

LA REPRODUCTION DE L'HIRONDELLE RUSTIQUE (*HIRUNDO RUSTICA*) DANS UN MILIEU URBAIN NORD-AFRICAIN: QUEL IMPACT DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET DE L'APPLICATION DES INSECTICIDES ?Soumia HADDAD^{1*}, Saâd HANANE² & Moussa HOUHAMDI¹

¹ Laboratoire Biologie, Eau et Environnement (LBEE), Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Faculté SNV-STU, Université 8 Mai 1945, BP 401 Guelma, Algérie.

² Centre de Recherche Forestière, Chariae Omar Ibn Al Khattab, BP 763, Rabat-Agdal, Maroc.

* Auteur correspondant. E-mail : drsee_shaddad@yahoo.com

SUMMARY.— *Breeding performance of the Barn Swallow (Hirundo rustica) in a North African urban area: what are the impacts of climatic conditions and insecticide applications?*— The present study examined the effects of climate conditions (temperature, precipitation and wind speed) and human activity (insecticide treatment) on clutch size, number of hatchlings and total productivity of the Barn Swallow in a North African urban area (Guelma, Algeria). Our results demonstrated that climatic conditions did not clearly affect reproductive parameters of this Hirundinidae, unlike insecticide treatments inside nesting-buildings. A seasonal decline of the three studied parameters was recorded. The number of hatchlings and total productivity were greater for first than for second clutches. Likewise, productivity significantly decreased in 2013 compared to 2012. Further research on other environmental factors such as: (i) insect availability; (ii) agricultural activity and (iii) adverse weather events, are an essential track for the implementation of management measures to improve local breeding conditions of this North African urban population.

RÉSUMÉ.— La présente étude analyse les effets des conditions climatiques (température, précipitations et vitesse des vents) et de l'activité anthropique (traitements aux insecticides) sur la taille de ponte, le nombre d'œufs éclos et la productivité totale de l'Hirondelle rustique dans un milieu urbain Nord-Africain (Guelma, Algérie). Les résultats ont démontré que les conditions climatiques n'affectent pas clairement les paramètres de reproduction de cet Hirundinidé, contrairement aux traitements insecticides des bâtiments de nidification. Les trois paramètres étudiés ont tous subi une importante diminution au fur et à mesure de la progression de la saison de reproduction. Le nombre d'œufs éclos et la productivité totale ont été plus grands pour la première ponte que pour la seconde. Cette productivité a nettement diminuée en 2013 par comparaison à 2012. La poursuite des recherches sur d'autres facteurs environnementaux comme : (i) la disponibilité des insectes ; (ii) l'activité agricole et (iii) les événements météorologiques défavorables, s'avère une piste incontournable pour la mise en œuvre de mesures de gestion visant l'amélioration des conditions locales de reproduction de cette population urbaine Nord-Africaine.

De par le monde, l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs. De multiples recherches ont été menées en Europe (Møller, 1994, 2004 ; Saino *et al.*, 2004 ; Ambrosini *et al.* 2006, 2011 ; Turner, 2006 ; Ambrosini & Saino, 2010 ; Kopij & Polit, 2014), en Amérique (Safran, 2004, 2006 ; García-Pérez *et al.* 2014 ; Heagy *et al.* 2014) et même en Asie (Hasegawa *et al.*, 2010, 2012, 2013, 2014). A contrario, une seule étude a vu le jour en Afrique du Nord (Sakraoui *et al.*, 2005). Certaines de ces recherches ont souligné le déclin des populations d'Hirondelles rustiques (Van den Brink *et al.*, 2000 ; Møller, 2001 ; Robinson *et al.*, 2003 ; Evans *et al.*, 2003). Si certains chercheurs ont attribué ce déclin à la réduction des populations d'insectes suite à l'utilisation abusive des pesticides particulièrement en milieu agricole (Bright *et al.*, 2008 ; Møller *et al.*, 2011 ; Zwarts *et al.*, 2012 ; Møller, 2013), d'autres l'ont attribué à la dynamique, très changeante, des populations d'insectes le long du chemin migratoire des hirondelles (Nebel *et al.*, 2010). Il a été également proposé que les conditions climatiques peuvent aussi agir mais indirectement en affectant l'abondance des insectes ainsi que la période de leur émergence (Huin *et al.*, 2010). Zwarts *et al.* (2012) suggèrent que des événements météorologiques défavorables peuvent avoir des incidences directes sur la survie des

populations d'Hirondelles rustiques et sur leur succès de reproduction. Par ailleurs, l'homme contribue aussi à ce déclin en détruisant les nids (Le Marec & Lemoine, 2011), mais aussi en forçant le redéploiement des couples après une première installation.

Très peu de connaissances sont disponibles sur l'Hirondelle rustique en Afrique du Nord. L'unique support d'information disponible reste celui de Sakraoui *et al.* (2005). Cette contribution bien que très précieuse, ne traite pas des effets des conditions climatiques et des insecticides sur les paramètres de reproduction. Pourtant, la connaissance des effets des insecticides dans ce type de milieu est d'une importance majeure pour (i) évaluer le niveau et l'intensité de l'impact, (ii) s'enquérir du comportement réactionnel de la population en vue d'optimiser son succès de reproduction et surtout (iii) avoir les éléments nécessaires pour une gestion rationnelle et durable de cette population.

Les objectifs de la présente étude réalisée dans un complexe résidentiel à Guelma (Nord-Est de l'Algérie) étaient (i) d'évaluer si les conditions climatiques (température, précipitations et vitesse des vents) et les traitements aux insecticides impactent sur les paramètres de reproduction et (ii) si ces mêmes paramètres varient au cours de la saison de reproduction et en fonction du numéro de tentative de ponte (première *versus* seconde ponte). Sachant que l'Hirondelle rustique peut être très sensible aux variations des conditions climatiques (Ambrosini *et al.*, 2006 ; Møller, 2013) et à l'application des insecticides (Cabello de Alba, 2002), nous nous attendions à ce que les performances de reproduction leur soient fortement dépendantes.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La wilaya de Guelma (36°46'N, 7°28'E) est localisée à 60 km à l'extrême Nord Algérien. Elle couvre une superficie de 3686,84 km² (Fig. 1) et est située à 279 m au-dessus du niveau de la mer. Elle est localisée à mi-chemin entre le nord, les Hauts plateaux et le sud du pays.

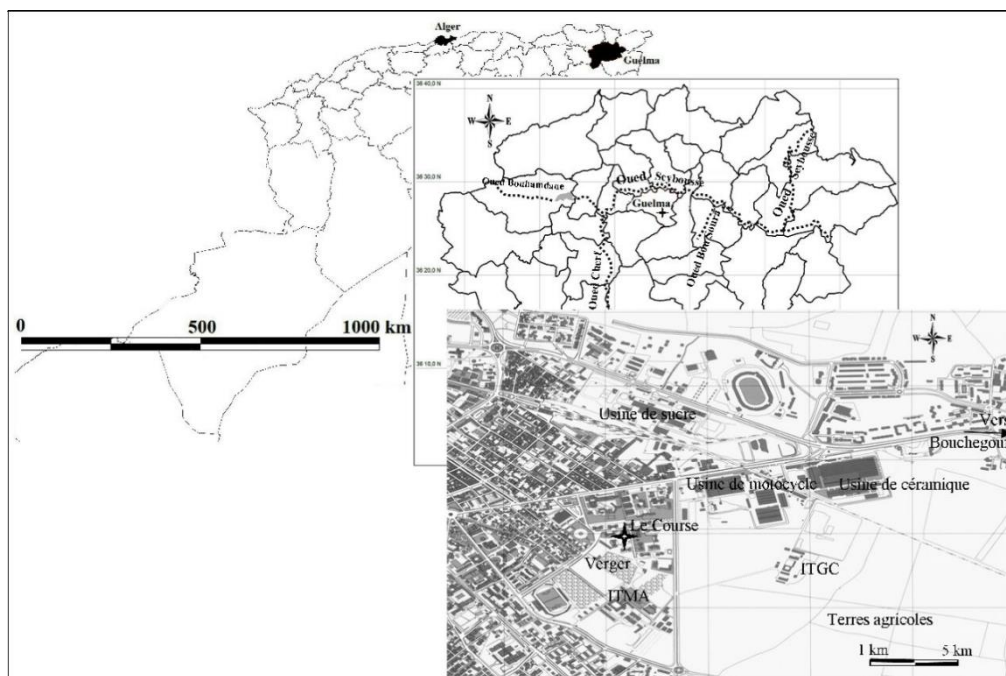


Figure 1.— Localisation géographique du complexe résidentiel "le course" de Guelma (Algérie), accueillant la population nicheuse de l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*), Algérie, 2012-2013.

La région septentrionale de la wilaya est dominée par un climat subhumide, alors que sa partie méridionale est caractérisée par un climat semi-aride (Debieche, 2002). Les températures moyennes varient entre 4°C en hiver et 41°C en été. Les précipitations annuelles varient entre 654 et 1000mm. La zone est traversée par l'une des plus importantes rivières du pays "le Seybouse" (Djabri, 1996).

La population d'Hirondelles rustiques niche à la périphérie Est de la ville de Guelma (36°27'41.52" N ; 7°26'27.84" E) dans le complexe résidentiel "le course" (Fig. 1). Au Nord, ce dernier est limitrophe de l'usine de production de sucre cristallisé, de l'usine de céramique et de l'usine de montage de pièces motos. À l'Ouest, il est entourée d'un jardin public et de la gare routière, alors qu'à l'Est et au Sud, les terres agricoles dominent [142 ha : cultures céréalières (45 ha) ; cultures fourragères (52 ha) ; multiplication des semences (38 ha) ; plantations fruitières (7 ha)]. Toutes ces terres sont utilisées, à but expérimental, par l'institut technologique agricole spécialisé et l'institut technique des grandes cultures de la ville de Guelma. Dans le complexe résidentiel "le course", les nids sont régulièrement construits dans les cages d'escalier des bâtiments, sur le sommet des portes d'accès aux appartements et sur les balcons.

COLLECTE DES DONNÉES

L'étude des paramètres de reproduction de l'Hirondelle rustique a été menée à Guelma (Nord-Est Algérien), en 2012 et 2013, dans le complexe résidentiel dit "le course" qui regroupe 30 immeubles. Chacun de ces immeubles comporte 4 étages et une cave. Toutes ces infrastructures ont fait l'objet d'une prospection systématique durant la période "début mars-fin août" avec une fréquence de prospection tous les 2 jours. Une fois localisés, les nids ont été suivis depuis le début de la ponte (date à laquelle le premier œuf est pondu) jusqu'à l'éclosion des œufs, l'envol des poussins ou l'échec de la ponte ou de la nichée. Il a été ainsi possible de noter pour presque tous les nids suivis : (i) la date et la taille de la ponte, (ii) le nombre d'œufs éclos et (iii) le nombre de poussins envolés. La même fréquence de prospection a été gardée bien après l'achèvement des premières couvées (envol des poussins ou échec de la nichée) pour identifier le début de la seconde ponte. Cette dernière a été identifiée par la présence d'au moins 2 œufs nouvellement pondus au nid (Møller, 1989). Les mêmes paramètres de reproduction ont ensuite, une seconde fois, été notés. Les dates de début des premières et secondes pontes ainsi que celles des éclosions et des envols sont exprimées, pour les deux années de suivi, en date Julian (jour 1 = 1^{er} mars).

En 2012 et 2013, les données climatiques journalières (température, précipitation et vitesse du vent) des deux périodes printanière et estivale (début mars-fin août) ont été obtenues à partir de la station météorologique la plus proche du site d'étude (celle de Belkhir à presque 1 km). Le choix des paramètres température et précipitations a été dicté par le fait qu'ils agissent sur l'abondance des insectes ainsi que sur le moment de leurs émergences (Huin *et al.*, 2010). La vitesse du vent intervient quant à elle sur la dynamique de la chasse des Hirondelles rustiques. Ces paramètres ont été aussi testés par Saino *et al.* (2004), Ambrosini *et al.* (2006), Vaquero-Alba (2011) et Møller (2013). Du fait que les Hirondelles rustiques n'ont besoin que de 10 jours (durée probable pour la formation du jaune d'œuf et l'accumulation des réserves) pour débiter leur ponte (Saino *et al.*, 2004), le choix des périodes de collecte des données climatiques a porté sur les deux saisons printemps et été.

Les dates d'utilisation des insecticides ont été directement notées sur le terrain, alors que les noms des produits utilisés nous ont été communiqués par le bureau de la protection sanitaire de l'environnement urbain de la ville de Guelma.

TRAITEMENTS STATISTIQUES

Pour chaque nid, trois périodes phénologiques ont été distinguées avec un ensemble approprié de données : (i) la période de ponte ; (ii) la période d'incubation et (iii) la période totale de la reproduction de la ponte des œufs à l'envol des poussins. Chez l'Hirondelle rustique, il est admis que la période de ponte débute 10 jours avant la date de dépôt du premier œuf (Saino *et al.* 2004). La période d'incubation est celle comprise entre la date de ponte du premier œuf et celle de l'éclosion du premier poussin (Polak & Kasprzykowski, 2013). La période totale de la reproduction est, quant à elle, comprise entre la date de ponte du premier œuf et celle de l'envol du premier poussin. Trois paramètres météorologiques ont été calculés pour chacune de ces trois périodes phénologiques : (i) la température moyenne (°C) ; (ii) les précipitations cumulées (mm) et (iii) la vitesse moyenne des vents des maxima journaliers (km/h). Les variables dépendantes dans les différents modèles ont été : (i) la taille de la ponte ; (ii) le nombre d'œufs éclos/nid et (iii) le nombre de poussins envolés/nid. Les variables explicatives ont été de deux types : (i) qualitatives [année (2012 *versus* 2013), ordre de la ponte (première *versus* seconde) et traitement aux insecticides (avant l'application *versus* après l'application)] et (ii) quantitatives continues [(température moyenne (°C) ; précipitations cumulées (mm) ; vitesse moyenne des vents des maxima journaliers (km/h) et date)].

Dans la mesure où les prédictors comprennent à la fois des variables catégorielles et des covariables continues, les relations entre les variables dépendantes et explicatives ont été évaluées à l'aide de l'Analyse de la Covariance (ANCOVA, Crawley, 2005 ; voir aussi Karlsson & Wiklund, 2005). Après examen de la normalité des variables continues, *via* le test de Wilk-Shapiro, une transformation logarithmique des variables précipitations et vitesse des vents a été effectuée.

Dans notre approche, sauf pour le nombre d'œufs pondus, tous les modèles ont inclus le logarithme du nombre d'œufs en offset afin de modéliser le nombre d'œufs éclos et le nombre de poussins envolés par nid. Mais avant de procéder à cette analyse et afin de ne pas inclure dans le même modèle des variables corrélées, il a été nécessaire d'explorer, en amont, pour chaque période phénologique, les corrélations entre les variables quantitatives continues (corrélation de Pearson), les variables qualitatives et quantitatives (Analyse de la Variance, ANOVA) (Annexes 1 & 2) et les variables qualitatives (année *versus* ordre de la ponte ; test de Khi-deux : $\chi^2_1 = 12,276$; $p < 0,001$). Afin d'évaluer la pertinence relative de nos

différents modèles et des différentes variables pour expliquer les données, le critère AIC (Akaike Information Criterion), qui représente un compromis entre l'ajustement aux données et le nombre de paramètres utilisés (Burnham & Anderson, 2002), a été utilisé au même titre que l'AIC_{weight}. Ce dernier a été aussi utilisé dans la mesure qu'il informe sur le pouvoir explicatif de chaque modèle ou de chaque variable (Burnham & Anderson, 2002). Le meilleur modèle est celui qui présente le plus petit AIC. Si la différence d'AIC entre deux modèles emboîtés est inférieure à 2, le choix se porte sur le modèle avec le moins grand nombre de paramètres selon le principe de parcimonie (Burnham & Anderson, 2002). Au vu du faible nombre de données, l'AIC a été corrigé pour les petits effectifs (AICc). Les modèles sont classés par ordre croissant d'AIC et d'AIC_{weight}. La contribution relative des variables incluses dans les meilleurs modèles est évaluée grâce au calcul des sommes des AIC_{weight}.

L'analyse de l'effet des traitements aux insecticides a porté exclusivement sur l'année 2012, *via* des ANOVA_S, dans la mesure où en 2013, les nids en phase d'incubation et en phase d'élevage ont été tous concernés par l'application des insecticides (pas de nids épargnés par les traitements). Ainsi, des comparaisons de moyenne des nombres d'œufs pondus, de poussins éclos et envolés, avant et après l'application des insecticides, ont été effectuées. Dans le texte, les moyennes sont présentées avec leurs erreurs standards (moyenne \pm 1 ES). Les valeurs de $p < 0,05$ ont été considérées comme significatives. Toutes les analyses ont été effectuées par le logiciel *Open source R* v2.12.2 (R Core Development Team, 2009).

RÉSULTATS

Un total de 87 nids a été suivi, 41 en 2012 et 46 en 2013. Le tableau I résume les dates moyennes de ponte, d'éclosion et d'envol des poussins de la population de Guelma.

TABLEAU I

Dates moyennes de ponte, d'éclosion et d'envol des Hirondelles rustiques (Hirundo rustica) à Guelma, 2012 et 2013, Algérie, (date 1 = 1er mars)

	Moyenne \pm ES	
	2012 (n=41)	2013 (n=46)
Date de ponte	82,27 \pm 3,909	76,91 \pm 4,483
Date d'éclosion	100,44 \pm 3,882	93,93 \pm 4,461
Date d'envol	119,39 \pm 3,829	114,89 \pm 4,370

D'une manière générale, les conditions climatiques n'ont pas clairement affecté les paramètres de reproduction de cette population urbaine d'Hirondelles rustiques. En effet, la hiérarchisation des effets des différentes variables explicatives (Tab. II), montre que d'autres facteurs sont, en toute phase, nettement plus forts. Ainsi, l'effet date Julian a été le plus fort sur le nombre d'œufs pondus ($\Sigma AIC_w = 0,60$) et le nombre d'œufs éclos ($\Sigma AIC_{date} = 0,73$). Ce dernier est aussi influencé par l'ordre de ponte ($\Sigma AIC_{ordre\ de\ ponte} = 0,20$). Concernant le nombre de poussins envolés par nid, les effets année et ordre de ponte ont été les plus forts ($\Sigma AIC_{année} = 0,63$; $\Sigma AIC_{ordre\ de\ ponte} = 0,67$), suivis par l'effet date Julian ($\Sigma AIC_{date} = 0,21$). Ainsi, au fur et à mesure que l'on progresse dans la saison de reproduction, une diminution significative du nombre d'œufs pondus (ANCOVA : $\beta = -0,016 \pm 0,004$; $t = -3,61$; $p = 0,0005$) (Fig. 2a), du nombre d'œufs éclos (ANCOVA : $\beta = -0,016 \pm 0,004$; $t = -3,76$; $p = 0,0003$) (Fig. 2b₁) et du nombre de poussins envolés (ANCOVA : $\beta = -0,012 \pm 0,004$; $t = -2,53$; $p = 0,0132$) (Fig. 2c₁) est enregistrée. Le nombre d'œufs éclos a subi une nette diminution en seconde ponte par rapport à la première (ANCOVA : $\beta = -0,845 \pm 0,238$; $t = -3,54$; $p = 0,0003$) (Fig. 2b₂), au même titre que le nombre de poussins envolés (ANCOVA : $\beta = -0,892 \pm 0,255$; $t = -3,49$; $p = 0,0007$) (Fig. 2c₃). Le nombre de poussins envolés par nid a nettement diminué en 2013 par rapport à 2012 (ANCOVA : $\beta = -0,725 \pm 0,258$; $t = -2,80$; $p = 0,0062$) (Fig. 2c₂).

À Guelma, le traitement insecticide effectué dans les bâtiments résidentiels a impacté négativement sur le nombre d'œufs pondus par nid [avant l'application des insecticides (5,21 \pm 0, 21) *versus* après leur application (4,35 \pm 0,17) ; GLM : $F_{1,83} = 9,505$, $p = 0,003$]. En 2012, le nombre d'œufs éclos par nid n'a pas subi de variation notable après l'application des insecticides [avant (4,38 \pm 0, 23) *versus* après (3,92 \pm 0,26) ; ANOVA : $F_{1,39} = 1,417$, $p = 0,241$], alors que le nombre de poussins envolés par nid a subi une nette diminution [avant (4,41 \pm 0, 22) *versus* après (3,50 \pm 0,28) ; ANOVA : $F_{1,39} = 5,551$, $p = 0,024$].

DISCUSSION

Contrairement à nos prédictions, les paramètres de reproduction de la population d'Hirondelle rustique de Guelma n'ont pas été clairement affectés au cours des années 2012 et 2013 par les conditions climatiques, notamment la température, les précipitations et la vitesse du vent.

TABLEAU II

Résultats de la sélection de modèles comparant les analyses de la covariance (ANCOVA) qui testent, pour chaque période phénologique, les relations entre les paramètres de reproduction de l'Hirondelle rustique (Hirundo rustica) et les variables étudiées dans le complexe résidentiel "le course" à Guelma, 2012-2013, Algérie. Les meilleurs modèles figurent en gras, les modèles étant classés par valeurs d'AIC croissant (seuls les dix premiers modèles sont présentés en plus des modèles nuls). Les variables explicatives ont été testées en additif ('+') et en interaction (':')

Modèles	K	AIC _c	ΔAIC _c	AIC _w
Nombre d'œufs pondus/nid				
Date + vent	3	275,97	0,00	0,29
Date	2	276,74	0,77	0,20
Année : température	4	277,50	1,53	0,13
Année + date	3	278,66	2,69	0,07
Ordre de la ponte + vent	3	278,97	3,00	0,06
Température	2	279,42	3,45	0,05
Année : date	4	279,91	3,94	0,04
Vent + température	3	280,34	4,37	0,03
Année + ordre de la ponte + vent	4	280,77	4,80	0,03
Ordre de ponte : vent	4	280,87	4,90	0,02
Nul	1	287,13	11,16	0,00
Nombre d'œufs éclos/nid				
Date	2	266,11	0	0,40
Année + date	3	267,42	1,31	0,21
Ordre de la ponte	2	267,50	1,39	0,20
Année : date	4	268,39	2,28	0,13
Température	2	271,09	4,98	0,03
Vent	2	271,74	5,63	0,02
Précipitation	2	272,95	6,84	0,01
Nul	1	277,47	11,36	0,00
Année	2	279,24	13,13	0,00
Productivité globale				
Année + ordre de la ponte	3	275,46	0	0,34
Année : ordre de la ponte	4	275,99	0,53	0,26
Année + date	3	276,86	1,4	0,17
Année : date	4	277,51	2,05	0,12
Ponte	2	279,26	3,8	0,05
Ponte + vent	3	281,25	5,79	0,02
Ponte : vent	4	282,02	6,56	0,01
Année	2	283,24	7,78	0,01
Date	2	284,62	9,16	0,00
Date + vent	3	286,59	11,13	0,00
Nul	1	289,95	14,49	0,00

En effet, au cours des années 2012 et 2013, nous n'avons pas noté d'événement météorologique défavorable à même d'affecter le succès de reproduction comme l'ont souligné Zwarts *et al.* (2012). La nature de l'habitat de nidification, en totalité situé à l'intérieur des bâtiments résidentiels, pourrait être à l'origine de ce constat. Ce type d'habitat procurerait certainement une meilleure protection des nids. Par ailleurs, l'application des insecticides a

clairement impacté négativement sur le nombre d'œufs pondus et la productivité totale des couples d'Hirondelles rustiques.

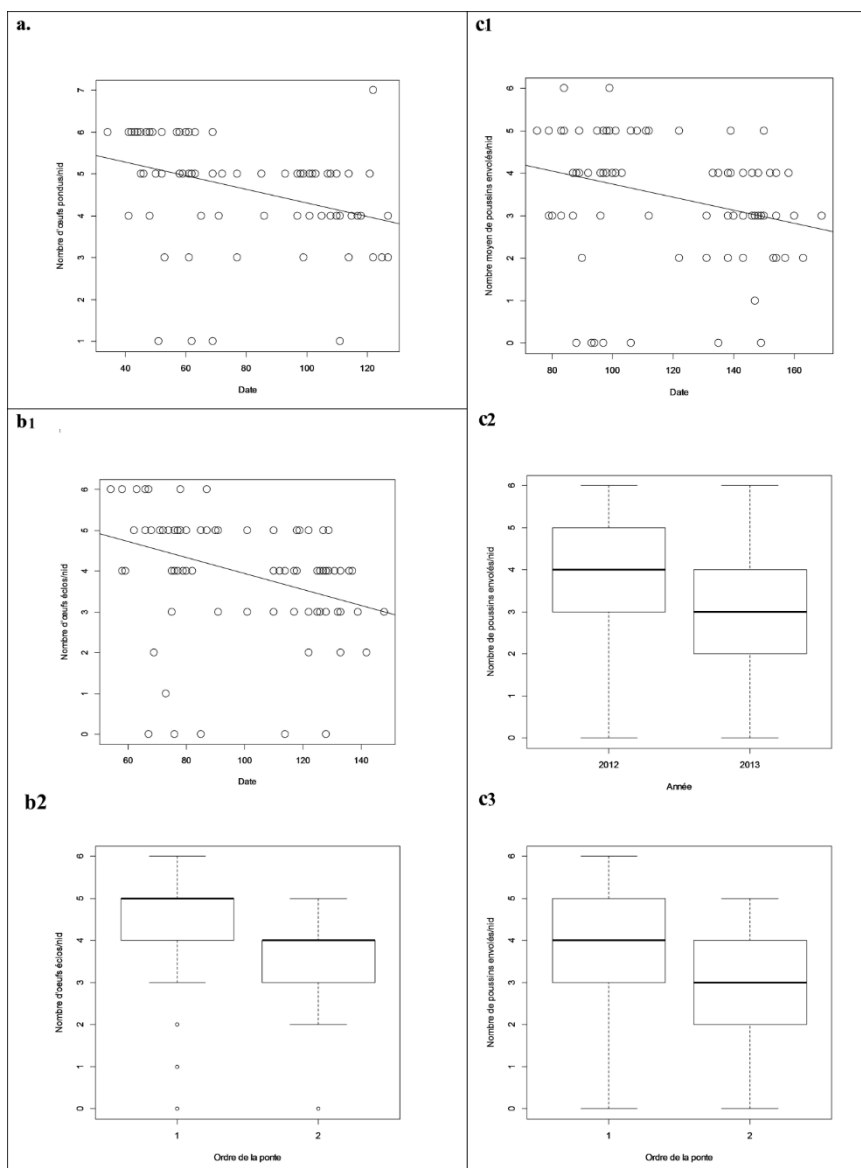


Figure 2.— (a). Nombre d'œufs pondus/nid de l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) en fonction de la date (jour 1 = 1^{er} mars) à Guelma, Algérie, 2012-2013. (b₁). Nombre d'œufs éclos/nid en fonction de la date. (b₂). Nombre moyen d'œufs éclos/nid en fonction de l'ordre de ponte (1 = première ponte et 2 = deuxième ponte). (c₁). Nombre de poussins envolés/nid en fonction de la date. (c₂). Nombre moyen de poussins envolés/nid en fonction l'année. (c₃). Nombre moyen de poussins envolés/nid en fonction de l'ordre de ponte.

À Guelma, tous les paramètres de reproduction étudiés ont subi une diminution au fil de la progression de la saison. Cela a été aussi le cas pour les populations d'Annaba (Nord-Est

d'Algérie) (Sakraoui *et al.*, 2005), du Sud-Ouest de l'Écosse (McGinn & Clark, 1978) et d'Allemagne (Vietinghoff-Riesch, 1955).

La tendance à la baisse de la taille de ponte est bien typique pour toutes les populations de l'Ouest du Paléarctique (Löhr & Gutscher, 1973 ; McGinn & Clark, 1978 ; Kondelka, 1985 ; Banbura, 1986 ; Cramp, 1988 ; Loske, 1989 ; Thompson, 1992 ; Banbura & Zielinski, 1998). Chez les oiseaux, la littérature a souvent attribué cette diminution à une détérioration progressive des ressources alimentaires (Askenmo, 1982 ; Newton & Marquiss, 1984 ; Winkler & Allen, 1996) et à une différence qualitative des individus et/ou des territoires (Tortosa *et al.* 2003) : les couples en meilleures conditions pondent précocement plus d'œufs que ceux en mauvaises conditions et en mauvais territoires.

Les similarités avec la population d'Hirondelles rustiques d'Annaba (Sakraoui *et al.*, 2005) ont aussi concerné la baisse, entre la première et la seconde ponte, du nombre d'œufs éclos et de la productivité globale. Ce cas de figure a été aussi enregistré en Écosse par Thompson (1992) et Ward (1992), aux USA par Brown & Brown (1999), en Italie par Ambrosini *et al.* (2006) et très récemment en Slovaquie par Országhová (2013). La présente étude a aussi montré que le nombre de facteurs agissant sur les paramètres de reproduction des Hirondelles rustiques de Guelma a augmenté en passant de un pour la taille initiale de ponte ("date"), à deux pour le nombre d'œufs éclos ("date" ; "ordre de ponte"), puis à trois pour la productivité globale ("date" ; "ordre de ponte" ; "année"). Bien que la variabilité annuelle de la réussite des nids soit un fait commun en Algérie (Sakraoui *et al.*, 2005), il n'en demeure pas moins qu'au cours de la période d'étude (2012 et 2013), sa manifestation exclusive au seul stade du succès total de la reproduction reste assez particulière. Il est probable que le prolongement de l'application des insecticides dans l'espace interne des bâtiments résidentiels de Guelma en 2013 par rapport à 2012 soit à l'origine de cette variation. Les conditions locales sont donc à l'origine de la variation annuelle enregistrée comme cela fut aussi annoncé par Ribault (1983). L'effet du traitement insecticide semble sous-jacent à celui de l'année. L'application des insecticides serait d'autant plus préjudiciable pour les poussins que les parents sont en quête de nourriture (champs de culture limitrophes). En Espagne, Cabello de Alba (2002) a aussi soulevé l'effet de l'application d'un traitement aérien massif à *Bacillus thuringiensis* sur la diminution du succès de reproduction chez cette espèce. Dans leur synthèse en relation avec la stratégie de rétablissement des populations d'Hirondelles rustiques en Ontario, Heagy *et al.* (2014) ont aussi mis l'accent sur les effets néfastes, voire dévastateurs, des contaminants de l'environnement, des pesticides et de la pollution sur la reproduction et la survie de ce passereau.

Contrairement à nos résultats, des études antérieures ont signalé une diminution significative des paramètres de reproduction étudiés entre la première et la seconde ponte (Sakraoui *et al.*, 2005 ; Turner & Kopachena, 2009 ; Zduniak *et al.*, 2011), une différence annuelle significative de la taille moyenne de ponte et du nombre d'œufs éclos (Sakraoui *et al.* 2005) et une variation spatiale de la survie des nids (Zduniak *et al.*, 2011). Comme tout organisme vivant (McCarty & Winkler, 1999), les performances de reproduction de l'Hirondelle rustique peuvent varier selon la localité, l'année et la saison. Ils peuvent aussi s'améliorer ou diminuer selon l'intensité des facteurs biotiques et/ou abiotiques entrants en jeu. Le schéma de variation attesté à Guelma, en 2012 et 2013, peut ne pas perdurer dans les années à venir. Si Ambrosini *et al.* (2006) sont convaincus que les parents Hirondelles rustiques du Nord de l'Italie avaient des décisions complexes à prendre quant au choix du moment optimal de la reproduction et du micro-habitat, nous sommes aussi convaincus que ceux de Guelma ont des décisions complexes à prendre pour optimiser la réussite de leur reproduction. En effet, ces derniers doivent faire face à une grande pression anthropique et, fort probablement, à une raréfaction des ressources alimentaires en fin de saison de reproduction (*e.g.* Hart *et al.*, 2006).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La présente étude a permis d'aborder la dynamique de reproduction de l'Hirondelle rustique dans un environnement urbain Nord-Africain. Bien que cette installation soit en apparence bénéfique (les humains résidants ne dérangent pas les couples nicheurs), cet oiseau y subit malheureusement le préjudice des traitements aux insecticides réalisés par le bureau de la protection sanitaire de l'environnement urbain de la ville de Guelma. D'autres facteurs, à ce jour non étudiés, peuvent aussi se combiner à cet effet pour affecter cette population. Il apparaît donc important, voire nécessaire, d'étudier la richesse spécifique et l'abondance des insectes durant la période de nidification. Il serait aussi utile de s'attacher à l'étude des paramètres de reproduction en relation avec les activités agricoles sachant que (i) notre complexe résidentiel est en grande partie entouré de champs de cultures et de vergers et que (ii) l'agriculture moderne est connue pour impacter négativement sur les populations animales (Costantini *et al.*, 2014). Une analyse approfondie des relations entre l'activité de reproduction et le contexte environnemental s'avère donc incontournable pour mettre en œuvre des mesures de gestion visant à améliorer les conditions locales de reproduction de cette population urbaine. Si les effets des conditions climatiques n'ont pas été clairement mis en évidence, c'est peut-être parce que le suivi a été effectué sur une très courte durée (probabilité faible, voire nulle, de rencontrer des événements météorologiques défavorables). Pour pallier cela, il est nécessaire d'entamer un suivi à plus long terme qui renseignera davantage sur les effets de ces facteurs abiotiques, à l'instar de ce qui a été réalisé, très récemment, aux États-Unis (García-Pérez *et al.* 2014).

Dans l'immédiat, et dans un but de protection, il est impératif de sensibiliser les services communaux quant aux effets néfastes de ces traitements sur le succès de reproduction de cette population. Envisager un traitement larvaire des insectes par un produit ne présentant pas un large spectre d'activité durant les trois mois précédant la reproduction (de janvier à mars), nous semble très opportun pour d'une part atténuer l'effet des activités anthropiques et d'autre part soulager l'espèce durant sa phase de reproduction.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les habitants de la cité "le course" pour leur compréhension. Ils remercient aussi toutes les personnes qui les ont aidés sur le terrain, principalement, Messieurs Hafid Brahmia, Ali Zeraoula, Meriem Rouaiguia et Fadhila Kafi, le personnel du bureau de la protection sanitaire de l'environnement urbain de la ville de Guelma ainsi que les trois relecteurs anonymes qui ont commenté une première version de ce texte.

RÉFÉRENCES

- AMBROSINI, R., FERRARI, R.P., MARTINELLI, R., ROMANO, M. & SAINO, N. (2006).— Seasonal, meteorological, and micro-habitat effects on breeding success and offspring phenotype in the Barn Swallow, *Hirundo rustica*. *Ecoscience*, 13: 298-307.
- AMBROSINI, R. & SAINO, N. (2010).— Environmental effects at two nested spatial scales on habitat choice and breeding performance of Barn Swallow. *Evol. Ecol.*, 24: 491-508.
- AMBROSINI, R., SAINO, N., RUBOLINI, D. & MØLLER, A. (2011).— Higher degree-days at the time of breeding predict size of second clutches in the Barn Swallow. *Climate Research*, 50: 43-50.
- ASKENMO, C. (1982).— Clutch size flexibility in the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca*. *Ardea*, 70: 189-196.
- BAÑBURA, J. (1986).— Sexual dimorphism in wing and tail length as shown by the Swallow, *Hirundo rustica*. *J. Zool., Lond.*, 210: 131-136.
- BAÑBURA, J. & ZIELIŃSKI, P. (1998).— An analysis of egg-size repeatability in Barn Swallows *Hirundo rustica*. *Ardeola*, 45: 183-192.
- BRIGHT, J.A., MORRIS, A.J. & WINSPEAR, R. (2008).— *A review of indirect effects of pesticides on birds and mitigating land-management practices*. Research Report 28, Royal Society for the Protection of Birds, UK.

- BROWN, C.R. & BROWN, M.B. (1999).— Fitness components associated with clutch size in Cliff Swallows. *Auk*, 116: 467-486.
- BURNHAM, K.P. & ANDERSON, D.R. (2002).— *Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach*, (2nd edition). Springer-Verlag, New York.
- CABELLO DE ALBA, F. (2002).— Disminución del éxito reproductor de la Golondrina común *Hirundo rustica* tras un tratamiento aéreo masivo con *Bacillus thuringiensis*. *Ardeola*, 49: 91-95.
- COSTANTINI, D., DELL'OMO, G., LA FATTA, I. & CASAGRANDE, S. (2014).— Reproductive performance of Eurasian Kestrel *Falco tinnunculus* in an agricultural landscape with a mosaic of land uses. *Ibis*, 154: 768-776.
- CRAMP, S. (1988).— *Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa. The birds of the Western Palearctic, Vol. V*. Oxford University Press, Oxford.
- CRAWLEY, M. (2005).— *Statistics: An introduction using R*. John Wiley & Sons, West Sussex.
- DEBIECHE, T.H. (2002).— *Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la Basse Plaine de la Seybouse Nord-Est Algérien*. Thèse de Doctorat, Université de Constantine.
- DIABRI, L. (1996).— *Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse "Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines"*. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba.
- EVANS, K.L., WILSON, J.D. & BRADBURY, R.B. (2003).— Swallow *Hirundo rustica* population trends in England: data from repeated historical surveys. *Bird Study*, 50: 178-181.
- GARCÍA-PÉREZ, B., HOBSON, K.A., ALBRECHT, G., CADMAN, M.D. & SALVADORI, A. (2014).— Influence of climate on annual survival of Barn Swallows (*Hirundo rustica*) breeding in North America. *Auk*, 131: 351-362.
- HART, J.D., MILSON, T.P., FISHER, G., WILKINS, V., MOREBY, S.J., MURRAY, A.W.A. & ROBERTSON, P.A. (2006).— The relationship between Yellowhammer breeding performance, arthropod abundance and insecticide applications on arable farmland. *J. Appl. Ecol.*, 43: 81-91.
- HASEGAWA, M. & ARAI, E. (2013).— Divergent tail and throat ornamentation in the Barn Swallow across the Japanese islands. *J. Ethol.*, 31: 79-83.
- HASEGAWA, M., ARAI, E., WATANABE, M. & NAKAMURA, M. (2010).— Mating advantage of multiple male ornaments in the Barn Swallow *Hirundo rustica gutturalis*. *Ornith. Sci.*, 9: 141-148.
- HASEGAWA, M., ARAI, E., WATANABE, M. & NAKAMURA, M. (2012).— Female mate choice based on territory quality in Barn Swallows. *J. Ethol.*, 30: 143-150.
- HASEGAWA, M., ARAI, E., WATANABE, M. & NAKAMURA, M. (2014).— Male viability is positively related to multiple male ornaments in Asian Barn Swallows. *J. Ornith.*, 155: 389-397.
- HEAGY, A., BADZINSKI, D., BRADLEY, D., FALCONER, M., MCCRACKEN, J., REID, R.A. & RICHARDSON, K. (2014).— *Recovery strategy for the Barn Swallow (Hirundo rustica) in Ontario*. Ontario Recovery Strategy Series. Prepared for the Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry, Peterborough, Ontario.
- HUIN, N. & SPARKS, T.H. (2010).— Arrival and progression of the Swallow *Hirundo rustica* through Britain. *Bird Study*, 45: 361-370.
- KARLSSON, B. & WIKLUND, C. (2005).— Butterfly life history and temperature adaptations; dry open habitats select for increased fecundity and longevity. *J. Anim. Ecol.*, 74: 99-104.
- KONDELKA, D. (1985).— Clutch size and losses during breeding in the Swallow (*Hirundo rustica*) in the northern Moravian Region (CSSR). *Folia Zool.*, 34: 149-158.
- KOPIJ, G. & POLIT, M. (2014).— Les variations saisonnières de la grandeur des pontes et de la réussite de la reproduction de l'Hirondelle rustique *Hirundo rustica*, en relation avec l'emplacement des colonies et le type de bâtiments agricoles occupés. *Alauda*, 82: 63-69.
- LÖHRL, H. & GUTSCHER, H. (1973).— Zur Brutökologie der Rauchschnalbe in einem sudwestdeutschen Dorf. *J. Ornithology*, 114: 339-416.
- LOSKE, K.H. (1989).— Zur Brutökologie der Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*) in Mittelwestfalen. *Vogelwelt*, 110: 59-82.
- LE MAREC, M. & LEMOINE, T. (2011).— *Étude des hirondelles sur le territoire communal de Saint Rémy (France)*. Rapport d'étude. Mairie de Saint-Rémy.
- MCCARTY, J.P. & WINKLER, D.W. (1999).— Relative importance of environmental variables in determining the growth of nestling Tree Swallows *Tachycineta bicolor*. *Ibis*, 141: 286-296.
- MCGINN, D.B. & CLARK, H. (1978).— Some measurements of Swallow breeding biology in low land Scotland. *Bird Study*, 25: 109-118.
- MØLLER, A.P. (1989).— Population-dynamics of a declining Swallow *Hirundo rustica* population. *J. Appl. Ecol.*, 58: 1051-1063.
- MØLLER, A.P. (1994).— *Sexual selection and the Barn Swallow*. Oxford University Press, Oxford.
- MØLLER, A.P. (2001).— The effect of dairy farming on Barn Swallow *Hirundo rustica* abundance, distribution and reproduction. *J. Appl. Ecol.*, 38: 378-389.
- MØLLER, A.P. (2004).— Protandry, sexual selection and climate change. *Glob. Change. Biol.*, 10: 2028-2035.

- MØLLER, A.P. (2011).— Behavioral and life history responses to extreme climatic conditions: Studies on a migratory songbird. *Current Zool.*, 57: 351-362.
- MØLLER, A.P. (2013).— Long-term trends in wind speed, insect abundance and ecology of an insectivorous bird. *Ecosphere*, 4 (1): 6.
- NEBEL, S., MILLS, A.M., MCCracken J.D. & TAYLOR, P.D. (2010).— Declines of aerial insectivores in North America follow a geographic gradient. *Avian Conserv. Ecol.*, 5 (2): 1.
- NEWTON, I. & MARQUISS, M. (1984).— Seasonal trends in breeding performance of Sparrowhawks. *J. Anim. Ecol.*, 53: 809-831.
- ORSZÁGHOVÁ, Z. (2013).— Breeding biology of the Barn Swallow (*Hirundo rustica*) in the surroundings of Bratislava (Slovakia). *Fol. Faunist. Slovaca*, 18: 91-95.
- POLAK, M. & KASPRZYKOWSKI, Z. (2013).— The effect of weather conditions on the breeding biology of the Eurasian Bittern *Botaurus stellaris* in eastern Poland. *Ethol. Ecol. & Evol.*, 25: 243-252.
- R CORE DEVELOPMENT TEAM. (2009).— *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- RIBAULT, J.-P. (1983).— Variations annuelles dans la biologie de reproduction de l'Hirondelle rustique *Hirundo rustica*. *Nos Oiseaux*, 37: 101-116.
- ROBINSON, R.A., CRICK, H.Q.P. & PEACH, W.J. (2003).— Population trends of Swallows *Hirundo rustica* breeding in Britain. *Bird Study*, 50: 1-7.
- SAFRAN, R.J. (2004).— Adaptive site selection rules and variation in group size of Barn Swallows: individual decisions predict population patterns. *Am. Nat.*, 164: 121-131.
- SAFRAN, R.J. (2006).— Nest site selection in the Barn Swallow *Hirundo rustica*: What predicts seasonal reproductive success? *Canad. J. Zool.*, 84: 1533-1539.
- SAINO, N., ROMANO, M., AMBROSINI, R., FERRARI, R.P. & MØLLER, A.P. (2004).— Timing of reproduction and egg quality covary with temperature in the insectivorous Barn Swallow, *Hirundo rustica*. *Funct. Ecol.*, 18: 50-57.
- SAKRAOUI, R., DADCI, W., CHABI, Y. & BAÑBURA, J. (2005).— Breeding biology of Barn Swallows *Hirundo rustica* in Algeria, North Africa. *Ornis Fennica*, 82: 33-43.
- THOMPSON, M.L.P. (1992).— *Reproductive success and survival of Swallows (Hirundo rustica). Effect of age and breeding conditions*. Ph.D. thesis, University of Stirling, Stirling.
- TORTOSA, F.S., PÉREZ, L. & HILLSTRÖM, L. (2003).— Effect of food abundance on laying date and clutch size in the White Stork *Ciconia ciconia*. *Bird Study*, 50: 112-115.
- TURNER, A. (2006).— *The Barn Swallow*. T & AD Poyser, London.
- TURNER, K.T. & KOPACHENA, J.G. (2009).— Breeding biology of the Barn Swallow (*Hirundo rustica*) in northeast Texas with temporal and geographic comparisons to other North American studies. *Texas J. Science*, 61: 131-146.
- VAN DEN BRINK, B., BIJLSMA, R.G. & VAN DER HAVE, T. (2000).— European Swallows *Hirundo rustica* in Botswana during three consecutive non-breeding seasons: the effects of rainfall on moult. *Ostrich*, 71: 198-204.
- VAQUERO-ALBA, I. (2011).— *Animal sexual signals: Do they maximise or optimise information content?* PhD thesis. University of Exeter, UK.
- VIETINGHOFF-RIESCH, A. (1955).— *Die Rauchschnalbe*. Duncker & Humblot, Berlin.
- WARD, S. (1992).— *Energetic of laying and incubation in birds. Studies of Swallows Hirundo rustica, Dippers Cinclus cinclus and Japanese Quail Coturnix coturnix japonica*. Ph.D. thesis, University of Stirling, Stirling.
- WINKLER, D.W. & ALLEN, P.E. (1996).— The seasonal decline in Tree Swallow clutch size: physiological constraint or strategic adjustment? *Ecology*, 77: 922-932.
- ZDUNIAK, P., CZECHOWSKI, P. & JĘDRO, G. (2011).— The effect of nesting habitat on reproductive output of the Barn Swallow (*Hirundo rustica*). A comparative study of populations from atypical and typical nesting habitats in western Poland. *Belg. J. Zool.*, 141: 38-43.
- ZWARTS, L., BIJLSMA, R.B., VAN DER KAMP, J. & WYMENGA, E. (2010).— *Living on the edge. Wetlands and birds in a changing Sahel*. Zeist: KNNV Publishing.

ANNEXE 1

Analyse des régressions simples permettant de tester, en chaque période phénologique, les relations entre les trois paramètres météorologiques (température moyenne, précipitations cumulées et vitesse moyenne des vents des maxima journaliers) de Guelma, Algérie, 2012-2013

		Précipitation	Vitesse des vents	Date Julian
Période de ponte (n = 87)	Température	-0,701**	-0,130	0,905**
	Précipitation		-0,122	-0,641**
	Vitesse des vents			0,050
Période d'incubation (n = 86)	Température	-0,622**	0,399	0,933**
	Précipitation		-0,742**	-0,656**
	Vitesse des vents			0,492*
Période totale de la reproduction (n = 86)	Température	-0,687**	-0,454**	0,922**
	Précipitation		0,120	-0,627**
	Vitesse des vents			-0,437**

ANNEXE 2

Résultats des analyses de la variance (ANOVA) permettant de tester, pour chaque période phénologique, les relations entre les variables quantitatives continues (température moyenne, précipitations cumulées, vitesse moyenne des vents des maxima journaliers et date Julian) et les variables qualitatives (année et ordre de la ponte) à Guelma, Algérie, 2012-2013

		Année	Ordre de la ponte
Période de ponte (n = 87)	Température	$F = -2,009 ; p = 0,049$	$F = 11,820 ; p < 0,001$
	Précipitation	$F = -2,448 ; p = 0,016$	$F = -7,476 ; p < 0,001$
	Vitesse des vents	$F = 0,737 ; p = 0,463$	$F = 1,680 ; p = 0,096$
	Date	$F = -0,890 ; p = 0,376$	$F = 20,290 ; p < 0,001$
Période d'incubation (n = 86)	Température	$F = -2,667 ; p = 0,009$	$F = 13,48 ; p < 0,001$
	Précipitation	$F = 5,341 ; p < 0,001$	$F = -5,544 ; p < 0,001$
	Vitesse des vents	$F = -3,518 ; p < 0,001$	$F = 4,046 ; p < 0,001$
	Date	$F = -0,845 ; p = 0,369$	$F = 20,45 ; p < 0,001$
Période totale de la reproduction (n = 86)	Température	$F = 12,050 ; p < 0,001$	$F = 10,380 ; p < 0,001$
	Précipitation	$F = 6,815 ; p < 0,001$	$F = -4,971 ; p < 0,001$
	Vitesse des vents	$F = -0,630 ; p = 0,530$	$F = -5,349 ; p < 0,001$
	Date	$F = -0,766 ; p = 0,446$	$F = 21,020 ; p < 0,001$