oiseaux, et la compréhension de l'usage de l'habitat par une espèce est fondamentale dans l'estimation des statuts de conservation (Bibby et al., 1998). De plus, il a déjà été avéré que les tendances de certaines espèces sont allouables à leur degré de spécialisation en termes d'habitat. En effet, les espèces spécialistes sont déjà perçues comme plus vulnérables que les généralistes (Mckinney, 2007 cité dans Filippi-Codaccioni, 2011). Les spécialistes souffrent de la dégradation de leur habitat, en particulier dans les milieux agricoles, ce qui entraîne une homogénéisation fonctionnelle et taxonomique des communautés d'oiseaux communs (Jiguet et al., 2009). Le MNHN a constitué des listes d'espèces pour chaque région biogéographique précisant les espèces spécialistes des milieux bâti, agricole, forestier et les espèces généralistes. Cette catégorisation a permis de tirer des conclusions à l'échelle régionale comme par exemple la mise en évidence du déclin des espèces agricoles en Franche-Comté (Leducq, 2012), le déclin des espèces forestières en Aquitaine (Filippi-Codaccioni, 2011), des espèces de bâti en Bourgogne (Mezani, 2010). Le déclin des spécialistes des milieux agricoles a été mis en évidence dans toute l'Europe (Pain et Donald, 2002). Ainsi en France un déclin des spécialistes a été mis en évidence sur la période 1989-2008 (-11% pour les forestiers, -20% pour les espèces de milieu bâti et -20% pour les agricoles), s'opposant à l'augmentation des généralistes (+20%) (Jiguet et Moussus, 2009). L'étude présentée ici ne détecte pas de telles tendances. C'est pourquoi il est nécessaire de repenser la manière d'imputer la variable habitat à l'analyse, de manière à révéler d'éventuelles tendances masquées ici par un plan d'échantillonnage qui reste à investiguer dans le détail. Il peut être envisageable d'effectuer des analyses espèce par espèce à la résolution des points EPS pouvant être attribués à l'habitat qui lui correspond. Les codifications d'habitats par les observateurs peuvent toutefois constituer un biais (dans plusieurs cas, une inversion entre l'habitat principal et le secondaire a été observée sur un même point et par le même observateur), et la codification proposée très détaillée peut accentuer ce biais. Cela limite considérablement cette possibilité. L'analyse la plus objective possible de chaque point EPS précisément géoréférencés, soit par visite de terrain, soit par l'utilisation de bases de données d'occupation du sol et/ou de photos aériennes, bien qu'étant fastidieuse, est possible à l'échelle régionale et peut fournir une alternative.

Etant donné le panel d'écosystèmes différents que présente la France, il serait intéressant d'envisager la constitution d'autres listes au niveau régional, se basant par exemple sur l'altitude (facteur très influant en Franche-Comté, et sachant que la dégradation de l'environnement est différente en plaine et en montagne), ou même les préférences alimentaires ou encore les stratégies migratoires comme cela a été proposé par Mézani (2010).

3) Effet du passage précoce

Cette étude montre que la prise en compte du passage précoce conduit à des différences appréciables de cinétiques interannuelles. Il peut donc être conclut que l'estimation annuelle

des effectifs est ici très dépendante de la période à laquelle sont faites les mesures. Jiguet et Moussus (2009) interprètent ce changement comme une réponse aux variations climatiques, certaines espèces avançant la période de reproduction, au cours de laquelle les individus sont détectables au chant. Un autre facteur pouvant expliquer la détection plus précoce de certaines espèces est l'avancée du retour de migration vers les sites de reproduction (Flaven, 2008 ; Jiguet et Moussus, 2009). Ces phénomènes correspondent à ce que l'on appelle un décalage phénologique². Dans le contexte des changements climatiques actuels, la tendance à l'augmentation des températures printanières a entraîné une avancée progressive du débourrement des bourgeons, de l'éclosion des insectes qui constituent des étapes dans la reproduction des oiseaux (Jiguet et Moussus, 2009). Il a déjà été établi que des espèces ont avancé leurs pontes (Jiguet et Moussus, 2009), une avancée de 8 à 18 jours est attendue d'ici 2080 pour la ponte de la mésange charbonnière par exemple (Pain et Donald, 2002). En Franche-Comté, il a été mis en évidence par la réalisation d'un TER au sein de la LPO Franche-Comté l'avancée migratoire de 34 espèces, de 9 à 51 jours (pour la Fauvette babillarde et le Pigeon ramier respectivement), ce qui impacte l'évolution des effectifs de populations (Flaven, 2008).

Les données STOC ne sont pas souvent utilisées pour étudier la phénologie, étant donné que le protocole n'a pas été mis en place pour cette problématique (Moussus et al., 2009). C'est pourquoi la présente étude ne permet pas de mettre en évidence un réel décalage phénologique mais révèle cependant le net impact du passage précoce de mars sur la manière dont sont perçues les cinétiques interannuelles. Ces décalages seraient à mettre en relation avec la biologie des espèces concernées par la suite. En effet, il faudra dans les années à venir s'assurer que le passage précoce n'aura pas un effet inverse de « fausse augmentation » en ce qui concerne certaines espèces migratrices qui seraient alors comptabilisées (Grosbec casse-noyaux par exemple).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le bilan ainsi effectué pour les 10 années de suivi de l'avifaune commune en Franche-Comté est une étude constituant une première analyse régionale du protocole STOC-EPS. Les deux méthodes ici utilisées peuvent être considérées comme complémentaires, du fait qu'elles permettent toutes deux d'obtenir des conclusions sur les tendances, linéaires d'une part et non linéaires d'autre part. Il est important de préciser que l'examen préalable des données brutes est une étape indispensable dans le processus de sélection des modèles et donc d'analyse. Dans cet esprit, les applications a priori de procédures automatiques, même si implémentées dans certains logiciels (dont FNAT), sont dangereuses et susceptibles de conduire à des conclusions impertinentes voire erronées.

² Phénologie : Principe régissant les occurrences temporelles d'événements biologiques répétés annuellement (Moussus et al., 2009)

Deux aspects liés aux activités humaines ont été soulignés par le suivi d'oiseaux communs. Premièrement, l'observation avancée de certaines espèces peut être due à un décalage phénologique causé par le réchauffement climatique. Puis, les tendances sont différentes suivant le degré de spécialisation des espèces, au niveau national comme régional, d'où l'importance de la prise en compte de l'habitat. Il paraît difficile de proposer aux bénévoles d'effectuer la description cohérente des habitats des points d'écoute. D'autres solutions doivent cependant être recherchées car les données seront d'autant plus spécifiquement analysables et comparables que les habitats seront correctement caractérisés. Cet aspect pourrait être considéré au niveau spatial, en portant une réflexion sur les habitats et leurs changements (utilisation de photos aériennes par exemple). L'analyse spatiale présente également l'avantage de mettre l'accent sur les aires de répartition des espèces, une modification de celles-ci étant attendue comme réponse aux changements climatiques entre autres (Gregory et al., 2009).

Au niveau du plan d'échantillonnage, la question de la nécessité d'ajouter des carrés EPS ou en maintenir le nombre peut se poser. Malheureusement, elle ne peut être solutionnée si posée sous cette forme. A l'extrême, le nombre de carrés pourrait être réduit pour toutes les espèces dont la tendance mesurée s'avère statistiquement significative dans la présente étude, et augmenté pour toutes celles où elle ne l'est pas. Il ne peut cependant pas être affirmé que l'absence de tendance soit en réalité une tendance réelle masquée par un effort d'échantillonnage trop faible. En ce qui concerne la prospection des carrés, il semble plus important de garder à l'étude les mêmes carrés plutôt que d'en ajouter d'autres, les programmes de suivi d'oiseaux devant être réalisés dans les mêmes aires d'étude d'années en années, (Koskimies, 1989) et dans les mêmes habitats.

Enfin, quelles que soient les méthodes d'analyse et les paramètres pris en compte, un résultat commun demeure alarmant. Les espèces communes sont majoritairement en déclin à l'échelle nationale, « la régression étant lente et sans qu'aucune mesure efficace ne soit prise à ce jour » (Dupuis et al., 2011). Une réflexion doit ainsi être portée sur les questions posées et les moyens mis en place pour y répondre. Des protocoles standardisés permettent la constitution de bases de données conséquentes, et une actualisation de la prise de données et de leur analyse semble nécessaire. Pour cela, le concept de « monitoring adaptatif » a été proposé par Lindemayer et al. (2009) dont le paradigme est que le questionnement, la conception expérimentale, la collecte des données, l'analyse et l'interprétation sont des étapes répétées permettant ainsi une évolution, de nouvelles questions se développant et de nouvelles réponses pouvant être apportées (Lindenmayer et al., 2009). Le couplage entre observation et analyse critique permanente des résultats obtenus est donc une condition indispensable au développement de bases de données utiles au monitoring environnemental régional (Giraudoux, comm.pers.).

BIBLIOGRAPHIE

- Bibby C., M. Jones, S. Marsden, 1998.** Expedition field techniques. Bird Surveys. *Bird life international, Expedition Advisory center, London*, 134p
- Chauvet M., L. Olivier, 1993.** La biodiversité, enjeu planétaire. Préserver notre patrimoine génétique. *Ed. Sang de la Terre, Paris*, 413p
- Couvet D., F. Jiguet, R. Julliard, H. Levrel, 2005.** Les indicateurs de biodiversité, *In Barbault, R. et Chevassus-au-Louis, B. 2005. Biodiversité et changements globaux. Enjeux de société et défis pour la recherche, adpf-Ministère des Affaires Etrangères*, 241p
- Dupuis V., F. Jiguet, B. Deceubinck, T. Micol, 2011.** Etat et tendances de l'avifaune nicheuse en France métropolitaine, *MNHN, LPO, Ministère de l'écologie* 23p
- Filippi-Codaccioni O., 2011.** Etude de l'exploitabilité des données de Faune Aquitaine pour l'établissement d'indicateurs de biodiversité. *LPO-Faune Aquitaine*, 44p
- Flaven A., 2008.** Les effets du réchauffement climatique sur la phénologie et sur l'évolution des populations d'oiseaux migrateurs en Franche-Comté de 1980 à 2005. *Travail d'étude et de recherche (LPO Franche-Comté, Université de Franche-Comté)*, 24p
- Fowster R.M., S.T. Buckland, G.M. Siriwardena, S.R. Baillie, J.D. Wilson, 2000.** Analysis of population trends for farmland birds using generalized additive models. *Ecology, vol. 81: 1970-1984*
- Gregory R.-D., S. Baillie, R. Bashford, 2004.** Monitoring breeding birds in the United Kingdom. In: Anselin A., 2000. Proceedings of the International Conference and 13th Meeting of the European Bird Census Council, Parnu, Estonia. *Bird census News*, 13: 101-112
- Gregory R.-D., S.-G. Willis, F. Jiguet, P. Vorisek, A. Klvanova, A. Van Strien, B. Huntley, Y.-C. Collingham, D. Couvet, R.-E. Green, 2009.** An indicator of the impact of climatic change on european bird populations. *PloSONE 4: e4678*
- Jiguet F., 2003.** Instructions pour le programme STOC-EPS, *MNHN, CRBPO*, 18p
- Jiguet F., A.S. Gadot, R. Julliard, S.-E. Newson, D. Couvet, 2007.** Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. *Global change biology*, 13: 1672-1684
- Jiguet F., J.-P. Moussus, 2009.** Suivi temporel des oiseaux communs : 20 ans de programme STOC, Bilan pour la France en 2009. *MNHN, CRBPO*, 12p
- Jiguet F., R.-D. Gregory, V. Devictor, R.E. Green, P. Vorisck, A. Van Strien, D. Couvet, 2009.** Population trends of european common birds are predicted by characteristics of their climatic niche. *Global change biology*, 9p
- Koskimies P., 1989.** Birds are a tool in environmental monitoring. *Anni Zool-Fennici*, 26: 153-166
- Lindenmayer D.B., G.E. Likens, 2009.** Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in ecology and evolution*, 24: 482-486
- Leducq I., 2012.** Suivi temporel des oiseaux communs en Franche-Comté. Bilan 2011 du programme STOC-EPS- 10 ans de suivi. *LPO Franche-Comté, DREAL Franche-Comté, Région et Union européenne*, 41p
- Leducq I., 2011.** Suivi temporel des oiseaux communs en Franche-Comté. Bilan 2010 du programme STOC-EPS et première analyse des données de STOC-Capture. *LPO Franche-Comté, DREAL Franche-Comté, Région et Union européenne*, 47p

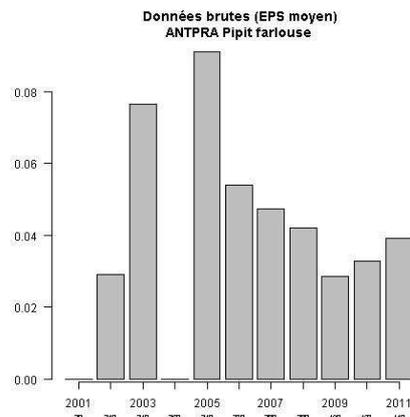
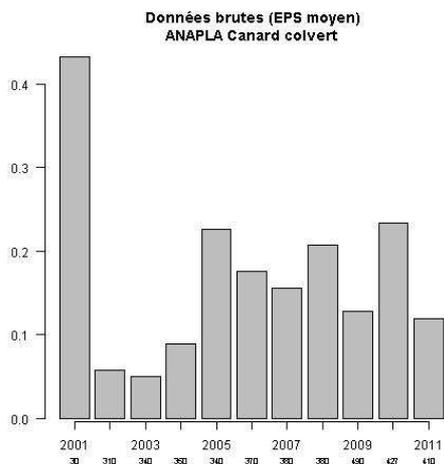
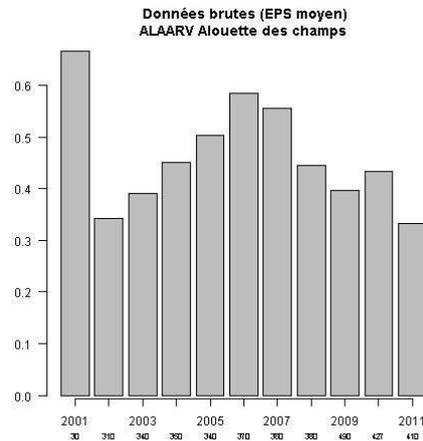
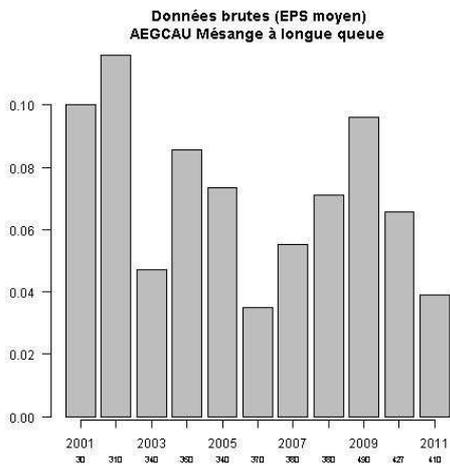
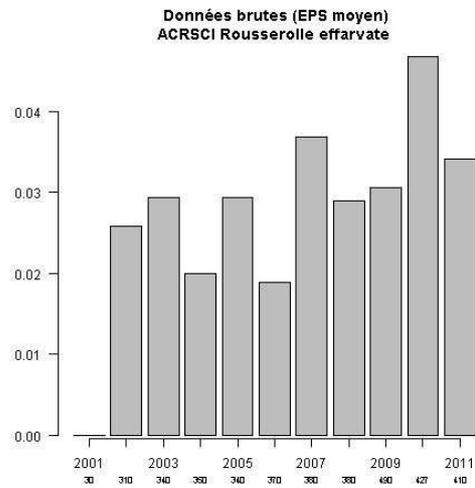
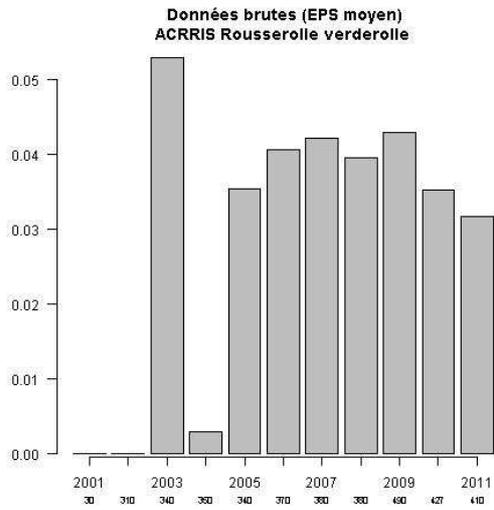
- Lévêque C., J.-C. Mounolou, 2001.** Biodiversité- Dynamique biologique et conservation. *Masson Sciences, Ed. Dunod, Paris*, 248p
- Malfait G., 2011.** La situation s'améliore pour une majorité d'oiseaux bénéficiant de mesures de protection, à la différence des espèces communes. Commissariat général du développement durable, le point sur, 100 : 4p
- Massimino D., V. Orioli, R. Massa, L. Bani, 2008.** Population trend assessment on a large spatial scale : integrating data collected with heterogeneous sampling schemes by means of habitat modelling. *Ethology Ecology and Evolution*, 20: 141-153
- McNeely J.-A., K.-R. Miller, W.V. Reid, R.A. Mihermeier, T.B. Werner, 1990.** Conserving the world's Biological Diversity. *IUCN, Gland, Switzerland, WRI, CI, WWF-US, Whashington DC.*, 324p
- Mezani S., 2010.** Programme de STOC en Bourgogne, bilan 2009. *Etude et protection des Oiseaux en Bourgogne*, 24p
- Moussus J.-P., F. Jiguet, J. Clavel, R. Julliard, 2009.** A method to estimate phenological variation using data from large scale abundance monitoring programmes. *Bird study*, 56: 198-212
- Norris K, D.J. Pain, 2002.** Conserving bird biodiversity-General principes and their application. *Cambridge University Press*, 337p
- Pain D.-J., P.-F. Donald in Norris K, D.-J. Pain, 2002.** Conserving bird biodiversity-General principes and their application. *Cambridge University Press*, 337p
- R Development Core Team, 2012.** R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>
- Spellerberg I.F., 1991.** Monitoring ecological change. *Cambridge University Press*, 334p
- Wood S.N. , 2006.** Generalized Additive Models: An Introduction with R. *Chapman and Hall/CRC*

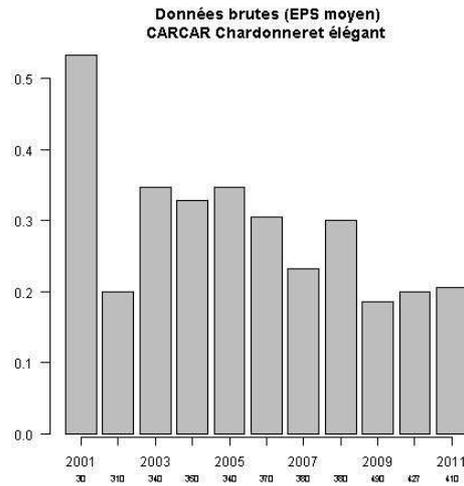
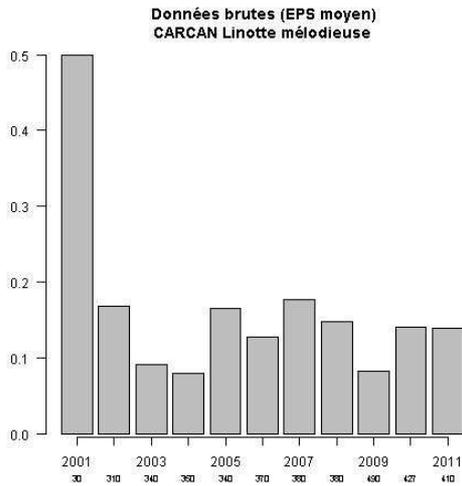
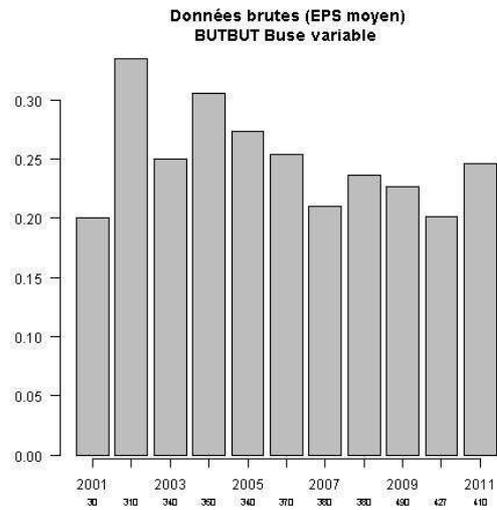
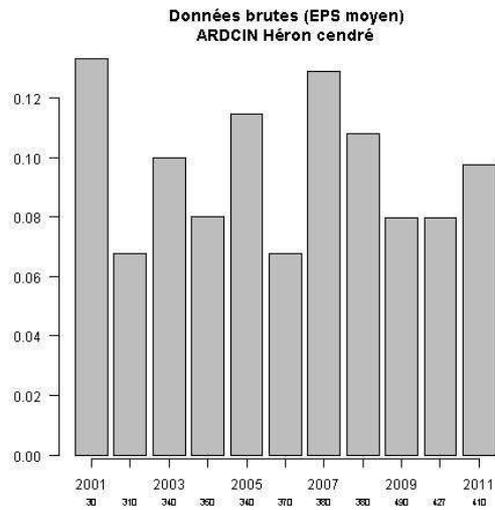
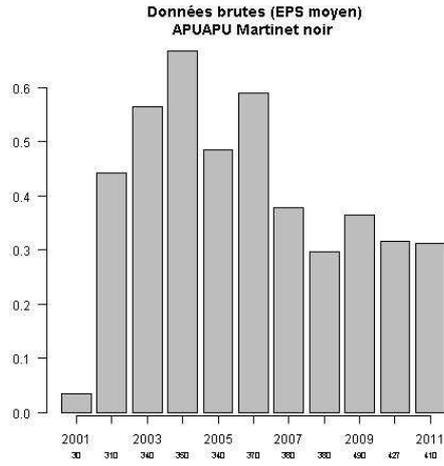
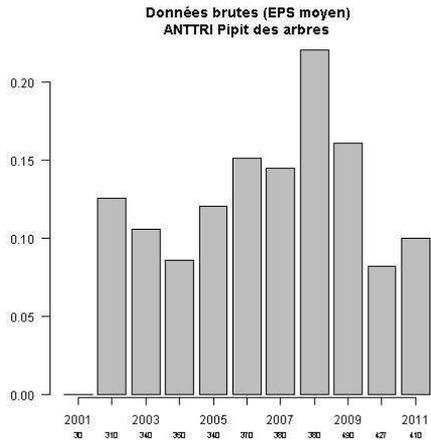
WEBOGRAPHIE

- European Bird Census Council, 2012. Disponible sur <<http://www.ebcc.info/trim.html>>
- Vigie Nature, MNHN. Disponible sur <<http://vigienature.mnhn.fr/>>

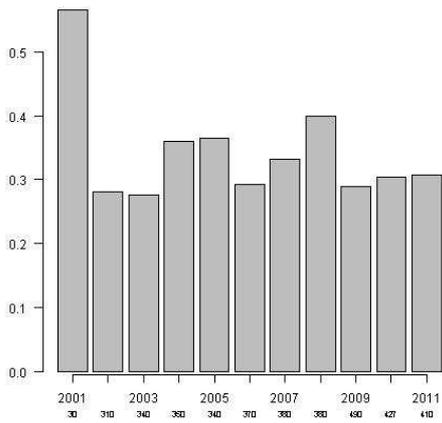
ANNEXES

Représentation des données brutes :

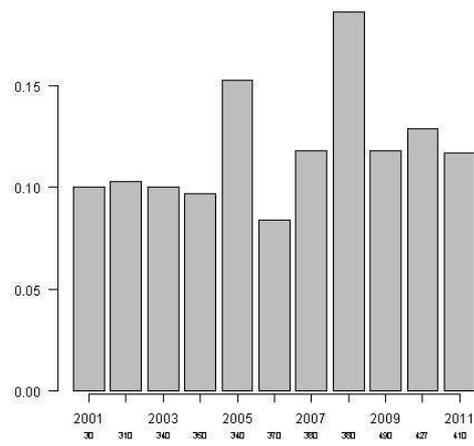




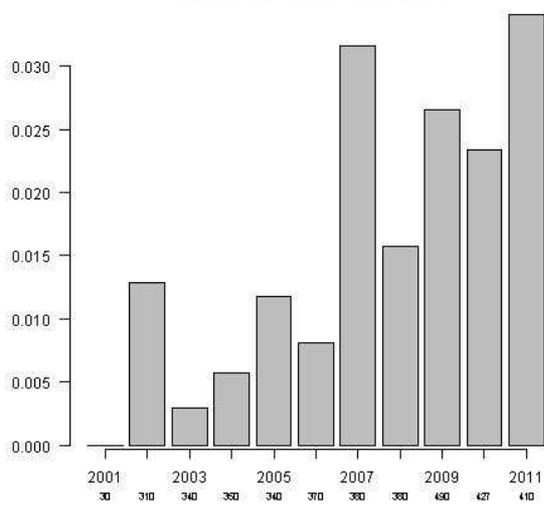
Données brutes (EPS moyen)
CARCHL Verdier d'Europe



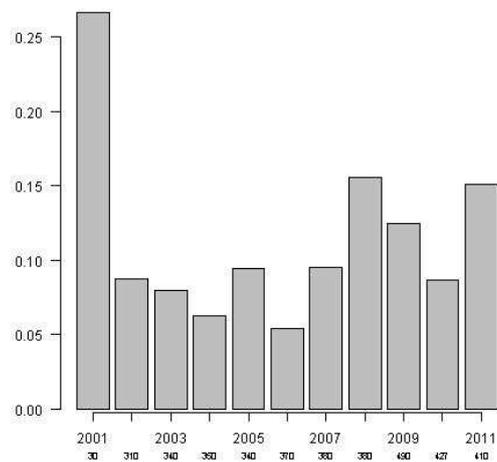
Données brutes (EPS moyen)
CERBRA Grimpeur des jardins



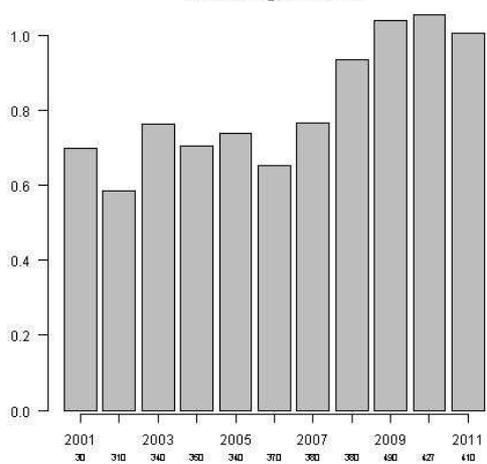
Données brutes (EPS moyen)
CERFAM Grimpeur des bois



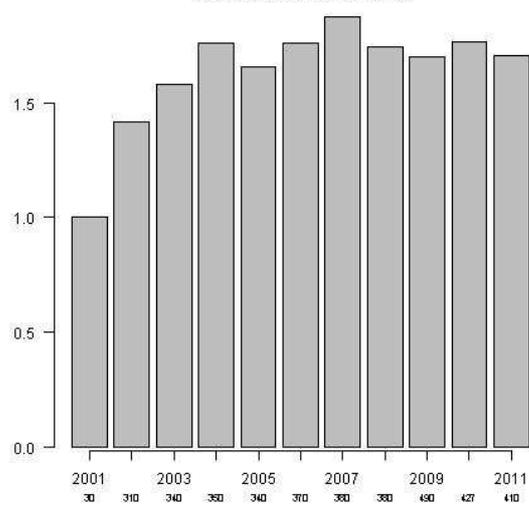
Données brutes (EPS moyen)
COCCOC Grosbec casse-noyaux



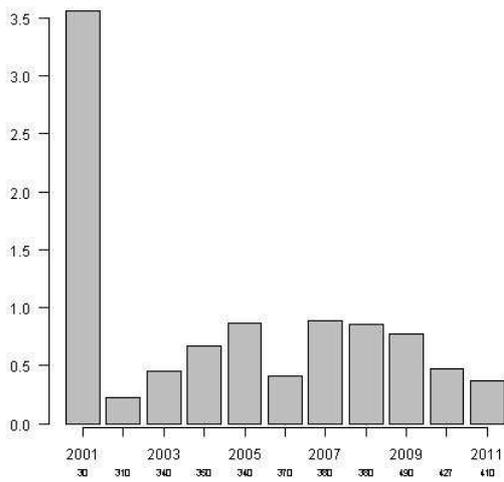
Données brutes (EPS moyen)
COLPAL Pigeon ramier



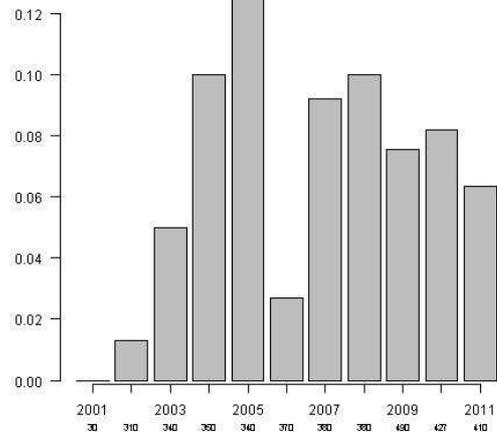
Données brutes (EPS moyen)
CORCOR Corneille noire



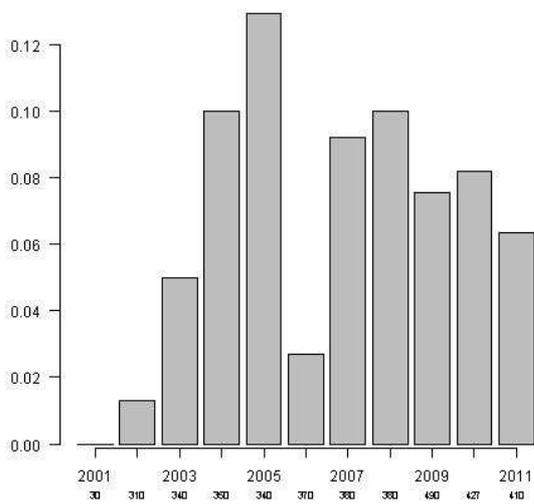
**Données brutes (EPS moyen)
CORFRU Corbeau freux**



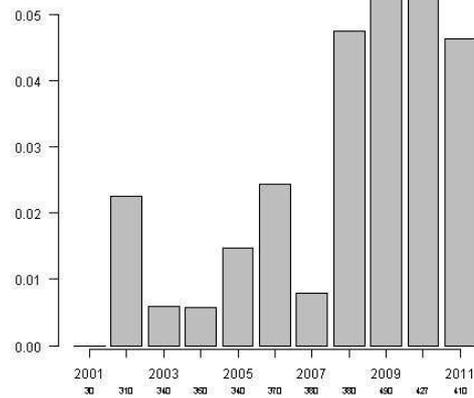
**Données brutes (EPS moyen)
CORMON Choucas des tours**



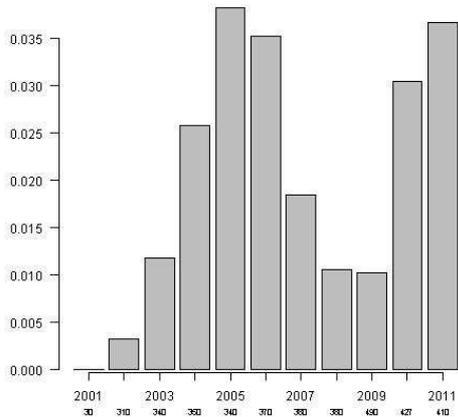
**Données brutes (EPS moyen)
CORMON Choucas des tours**



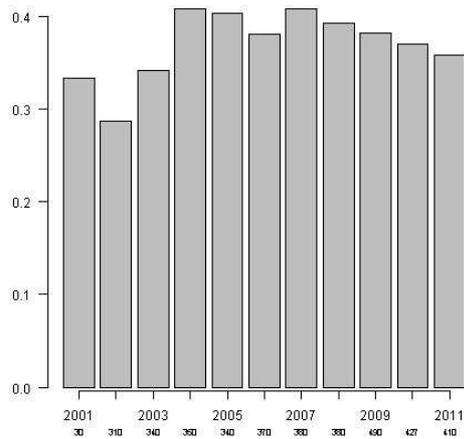
**Données brutes (EPS moyen)
CORRAX Grand Corbeau**



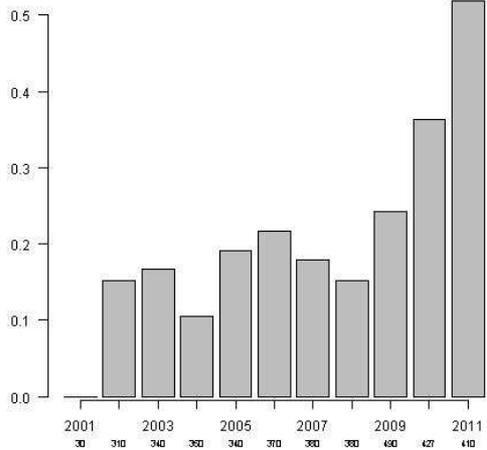
**Données brutes (EPS moyen)
COTCOT Caille des blés**



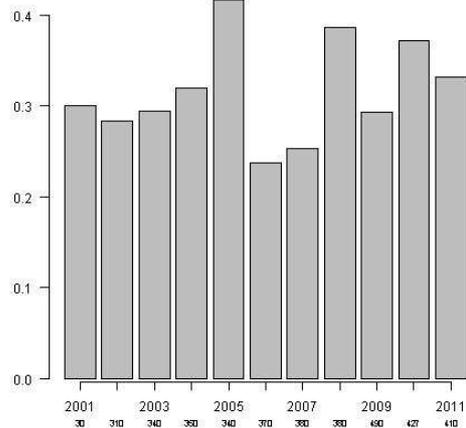
**Données brutes (EPS moyen)
CUCCAN Coucou gris**



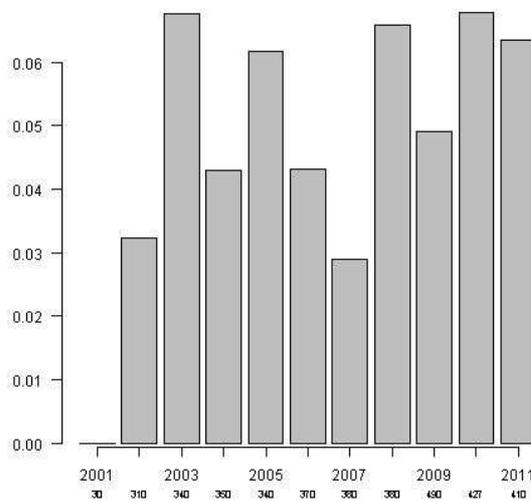
**Données brutes (EPS moyen)
DELURB Hirondelle de fenêtre**



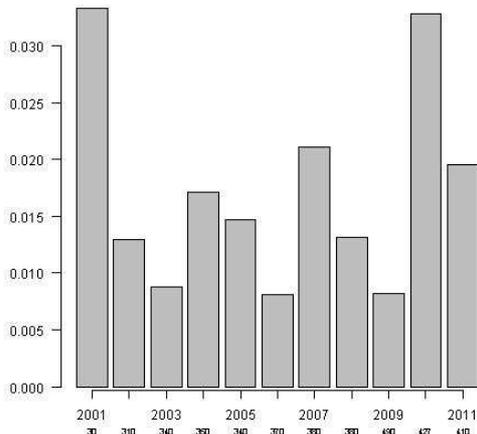
**Données brutes (EPS moyen)
DENMAJ Pic épeiche**



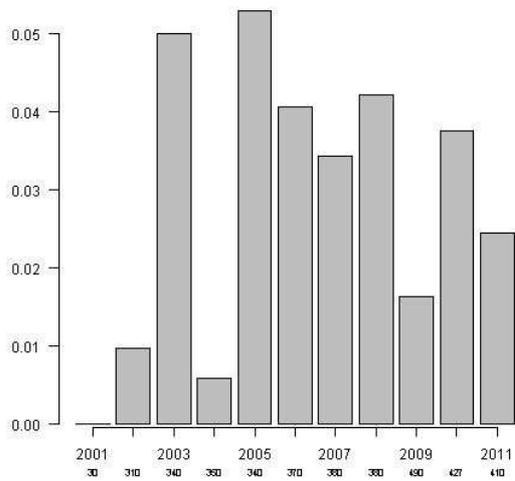
**Données brutes (EPS moyen)
DRYMAR Pic noir**



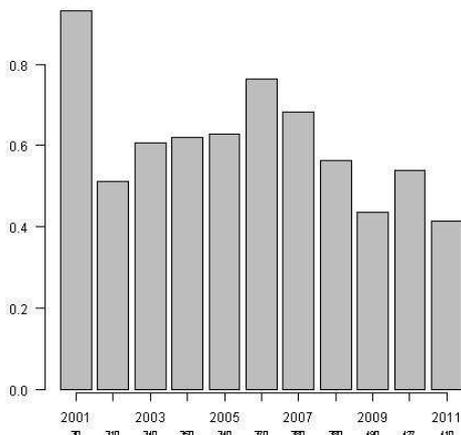
**Données brutes (EPS moyen)
DENMED Pic mar**

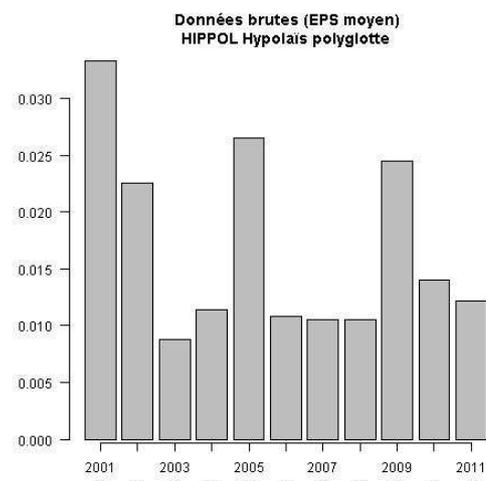
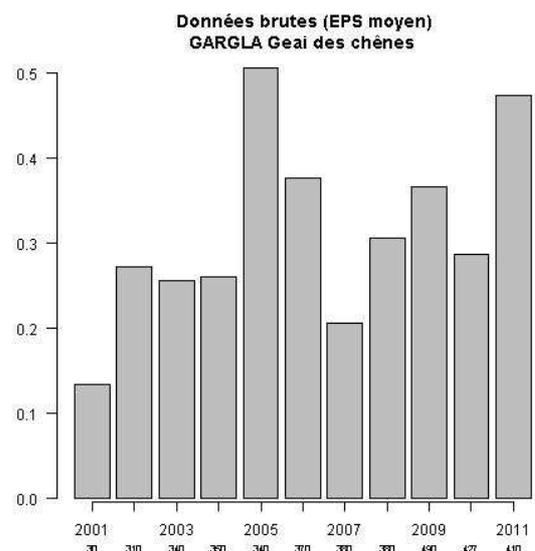
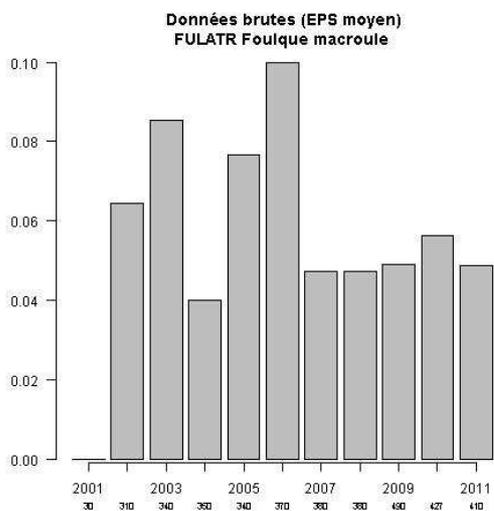
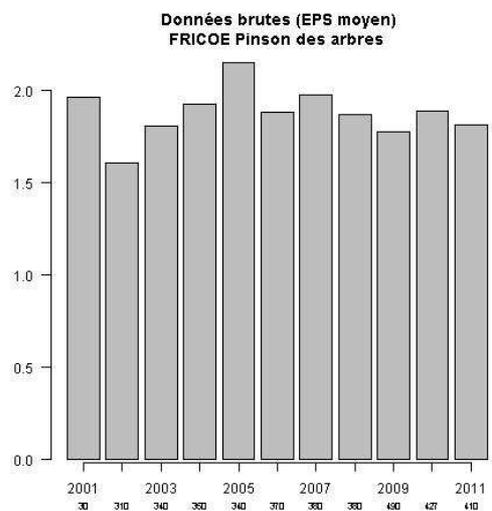
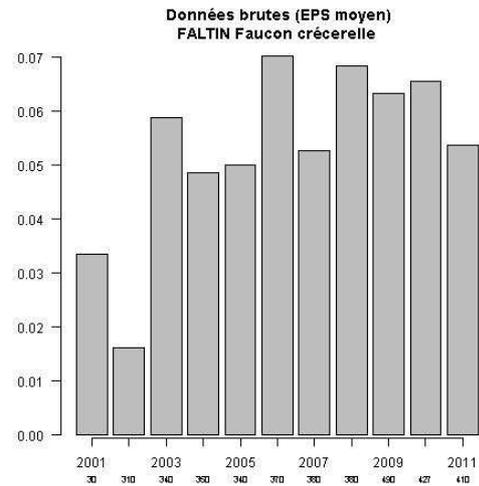
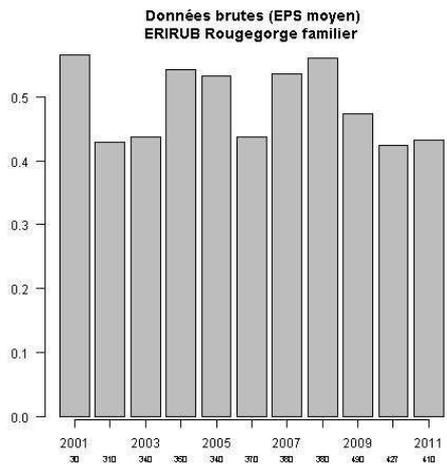


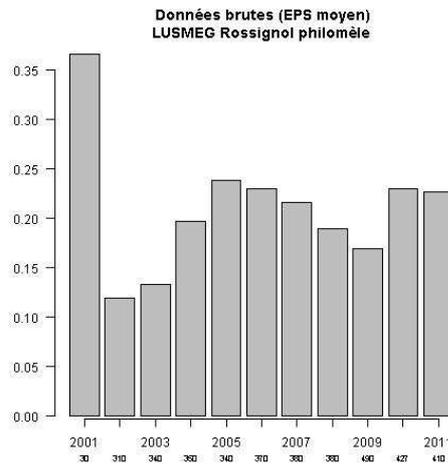
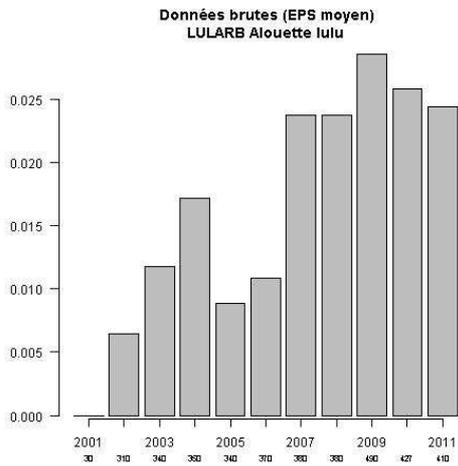
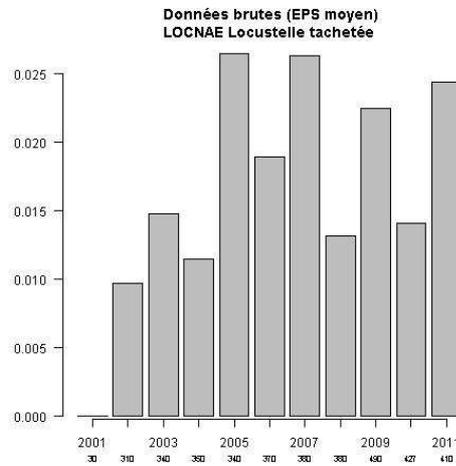
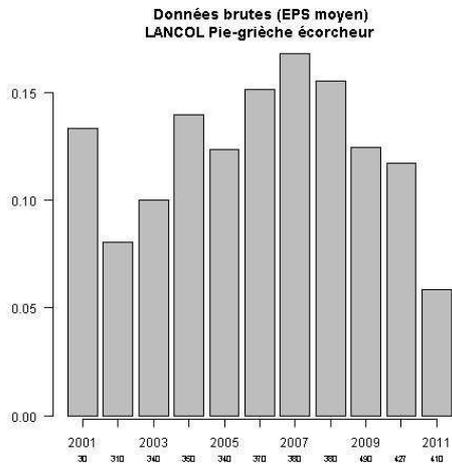
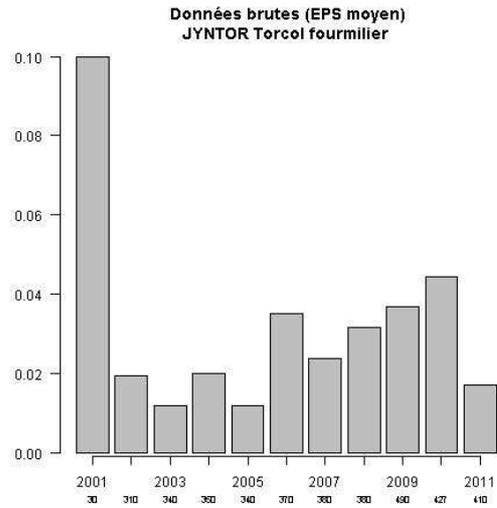
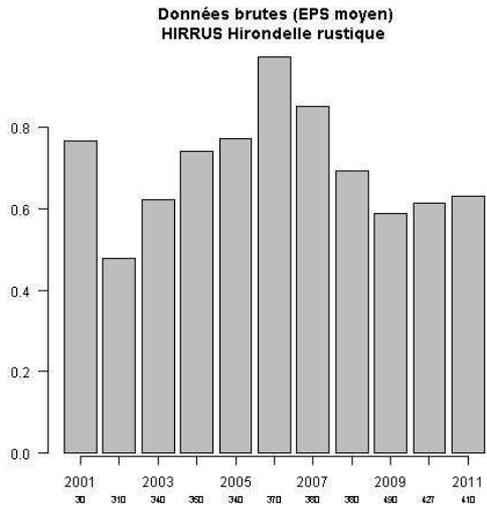
**Données brutes (EPS moyen)
EMBSCH Bruant des roseaux**

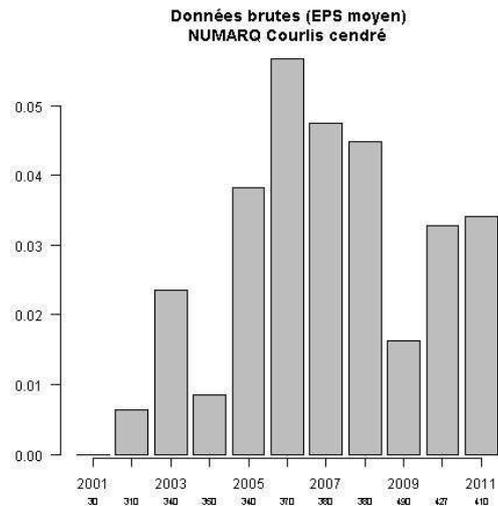
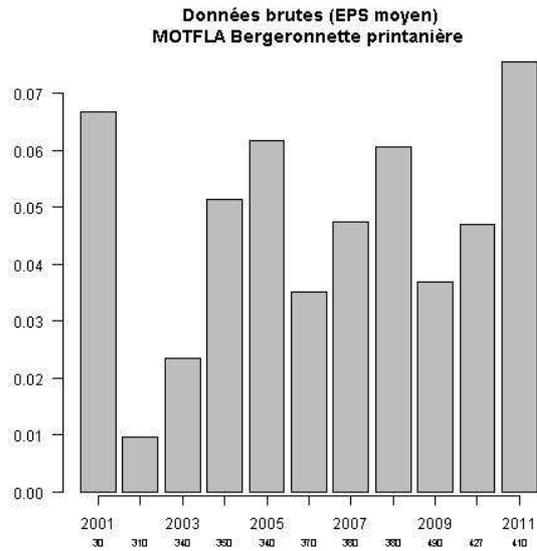
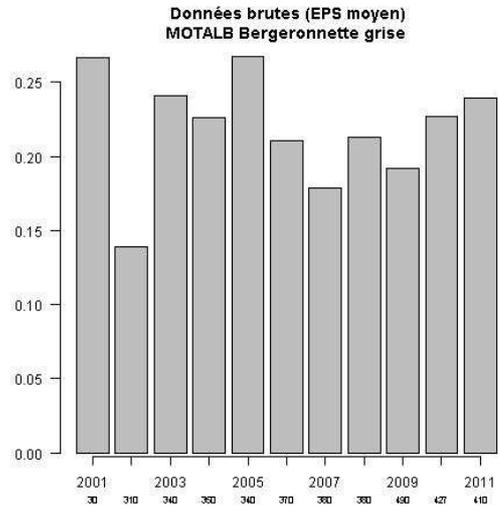
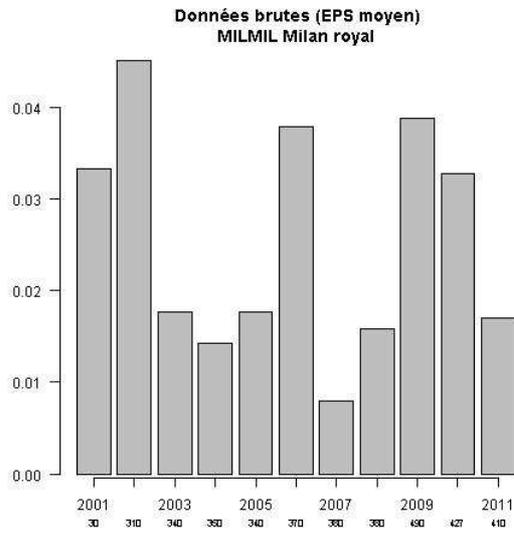
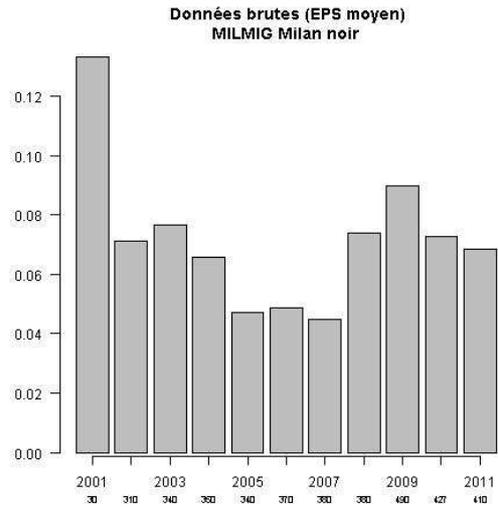
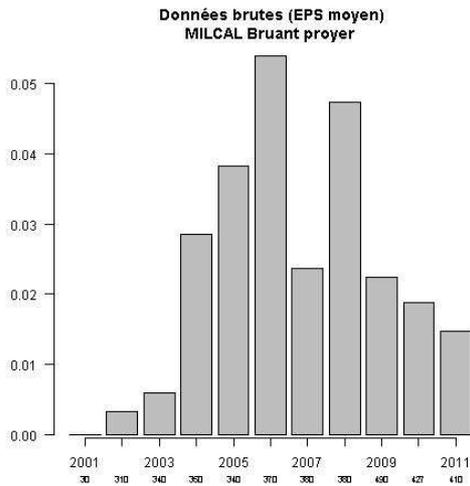


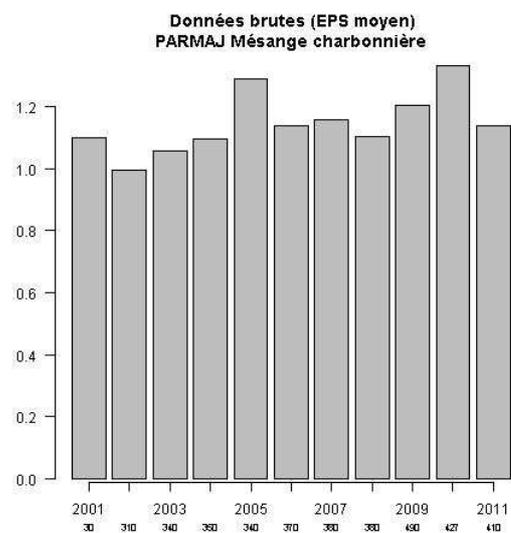
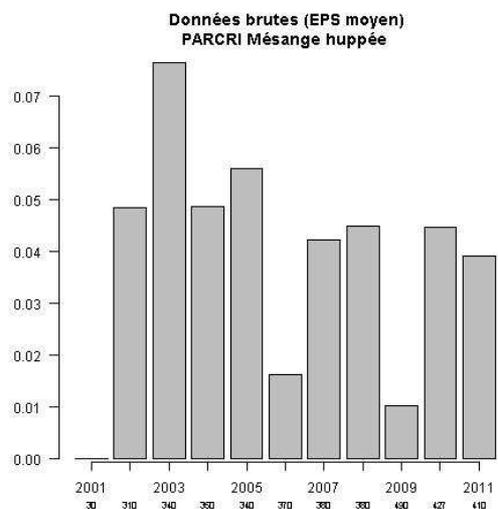
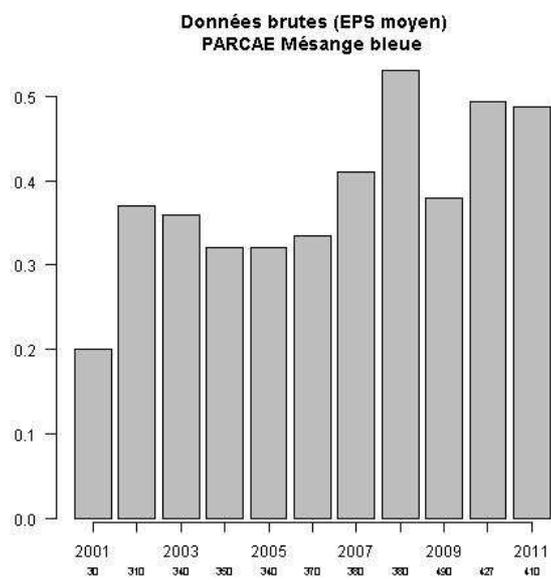
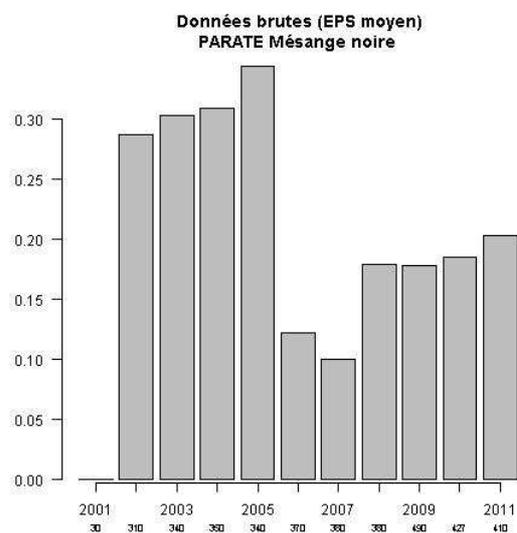
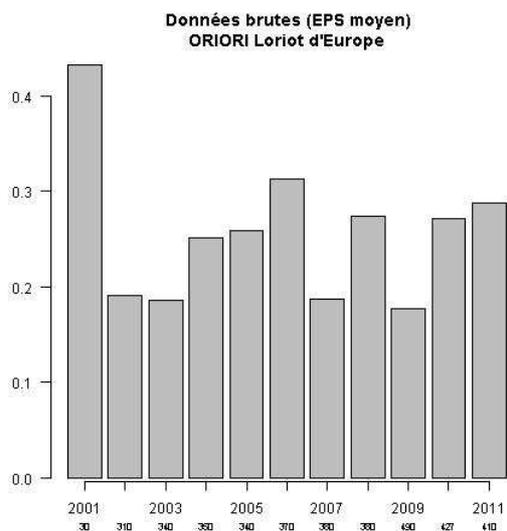
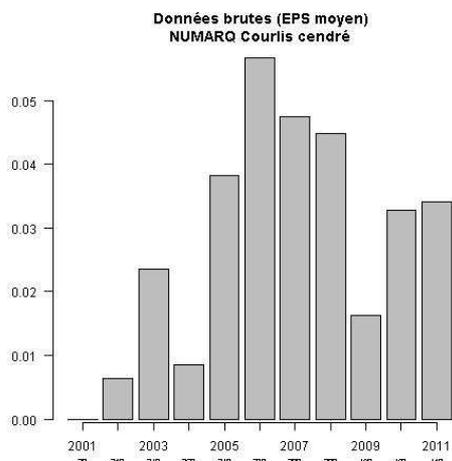
**Données brutes (EPS moyen)
EMBCIT Bruant jaune**



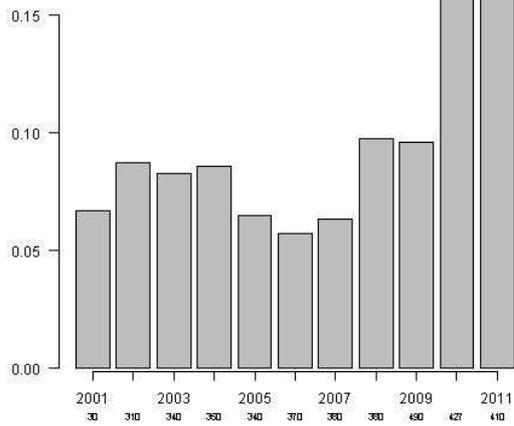




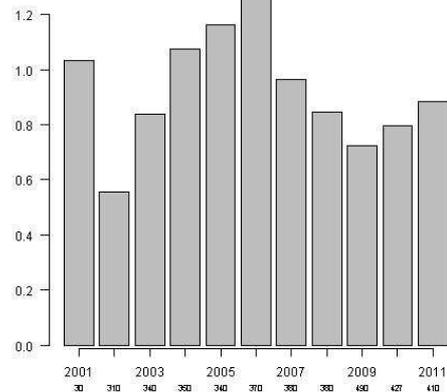




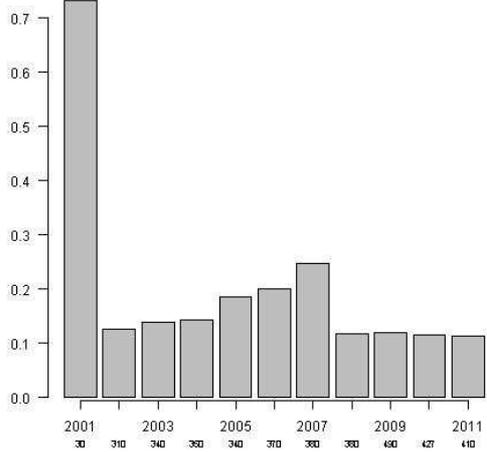
**Données brutes (EPS moyen)
PARPAL Mésange nonnette**



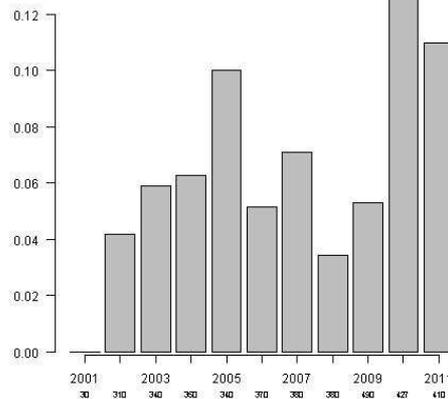
**Données brutes (EPS moyen)
PASDOM Moineau domestique**



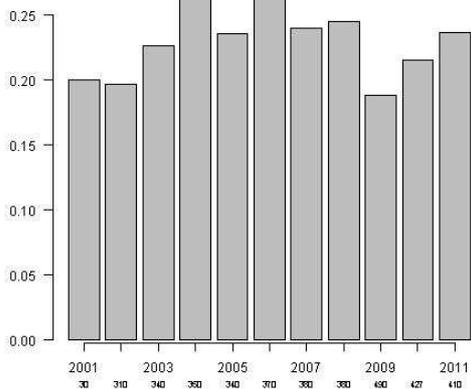
**Données brutes (EPS moyen)
PASMOM Moineau friquet**



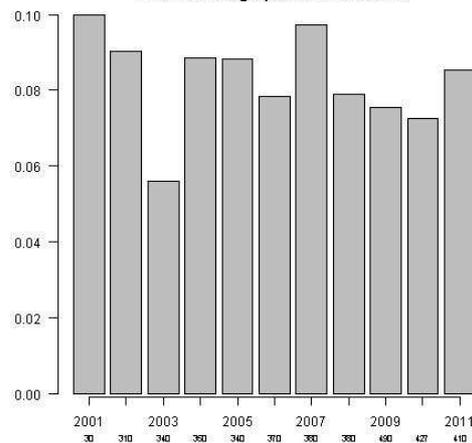
**Données brutes (EPS moyen)
PHACOL Faisan de Colchide**

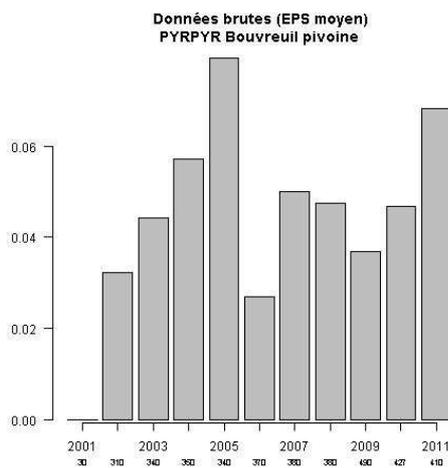
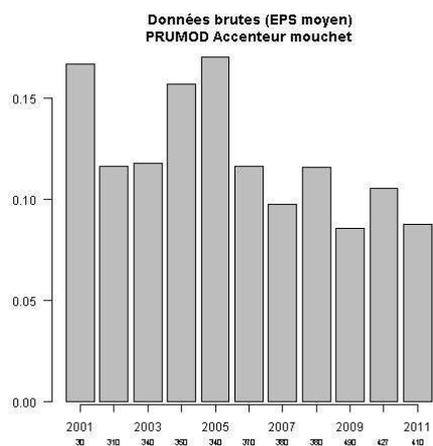
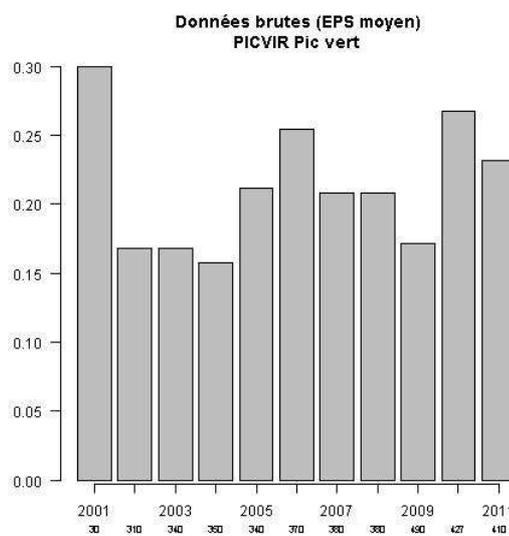
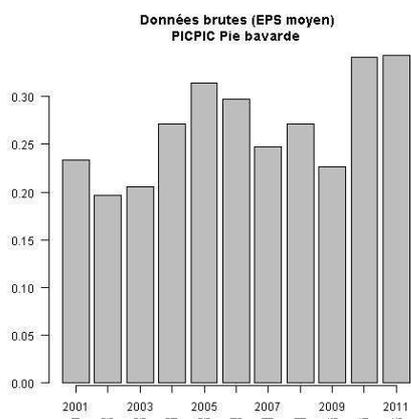
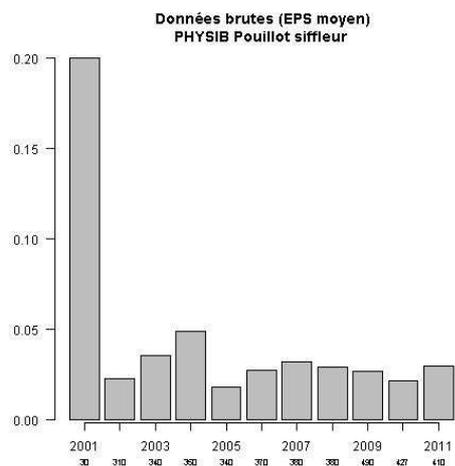
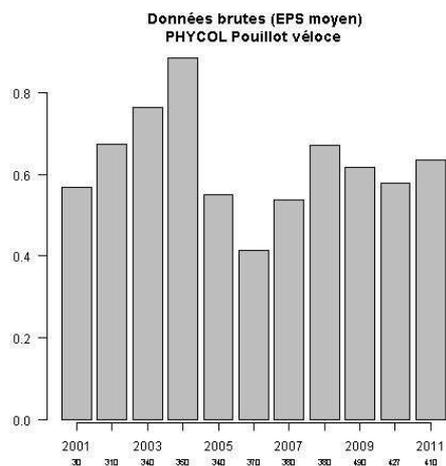


**Données brutes (EPS moyen)
PHOOCH Rougequeue noir**

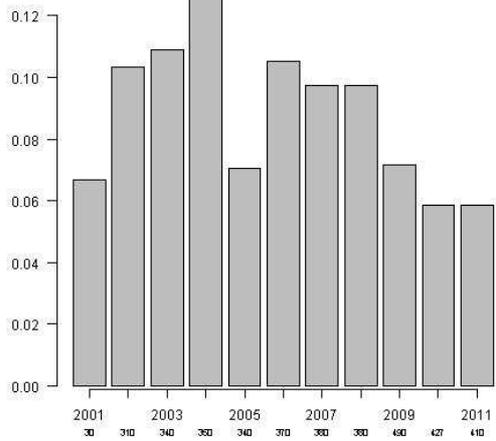


**Données brutes (EPS moyen)
PHOPHO Rougequeue à front blanc**

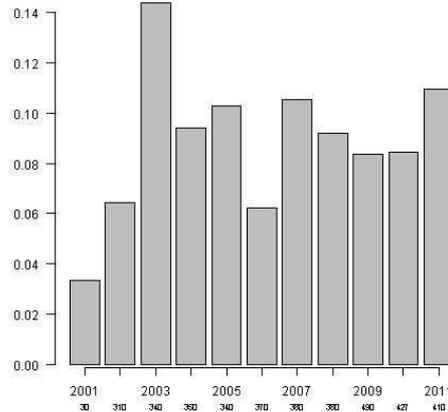




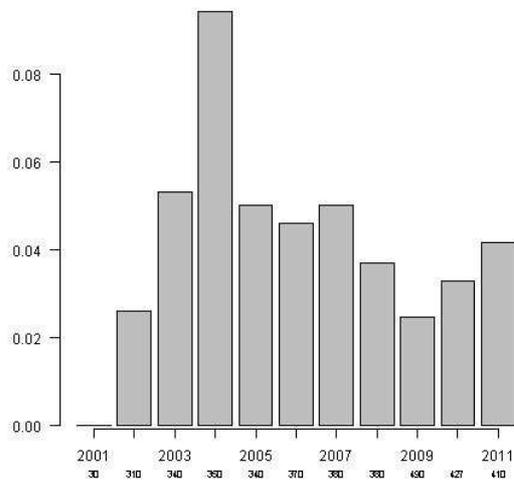
**Données brutes (EPS moyen)
REGIGN Roitelet à triple bandeau**



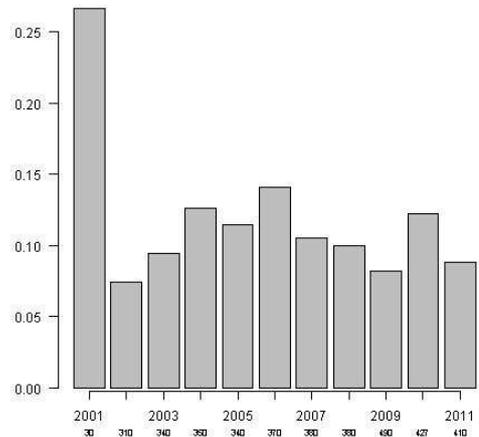
**Données brutes (EPS moyen)
REGREG Roitelet huppé**



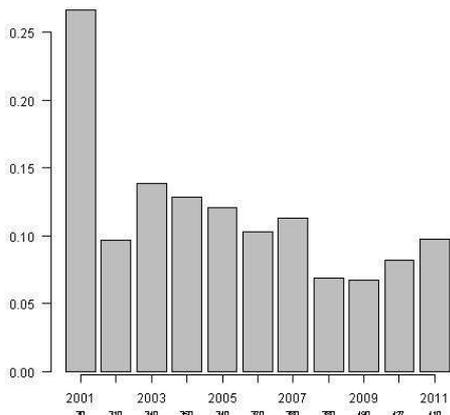
**Données brutes (EPS moyen)
SAXRUB Tarier des prés**



**Données brutes (EPS moyen)
SAXTOR Tarier pâtre**



**Données brutes (EPS moyen)
SERSER Serin cini**



**Données brutes (EPS moyen)
SITEUR Sittelle torchepot**

