

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Batna 2
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Écologie et Environnement
Réf :



جامعة باتنة 2
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علم البيئة والمحيط
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat en Sciences
en
Écologie et Environnement

Contribution à l'étude de la bio-écologie de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Batna (Nord-est algérien)

Présentée par :
Haroun CHENCHOUNI

Soutenue publiquement le **09 Février 2017**

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. Smail CHAFAA	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Batna 2
Directeur de thèse :	Dr. Abdelkrim SI BACHIR	(Professeur)	Univ. de Batna 2
Examineur :	Dr. Nabil BERTELLA	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Batna 2
Examineur :	Dr. Nasser BAAZIZ	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Constantine 1
Examineur :	Dr. Djamel BENDJOUDI	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Blida 1
Examineur :	Dr. Omar GUEZOUL	(Maître de conférences 'A')	Univ. d'Ouargla

Résumé

L'objet de cette thèse porte sur l'écologie des populations de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) nicheuses dans la région de Batna. Les volets abordés, sous forme de chapitre, dans cette étude sont : (i) caractérisation des fréquentations des milieux de gagnage durant les différents stades phénologiques de reproduction et le long d'un gradient climatique, (ii) modélisation des paramètres de croissance des poussins et prédictions selon plusieurs modèles linéaires et non-linéaires, (iii) le succès de reproduction est suivi selon les structure de nidification, (iv) étude de la composition du régime alimentaire selon les périodes phénologiques, et (v) estimation de la diversité des proies consommées selon les climats et le type des paysage des colonie. (i) Concernant les modalités d'utilisation des habitats de gagnage, les décharges représentent le milieu de gagnage le plus fréquenté (44-66% des fréquentations) durant chaque stade de reproduction et sous les différents climats. Les zones humides viennent en deuxième position (11.3–12.4%). (ii) La modélisation de 563 mesures de croissance (51 nids et 211 poussins) a montré que le modèle de Weibull est le mieux ajusté aux données de croissance de la longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse et l'envergure, alors que le modèle de Gompertz reflète mieux la croissance du poids corporel. Les autres modèles de croissance étudiés avaient des ajustements aux données moins pertinents que les deux précédents, mais leurs prédictions étaient très similaires les unes aux autres. (iii) Le nombre des cigogneaux émancipés par nid construits sur des structures artificielles était significativement inférieures dans les poteaux de haut voltage avec 1.79 ± 1.10 par rapport aux poteaux de faible voltage (1.96 ± 1.19) et les antennes téléphoniques (2.09 ± 1.15). La productivité de la Cigogne blanche est influencée aussi par les dimensions des nids, la taille de la colonie, et la distance à l'agglomération et à la route mais pas par la position vis-à-vis les zones d'agglomérations. (iv) L'analyse des pelotes de régurgitation a permis d'identifier 61 espèces-proies. Le régime alimentaire est principalement composé d'arthropodes (94% des individus sont des insectes), mais en termes de biomasse il est dominé par les restes de volaille fourragés à partir des décharges (biomasse = 68,74%) et des petits mammifères (biomasse = 14,41%). Nonobstant que seul le nombre de proies différait entre les stades de reproduction, les GLMs montrent que les paramètres du régime alimentaire connaissent une hausse significative au cours de l'élevage des poussins. (v) Des similitudes élevées dans le régime alimentaire ont été trouvées entre les climats et les paysages étudiés, principalement entre les colonies des zones semi-arides et subhumides, ainsi que les colonies rurales et urbaines. Les courbes de raréfaction et d'extrapolation indiquent que la richesse en espèces-proies dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche est attendue à être plus élevée dans les colonies situées sous climat subhumide et dans des paysages urbains. Les GLMs révèlent une variation significative du nombre de proies consommées entre les climats et les types de paysages.

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; modélisation écologique ; biométrie ; succès de reproduction ; nidification ; régime alimentaire ; écologie trophique ; Algérie.

Abstract

Contribution to the study of White Stork's (*Ciconia ciconia*) bio-ecology in the region of Batna (northeastern Algeria)

The object of this thesis focuses on the ecology of White Stork's (*Ciconia ciconia*) breeding populations in the region of Batna. The topics exploited as a chapter in this study are: (i) characterization of habitat use and foraging patterns during different breeding stages and along a climatic gradient; (ii) modeling chicks growth parameters and predicting growths using several linear and non-linear models, (iii) reproductive success is investigated according to the artificial nesting structures, (iv) study of diet composition following phenological stage of the reproduction, and (v) estimate the diversity of prey consumed depending on the type of climate and landscape of colonies. (i) Regarding the patterns of foraging habitat use, rubbish dumps were the most popular foraging habitats (44-66% of uses) during each reproductive stage and under different study climates, wetlands followed (11.3-12.4%). (ii) Modeling 563 growth measurements (51 nests and 211 chicks) showed that Weibull's model has the best fit to growth data of beak length, head length, metatarsus length and wingspan, while the model of Gompertz better reflects the growth of body weight. The rest of studied growth models have less relevant fit to data compared to the previous two, but their predictions were very similar to each other. (iii) The number of fledged chicks per nest built on artificial structures was significantly lower in high voltage pylons with 1.79 ± 1.10 compared to low voltage poles (1.96 ± 1.19) and telephone masts (2.09 ± 1.15). The productivity of the White Stork is also influenced by the size of nests, colony size, and distance to the city and to the road but not by nest position toward urban areas. (iv) The analysis of regurgitated pellets allowed the identification of 61 prey species. The diet consists mainly of arthropods (94% of individuals are insects), but in terms of biomass it is dominated by chicken remains foraged in landfills (biomass = 68.74%) and small mammals (biomass = 14.41%). Although only the number of prey differed between the breeding stages, GLMs showed that diet parameters experienced a significant increase during the period of chick rearing. (v) High similarities in diet were found between climates and landscapes of study colonies, primarily between colonies of semi-arid and sub-humid areas, and rural and urban colonies. The rarefaction and extrapolation curves indicated that the prey species diversity in the diet of the White Stork is expected to be higher in the colonies located under sub-humid climate and cityscapes. The GLMs revealed a significant variation in the number of prey consumed between climates and types of landscape.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; ecological modelling; biometrics; reproductive success; nesting; diet; trophic ecology; Algeria.

مساهمة لدراسة الإيكولوجيا الحيوية لطائر اللقلق الأبيض (*Ciconia ciconia*) في منطقة باتنة (شمال شرق الجزائر)

يتركز موضوع هذه الرسالة على بيئة مجموعات اللقلق الأبيض (*Ciconia ciconia*) المعششة في منطقة باتنة. المواضيع المناقشة على شكل فصول في هذه الدراسة هي: (أ) وصف طرق استخدام أوساط التغذية خلال مختلف مراحل التكاثر وعلى طول تدرج مناخي بالمنطقة. (ب) نمذجة معايير نمو الفراخ وتنبؤ النمو من خلال عدة نماذج خطية وغير خطية ، (ج) تم بحث كيفية تغير نجاح التكاثر على الهياكل الاصطناعية للتعشيش، (د) دراسة مكونات النظام الغذائي خلال مختلف مراحل التكاثر، (هـ) تقدير تنوع الفرائس المستهلكة في مختلف المناخات المدروسة وتبعاً لنوع المناظر لمواقع المستعمرات. (أولاً) فيما يتعلق بأنماط استخدام أوساط التغذية، كانت مقالب القمامة وسط البحث عن الطعام الأكثر شيوعاً (44-66%) خلال مختلف مراحل التكاثر وتحت مختلف المناخات المدروسة، تليها الأراضي الرطبة (11.3-12.4%). (ثانياً) بينت نمذجة 563 معلومة قياس لنمو أجسام الصيصان (51 عش و 211 صوص) أن نموذج وايبول كان الأفضل تناسباً مع بيانات نمو كل من طول المنقار، طول الرأس، طول مشط القدم وطول باع الجناحين، في حين أن نموذج جومبرتز يعكس بشكل أفضل نمو وزن الجسم. بقية نماذج النمو المدروسة لها تناسب أقل أهمية مع بيانات النمو مقارنة مع النموذجين السابقين، ولكن كانت تنبؤاتهم جميعاً مشابهة جداً لبعضها البعض. (ثالثاً) عدد الكتاكيت البالغة في عش المبني على الهياكل الاصطناعية أقل بشكل ملحوظ في أبراج الكهرباء ذات التوتر المرتفع (1.10 ± 1.79) مقارنة مع أعمدة الكهرباء ذات التوتر المنخفض (1.19 ± 1.96) وأعمدة الهاتف (1.15 ± 2.09). إنتاجية اللقلق الأبيض تتأثر بحجم أعشاش، حجم المستعمرة، ومسافة العش من المدينة ومن الطريق ولكن لا تأثير ملحوظ لطريقة توضع العش تبعاً للمناطق الحضرية. (رابعاً) سمح تحليل الكريات المتبقية بتحديد 61 نوع من الفرائس. النظام الغذائي يتكون أساساً من مفصليات الأرجل (94% من الأفراد هي حشرات)، ولكن من حيث الكتلة الحيوية تهيم بقايا الدجاج المقنتات من القمامة بـ 68.74% وتليها الثدييات الصغيرة بكتلة الحيوية = 14.41%. على الرغم من التغير الحساس لعدد الفرائس بين مراحل التربية، إلا أن النماذج الخطية المعممة أظهرت أن معايير النظام الغذائي عرفت زيادة كبيرة خلال فترة تربية الصغار. (خامساً) تم العثور على تشابه مرتفع في النظام الغذائي بين مختلف أنواع المناخ والمناظر الطبيعية للمستعمرات المدروسة، خاصة بين مستعمرات المناطق شبه القاحلة وشبه الرطبة، والمستعمرات الريفية والحضرية. وأشارت منحنيات التندر والاستقرار أن تنوع أنواع الفرائس في النظام الغذائي للقلق الأبيض من المتوقع أن يكون أعلى في المستعمرات الواقعة تحت مناخ شبه رطب وذات مناظر حضرية. وكشفت النماذج الخطية المعممة تفاوتاً واضحاً في عدد أفراد الفرائس المستهلكة بين المناخات وأنواع المستعمرات.

كلمات البحث: اللقلق الأبيض *Ciconia ciconia* ؛ النمذجة البيئية ؛ القياسات الحيوية ؛ نجاح التكاثر ؛ التعشيش ؛ النظام الغذائي ؛ البيئة الغذائية ؛ الجزائر.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Batna 2
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Écologie et Environnement
Réf :



جامعة باتنة 2
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم علم البيئة والمحيط
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat en Sciences
en
Écologie et Environnement

Contribution à l'étude de la bio-écologie de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Batna (Nord-est algérien)

Présentée par :
Haroun CHENCHOUNI

Soutenue publiquement le **09 Février 2017**

Devant le jury composé de :

Président :	Dr. Smail CHAFAA	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Batna 2
Directeur de thèse :	Dr. Abdelkrim Si BACHIR	(Professeur)	Univ. de Batna 2
Examineur :	Dr. Nabil BERTELLA	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Batna 2
Examineur :	Dr. Nasser BAAZIZ	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Constantine 1
Examineur :	Dr. Djamel BENDJOUDI	(Maître de conférences 'A')	Univ. de Blida 1
Examineur :	Dr. Omar GUEZOUL	(Maître de conférences 'A')	Univ. d'Ouargla

Résumé

L'objet de cette thèse porte sur l'écologie des populations de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) nicheuses dans la région de Batna. Les volets abordés, sous forme de chapitre, dans cette étude sont : (i) caractérisation des fréquentations des milieux de gagnage durant les différents stades phénologiques de reproduction et le long d'un gradient climatique, (ii) modélisation des paramètres de croissance des poussins et prédictions selon plusieurs modèles linéaires et non-linéaires, (iii) le succès de reproduction est suivi selon la structure de nidification, (iv) étude de la composition du régime alimentaire selon les périodes phénologiques, et (v) estimation de la diversité des proies consommées selon les climats et le type des paysages des colonies. (i) Concernant les modalités d'utilisation des habitats de gagnage, les décharges représentent le milieu de gagnage le plus fréquenté (44-66% des fréquentations) durant chaque stade de reproduction et sous les différents climats. Les zones humides viennent en deuxième position (11.3–12.4%). (ii) La modélisation de 563 mesures de croissance (51 nids et 211 poussins) a montré que le modèle de Weibull est le mieux ajusté aux données de croissance de la longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse et l'envergure, alors que le modèle de Gompertz reflète mieux la croissance du poids corporel. Les autres modèles de croissance étudiés avaient des ajustements aux données moins pertinents que les deux précédents, mais leurs prédictions étaient très similaires les unes aux autres. (iii) Le nombre des cigogneaux émancipés par nid construits sur des structures artificielles était significativement inférieures dans les poteaux de haut voltage avec 1.79 ± 1.10 par rapport aux poteaux de faible voltage (1.96 ± 1.19) et les antennes téléphoniques (2.09 ± 1.15). La productivité de la Cigogne blanche est influencée aussi par les dimensions des nids, la taille de la colonie, et la distance à l'agglomération et à la route mais pas par la position vis-à-vis les zones d'agglomérations. (iv) L'analyse des pelotes de régurgitation a permis d'identifier 61 espèces-proies. Le régime alimentaire est principalement composé d'arthropodes (94% des individus sont des insectes), mais en termes de biomasse il est dominé par les restes de volaille fourragés à partir des décharges (biomasse = 68,74%) et des petits mammifères (biomasse = 14,41%). Nonobstant que seul le nombre de proies différait entre les stades de reproduction, les GLMs montrent que les paramètres du régime alimentaire connaissent une hausse significative au cours de l'élevage des poussins. (v) Des similitudes élevées dans le régime alimentaire ont été trouvées entre les climats et les paysages étudiés, principalement entre les colonies des zones semi-arides et subhumides, ainsi que les colonies rurales et urbaines. Les courbes de raréfaction et d'extrapolation indiquent que la richesse en espèces-proies dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche est attendue à être plus élevée dans les colonies situées sous climat subhumide et dans des paysages urbains. Les GLMs révèlent une variation significative du nombre de proies consommées entre les climats et les types de paysages.

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; modélisation écologique ; biométrie ; succès de reproduction ; nidification ; régime alimentaire ; écologie trophique ; Algérie.

Abstract

Contribution to the study of White Stork's (*Ciconia ciconia*) bio-ecology in the region of Batna (northeastern Algeria)

The object of this thesis focuses on the ecology of White Stork's (*Ciconia ciconia*) breeding populations in the region of Batna. The topics exploited as a chapter in this study are: (i) characterization of habitat use and foraging patterns during different breeding stages and along a climatic gradient; (ii) modeling chicks growth parameters and predicting growths using several linear and non-linear models, (iii) reproductive success is investigated according to the artificial nesting structures, (iv) study of diet composition following phenological stage of the reproduction, and (v) estimate the diversity of prey consumed depending on the type of climate and landscape of colonies. (i) Regarding the patterns of foraging habitat use, rubbish dumps were the most popular foraging habitats (44-66% of uses) during each reproductive stage and under different study climates, wetlands followed (11.3-12.4%). (ii) Modeling 563 growth measurements (51 nests and 211 chicks) showed that Weibull's model has the best fit to growth data of beak length, head length, metatarsus length and wingspan, while the model of Gompertz better reflects the growth of body weight. The rest of studied growth models have less relevant fit to data compared to the previous two, but their predictions were very similar to each other. (iii) The number of fledged chicks per nest built on artificial structures was significantly lower in high voltage pylons with 1.79 ± 1.10 compared to low voltage poles (1.96 ± 1.19) and telephone masts (2.09 ± 1.15). The productivity of the White Stork is also influenced by the size of nests, colony size, and distance to the city and to the road but not by nest position toward urban areas. (iv) The analysis of regurgitated pellets allowed the identification of 61 prey species. The diet consists mainly of arthropods (94% of individuals are insects), but in terms of biomass it is dominated by chicken remains foraged in landfills (biomass = 68.74%) and small mammals (biomass = 14.41%). Although only the number of prey differed between the breeding stages, GLMs showed that diet parameters experienced a significant increase during the period of chick rearing. (v) High similarities in diet were found between climates and landscapes of study colonies, primarily between colonies of semi-arid and sub-humid areas, and rural and urban colonies. The rarefaction and extrapolation curves indicated that the prey species diversity in the diet of the White Stork is expected to be higher in the colonies located under sub-humid climate and cityscapes. The GLMs revealed a significant variation in the number of prey consumed between climates and types of landscape.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; ecological modelling; biometrics; reproductive success; nesting; diet; trophic ecology; Algeria.

الملخص

مساهمة لدراسة الإيكولوجيا الحيوية لطائر اللقلق الأبيض (*Ciconia ciconia*) في منطقة باتنة (شمال شرق الجزائر)

يتركز موضوع هذه الرسالة على بيئة مجموعات اللقلق الأبيض (*Ciconia ciconia*) المعيشة في منطقة باتنة. المواضيع المناقشة على شكل فصول في هذه الدراسة هي: (أ) وصف طرق استخدام أوساط التغذية خلال مختلف مراحل التكاثر وعلى طول تدرج مناخي بالمنطقة. (ب) نمذجة معايير نمو الفراخ وتنبؤ النمو من خلال عدة نماذج خطية وغير خطية، (ج) تم بحث كيفية تغير نجاح التكاثر على الهياكل الاصطناعية للتعشيش، (د) دراسة مكونات النظام الغذائي خلال مختلف مراحل التكاثر، (هـ) تقدير تنوع الفرائس المستهلكة في مختلف المناخات المدروسة وتبعاً لنوع المناظر لمواقع المستعمرات. (أولاً) فيما يتعلق بأنماط استخدام أوساط التغذية، كانت مقالب القمامة وسط البحث عن الطعام الأكثر شيوعاً (44-66%) خلال مختلف مراحل التكاثر وتحت مختلف المناخات المدروسة، تليها الأراضي الرطبة (11.3-12.4%). (ثانياً) بينت نمذجة 563 معلومة قياس لنمو أجسام الصيغان (51 عش و 211 صوص) أن نموذج وايبول كان الأفضل تناسباً مع بيانات نمو كل من طول المنقار، طول الرأس، طول مشط القدم وطول باع الجناحين، في حين أن نموذج جومبرتز يعكس بشكل أفضل نمو وزن الجسم. بقية نماذج النمو المدروسة لها تناسب أقل أهمية مع بيانات النمو مقارنة مع النموذجين السابقين، ولكن كانت تنبؤاتهم جميعاً مشابهة جداً لبعضها البعض. (ثالثاً) عدد الكتاكيت البالغة في عش الميني على الهياكل الاصطناعية أقل بشكل ملحوظ في أبراج الكهرباء ذات التوتر المرتفع (1.10 ± 1.79) مقارنة مع أعمدة الكهرباء ذات التوتر المنخفض (1.19 ± 1.96) وأعمدة الهاتف (1.15 ± 2.09). إنتاجية اللقلق الأبيض تتأثر بحجم أعشاش، حجم المستعمرة، ومسافة العش من المدينة ومن الطريق ولكن لا تأثير ملحوظ لطريقة توضع العش تبعاً للمناطق الحضرية. (رابعاً) سمح تحليل الكريات المتبقية بتحديد 61 نوع من الفرائس. النظام الغذائي يتكون أساساً من مفصليات الأرجل (94% من الأفراد هي حشرات)، ولكن من حيث الكتلة الحيوية تهيم بقايا الدجاج المقنتات من القمامة بـ 68.74% وتليها الثدييات الصغيرة بكتلة الحيوية = 14.41%. على الرغم من التغير الحساس لعدد الفرائس بين مراحل التربية، إلا أن النماذج الخطية المعممة أظهرت أن معايير النظام الغذائي عرفت زيادة كبيرة خلال فترة تربية الصغار. (خامساً) تم العثور على تشابه مرتفع في النظام الغذائي بين مختلف أنواع المناخ والمناظر الطبيعية للمستعمرات المدروسة، خاصة بين مستعمرات المناطق شبه القاحلة وشبه الرطبة، والمستعمرات الريفية والحضرية. وأشارت منحنيات التندر والاستقرار أن تنوع أنواع الفرائس في النظام الغذائي للقلق الأبيض من المتوقع أن يكون أعلى في المستعمرات الواقعة تحت مناخ شبه رطب وذات مناظر حضرية. وكشفت النماذج الخطية المعممة تفاوتاً واضحاً في عدد أفراد الفرائس المستهلكة بين المناخات وأنواع المستعمرات.

كلمات البحث: اللقلق الأبيض *Ciconia ciconia* ؛ النمذجة البيئية ؛ القياسات الحيوية ؛ نجاح التكاثر ؛ التعشيش ؛ النظام الغذائي ؛ البيئة الغذائية ؛ الجزائر.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

C'est un devoir d'exprimer mes remerciements et reconnaissances à travers cette thèse à tous ceux qui par leurs aides, encouragements et leurs critiques ont facilité, de près ou de loin, à l'élaboration et à la réalisation de ce modeste travail.

Mes remerciements vont en premier ordre à mon directeur de thèse Dr. Abdelkrim SI BACHIR (Professeur à l'Université Batna 2) pour ses conseils et ses encouragements durant la réalisation de cette thèse.

J'exprime également mes remerciements :

Aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail : Dr. Smail CHAFAA et Dr. Nabil BERTELLA de l'Université de Batna 2, Dr. Djamel BENDJOUDI de l'Université de Blida 1, Dr. Omar GUEZOU de l'Université d'Ouargla, et Dr. Nasser BAAZIZ de l'Université de Constantine 1.

Aux personnels de la Conservation des Forêts de la wilaya de Batna, en particulier Mr. Athmane BRIKI (Chef du Département de la Protection de la Flore et de la Faune), les ingénieurs d'État SMAI I. et NEZZAR C. et les chefs des circonscriptions pour toutes les facilitations fournies lors des déplacements sur terrain pour le recensement des colonies de la Cigogne blanche.

Un grand merci s'adresse aux messieurs les Maires des communes d'El Madher, de Chemora, de Tazoult ainsi qu'à Mr. Nacer NEZAR (Commune d'El Madher) et Mr. Cherif GHAZI pour leur aide dans l'accès aux nids des cigognes durant les années 2011–2012. Également, je dois remercier Mr. Abdelkrim ARAR pour son aide et Dr. Mohammed Nacer MEKAHLIA et Mr. Ahmed Lamine MEKAHLIA pour la lecture et l'excellente correction du manuscrit de la thèse.

Ma gratitude va aussi à Prof. Ken NORRIS (Zoological Society of London, UK) pour son aide dans la conception et l'analyse statistique des chapitres 1 et 3, et aux Prof. Piotr TRYJANOWSKI (Poznań University of Life Sciences, Poland) et Prof. Tim H. SPARKS (Coventry University, UK) pour leur assistance et suggestion dans la préparation du chapitre 3.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail, merci infiniment.

Sommaire

Sommaire	i
Liste des publications	v
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des annexes.....	xii
Liste des abréviations.....	xiii
Introduction générale	1
Chapitre 1 – Modalités d'utilisation des habitats de gagnage	5
RÉSUMÉ	6
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCTION.....	7
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	9
2.1. Région d'étude	9
2.2. Échantillonnage et choix des itinéraires–transects.....	10
2.3. Collecte des données	11
2.4. Analyses statistiques	12
3. RÉSULTATS	13
3.1. Exploitation des milieux de gagnage	13
3.2. Patterns des fréquentations des milieux d'alimentation.....	15
3.3. Association avec le héron garde-bœufs en milieux d'alimentation	17
3.4. Distances de gagnage	18
3.5. Modalisation des fréquentations des habitats de gagnage.....	19
4. DISCUSSION.....	25
5. CONCLUSION.....	30
Chapitre 2 – Modélisation des paramètres de croissance des poussins	31
RÉSUMÉ	32
ABSTRACT.....	33
1. INTRODUCTION.....	33
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	36
2.1. Présentations de la zone et des colonies de l'étude.....	36
2.2. Échantillonnage des nids et des poussins.....	36
2.3. Analyses statistiques et modélisation des données de croissance	37
2.3.1. Modèles linéaires généralisés et modèles linéaires généralisés mixtes	37
2.3.2. Modèles additifs généralisés et modèles additifs généralisés mixtes	37
2.3.3. Régressions non-linéaires avec des self-starting fonctions	37
2.3.3.1. Fonctions asymptotiques.....	38

2.3.3.2. Fonctions en forme de S 'S-shaped functions'	39
2.3.4. Prédiction de la croissance des traits biométriques	41
3. RÉSULTATS	41
3.1. Comparaisons des modèles de croissance	41
3.2. Croissance du culmen	43
3.3. Croissance de la longueur de la tête	45
3.4. Croissance de l'envergure	46
3.5. Croissance de la longueur du tarsométatarse	47
3.6. Croissance du poids corporel	48
3.7. Prédiction des traits biométriques.....	49
4. DISCUSSION.....	52
5. CONCLUSION.....	52
Chapitre 3 – Variation du succès de reproduction sur les pylônes électriques et téléphoniques.....	54
RÉSUMÉ	55
ABSTRACT.....	55
1. INTRODUCTION.....	56
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	59
2.1. Zone d'étude.....	59
2.2. Recensement des nids	60
2.3. Collecte des données	60
2.4. Analyse statistique	61
3. RÉSULTATS	62
3.1. Caractéristiques des nids et des sites de nidification	62
3.2. Modélisation du succès de reproduction	64
3.3. Interaction entre la structure de nidification et la position du nid.....	66
3.4. Effet de la hauteur de nidification	66
3.5. Effet des caractéristiques du nid, de la colonie et du site de nidification	67
4. DISCUSSION.....	68
5. CONCLUSION.....	73
Chapitre 4 – Niche trophique au cours des différents stades de la reproduction.....	74
RÉSUMÉ	75
ABSTRACT.....	75
1. INTRODUCTION.....	76
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	78
2.1. Zone d'étude et colonies échantillonnées	78

2.2. Collecte et analyse des pelotes	78
2.3. Analyses de données du régime alimentaire	80
2.4. Procédures des analyses statistiques	81
3. RÉSULTATS	82
3.1. Caractéristiques des pelotes et de la niche trophique.....	82
3.2. Variation temporelle de la composition du régime alimentaire	84
3.3. Patrons du régime alimentaire selon les stades de reproduction.....	85
4. DISCUSSION.....	88
5. CONCLUSION.....	92
Chapitre 5 – Diversité des proies consommées selon deux gradients climatique et d'urbanisation.....	93
RÉSUMÉ	94
ABSTRACT.....	95
1. INTRODUCTION.....	95
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	98
2.1. Zone et colonies d'étude.....	98
2.2. Collecte et analyse des pelotes	100
2.3. Analyses de la biodiversité.....	101
2.3.1. Biodiversité observée des proies	101
2.3.2. Estimations de la richesse des espèces-proies	102
2.3.3. Extrapolation de la richesse en espèces	102
2.3.4. Similitudes spatiales des communautés de proies	103
2.4. Analyses statistiques	103
3. RÉSULTATS	104
3.1. Composition du régime alimentaire et richesse des proies	104
3.2. Niche trophique et caractéristiques du régime alimentaire	108
3.3. Variation du régime alimentaire selon les climats et les paysages	109
3.4. Estimations de la richesse des espèces-proies.....	109
3.5. Extrapolation de la richesse des espèces-proies	112
3.6. Similitudes spatiales des espèces-proies	114
4. DISCUSSION.....	115
5. CONCLUSION.....	119
Conclusion générale.....	120
Références.....	125
Annexes.....	139

Liste de quelques publications en relation avec la thématique de thèse

- Chenchouni H.**, Si Bachir A., AlRashidi M. (2015). Trophic niche and feeding strategy of the White Stork (*Ciconia ciconia*) during different phases of the breeding season. *Avian Biology Research*, 8: 1–13. DOI: [10.3184/175815515x14232310459990](https://doi.org/10.3184/175815515x14232310459990)
- Chenchouni H.** (2017). Variation in White Stork (*Ciconia ciconia*) diet along a climatic gradient and across rural-to-urban landscapes in North Africa. *International Journal of Biometeorology*, (Online First). DOI: [10.1007/s00484-016-1232-x](https://doi.org/10.1007/s00484-016-1232-x)
- Chenchouni H.**, *et al.* Breeding success of White Storks (*Ciconia ciconia*) nesting on phone masts and electricity pylons under North African conditions. (Under review)
- Djeddou H., Bada N., **Chenchouni H.**, Si Bachir A. (2007). Données sur la biologie de la reproduction et les besoins alimentaires de la Cigogne blanche *Ciconia ciconia* en période de nidification dans la colonie d'El Madher (Batna, Algérie). Actes des Journées Internationales sur la Zoologie Agricole et Forestière, INA El Harrach, Algérie, pp. 267–276. DOI: [10.13140/2.1.2376.9280](https://doi.org/10.13140/2.1.2376.9280)
- Si Bachir A., **Chenchouni H.**, Djeddou N., Barbraud C., Céréghino R., Santoul F. (2013). Using self-organizing maps to investigate environmental factors regulating colony size and breeding success of the White Stork (*Ciconia ciconia*). *Journal of Ornithology*, 154: 481–489. DOI: [10.1007/s10336-012-0915-2](https://doi.org/10.1007/s10336-012-0915-2)

Liste des figures

Chapitre 1

- Figure 1.** Présentation de la région d'étude et les trajets parcourus lors des recensements de la Cigogne blanche en milieu de gagnage par la méthode des itinéraires–transects dans la région de Batna (Nord-est algérien). 10
- Figure 2.** Nombre d'observation des Cigognes Blanches en gagnage dans les différents milieux de gagnage suivant les stades phénologiques de reproduction et selon les régions climatiques dans la wilaya de Batna (Nord-est Algérien)..... 14
- Figure 3.** Taux de fréquentation des différents milieux de gagnage suivant les stades phénologiques de reproduction de la Cigogne blanche en climat aride, semi-aride, subhumide, et dans toute la région d'étude à Batna (Nord-est algérien). 16
- Figure 4.** Densité des effectifs de la Cigogne blanche fréquentant différents milieux de gagnage en association avec le Héron garde-bœufs *Bubulcus ibis* suivant les stades phénologiques et les étages climatiques dans la région de Batna (Nord-est algérien). 17
- Figure 5.** Distribution des groupes de la Cigogne blanche observés en gagnage dans les trois étages bioclimatiques étudiés en fonction de la distance à la colonie la plus proche au cours des différents stades phénologiques de reproduction dans la région de Batna. 20
- Figure 6.** Box plots représentant la variation du nombre d'individus de cigognes blanches dans les différents habitats de gagnage situés en trois types de climats régionaux dans la région de Batna. Les losanges noirs indiquent la moyenne, tandis que les cercles sont des points aberrants. 23
- Figure 7.** Variation du nombre d'individus des Cigognes blanches observées en gagnage suivant la surface de l'habitat, la distance à la route, le nombre de colonies adjacentes, et la densité cumulée des colonies dans la région de Batna (Nord-est algérien). 24
- Figure 8.** Relation entre le nombre d'individus de cigognes blanches observé et la distance de la colonie la plus proche du point de gagnage dans les différents habitats dans la région de Batna 25

Chapitre 2

Figure 1. Croissance journalière de la longueur du bec des cigogneaux dans la région de Batna	43
Figure 2. Croissance journalière de la longueur de la tête des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna.	45
Figure 3. Croissance journalière de l'envergure des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna	46
Figure 4. Croissance journalière de la longueur du tarsométatarse des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna	47
Figure 5. Croissance journalière du poids corporel des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna	48
Figure 6. Courbes de prédiction tracées à partir des modèles de la croissance appliqués aux traits biométriques des poussins de cigognes blanches dans la région de Batna	50
Figure 7. Matrices de corrélations appliquées entre les valeurs prédites de chaque trait biométrique des cigogneaux dans la région de Batna suivant les modèles de croissance non-linéaires (M1–M11) et un modèle linéaire (M12).	51

Chapitre 3

Figure 1. Localisation de la wilaya de Batna, en Algérie, avec les résultats des recensements des colonies Cigogne blanche (<i>Ciconia ciconia</i>) pour la période 2011–2013	59
Figure 2. Variation du nombre des poussins émancipés par nid actif selon les années d'étude, le type des structures artificielles de nidification et la position du nid vis-à-vis la zone urbaine dans la wilaya de Batna (Nord-est algérien)	63
Figure 3. Boxplots superposés sur des violinplots représentant la distribution du nombre des poussins émancipés de la Cigogne blanche par année d'étude, structures de nidification artificielles et suivant l'emplacement des sites de nidification dans la région de Batna	65
Figure 4. Boxplots représentant la variation du nombre de poussins émancipés par nid de la Cigogne blanche selon les structures artificielles de nidification et la position du nid vis-à-vis la zone urbaine dans la région de Batna.....	66
Figure 5. Relation entre le nombre de cigogneaux émancipés par nid et la hauteur de nidification sur trois types de structures artificielles et selon la position de nidification vis-à-vis la zone d'agglomération dans la région de Batna	67

Figure 6. Variation du nombre des poussins émancipés par nid de la Cigogne blanche suivant la hauteur de la structure de nidification, la surface et la longueur du nid, la taille de la colonie, la distance la plus proche à l'agglomération et à la route dans la région de Batna (Nord-est algérien).68

Chapitre 4

Figure 1. Localisation géographique de la wilaya de Batna (Nord-est algérien), avec les emplacements et les densités des colonies de la Cigogne blanche79

Chapitre 5

Figure 1. Carte des précipitations annuelles de la wilaya de Batna (Nord-est de l'Algérie) avec les emplacements géographiques des huit colonies échantillonnées de la Cigogne blanche.99

Figure 2. Estimation de la richesse asymptotique, indices de diversité et raréfaction des proies du régime alimentaire de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna 111

Figure 3. Courbes de raréfaction et d'extrapolation de la richesse estimée en espèces-proies du régime alimentaire de la Cigogne blanche le long d'un gradient de régions climatiques (subhumide, semi-aride et aride) et de paysages (ruraux, suburbains et urbains) dans la Wilaya de Batna (nord-est de l'Algérie)..... 113

Liste des tableaux

Chapitre 1

- Tableau 1.** Description et typologies des habitats de gagnage de la Cigogne blanche dans la région de Batna (Nord-est algérien). 12
- Tableau 2.** Distance moyenne \pm écart-type de la localisation des groupes des cigognes blanches observés en gagnage par rapport à la colonie la plus proche en fonction des stades phénologiques de reproduction et des régions climatiques dans la région de Batna (Nord-est algérien) 19
- Tableau 3.** Modélisation de l'effet du climat, stade de reproduction, types d'habitat fréquenté, surface de la parcelle de l'habitats, distance des Cigognes blanches en gagnage par rapport à la route, présence du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*), distance entre les Cigognes blanches en gagnage et la colonie la plus proche, le nombre de colonies adjacentes et la densité cumulée de ces colonies sur la variation du nombre de la Cigogne blanche en gagnage dans la région de Batna (Nord-est algérien)..... 21
- Tableau 4.** Paramètres du modèle linéaire généralisé mixte selon la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCgImm) avec le meilleur ajustement testant la variation des effectifs de la Cigogne blanche fourrageant dans différents milieux de gagnage, dans trois types de climats et durant les quatre stades phénologiques de reproduction dans la région de Batna (Nord-est algérien)..... 22

Chapitre 2

- Tableau 1.** Fonctions d'auto-démarrage 'self-starting' des différents modèles non-linéaires utilisés pour modéliser la croissance des poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna, nord-est algérien 39
- Tableau 2.** Modélisation à l'aide de modèles asymptotiques et sigmoïdes de la croissance des traits biométriques (longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse, envergure, et poids corporel) des poussins de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna, nord-est algérien 42

Tableau 3. Test de l'effet de l'identité de nid sur les modèles linéaires et non-linéaires testant la croissance des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna, nord-est algérien	43
Tableau 4. Résumés et paramètres des modèles de Weibull et Gompertz ayant le meilleur ajustement pour les traits de la croissance des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna, nord-est algérien.....	44

Chapitre 3

Tableau 1. Caractéristiques des nids et des sites de nidification des colonies de la Cigogne blanche surveillées dans la wilaya de Batna (Nord-est algérien).....	62
Tableau 2. Paramètres du modèle linéaire généralisé mixte selon la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCglimm) testant la variation du nombre des poussins par nid de la Cigogne blanche nichant sur des structures artificielles dans la région de Batna (Nord-est algérien).....	65

Chapitre 4

Tableau 1. Traits morphométriques (longueur, largeur, poids sec, et volume) des pelotes de rejection et variation temporelle des paramètres du régime alimentaire (nombre d'individus des espèces-proies, fréquence des proies, richesse spécifique, étendue de la niche trophique, indice de diversité de Shannon, et équitabilité) de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna (Nord-est Algérie).....	83
Tableau 2. Variation de l'abondance totale (nombre d'individus), richesse des espèces-proies, biomasse et l'occurrence de catégories-proies rencontrées dans des pelotes de rejection de la Cigogne blanche nicheuse à Batna (Nord-est algérien)....	84
Tableau 3. Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant la variation des paramètres du régime alimentaires (N , B , S , FNB , H' , E) entre les phases phénologiques de la reproduction des populations de cigognes blanches nicheuses dans la wilaya de Batna au nord-est de l'Algérie	86
Tableau 4. GLMs analysant la variation des paramètres des ordres-proies (nombre d'individus, biomasse, richesse spécifique, et occurrence) entre les stades de reproduction des populations nicheuses de la Cigogne blanche dans le nord-est de l'Algérie	87

Chapitre 5

Tableau 1. Traits du régime alimentaire (*N, PF, B, Occ, Éch.*) des espèces-proies identifiées dans les pelotes de régurgitation de la Cigogne blanche nichant dans différentes régions climatiques et paysagères dans la Wilaya de Batna (Nord-est algérien). ... 105

Tableau 2. Variation des paramètres du régime alimentaire et de la niche trophique de la Cigogne blanche à travers deux gradients climatique et de l'urbanisation dans le Nord-est de l'Algérie 108

Tableau 3. Tests de likelihood-ratio (LR) des modèles linéaires généralisés (GLM) testant les effets des types de climats et de paysages sur les paramètres du régime alimentaire des populations de la Cigogne blanche nicheuses dans la Wilaya de Batna (Nord-est de l'Algérie). 109

Tableau 4. Indices de la diversité et richesse totale des espèces-proies estimée pour le régime alimentaire de la Cigogne blanche selon les régions climatiques et les types de paysages dans la Wilaya de Batna (Nord-est de l'Algérie)..... 110

Tableau 5. Similarités spatiales (qualitatives et quantitatives) du régime alimentaire de la Cigogne blanche entre les climats et les paysages du site des colonies. 114

Liste des annexes

- Annexe 1.** Scripts des codes R utilisés pour la réalisation des différents tests et modèles statistiques pour la modélisation des données de croissance des poussins de la cigogne blanche dans la région de Batna. 140
- Annexe 2.** Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance du culmen (longueur du bec) chez les poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna. 156
- Annexe 3.** Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de la longueur de la tête des poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna. .. 157
- Annexe 4.** Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de l'envergure chez les poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. 159
- Annexe 5.** Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de la longueur du tarsométatarse des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. 160
- Annexe 6.** Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance du poids corporel des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. 162
- Annexe 7.** Liste systématique des espèces-proies identifiées dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche nicheuse dans le nord-est de l'Algérie suite à l'analyse des pelotes de rejection 164
- Annexe 8.** Caractéristiques climatiques et socio-économiques des sites des colonies de la Cigogne blanche dans la Wilaya de Batna (Nord-est algérien)..... 166

Liste des abréviations

- AC** : Espèce à occurrence accidentelle
AIC : critère d'information d'Akaike
B : Biomasse des proies (%)
cf. : *confer*
CM : Espèce à occurrence commune
CN : Espèce à occurrence constante
CR : Champs de céréalicultures
ddl : Degré de liberté
DIC : Critère d'information de déviance
DPAT : Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire
E : Équitabilité
e.g. : *exempli gratia*
Éch. : Échelle d'occurrence
edf : degrés de liberté estimés
eff.samp : Échantillonnage effectif de MCMCglmm
et al. : *et alii* ou *et aliores*
etc. : *et cetera*
Exp : Fonction exponentielle
F : Statistiques de Fischer
FNB : Étendue de la niche trophique
FR : Friches
GAM : Modèle additif généralisé
GAMM : Modèle additif généralisé mixte
GLM : Modèle linéaire généralisé
GLMM : Modèle linéaire généralisé mixte
GR : Prairies
H' : Indice de diversité de Shannon
H'_{max} : Indice de diversité maximale de Shannon
HGB : Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*)
i.e. : *id est*
IC : Intervalle de confiance
IR : Cultures irriguées

- Is** : Indice de diversité de Simpson
- K²** : Valeur du test de Kruskal-Wallis
- l-95% CI** : Borne inférieure de 95% d'intervalle de confiance de MCMCglimm
- MCMC** : méthodes de Monte Carlo par Chaîne de Markov
- N** : Nombre d'individus, ou taille de l'échantillon (nombre d'observations)
- Occ** : Fréquence d'occurrence (%)
- P** : Valeur de la probabilité
- PF** : Fréquence des proies (%)
- post.mean** : Moyenne de la distribution postérieure de MCMCglimm
- r** : Coefficient de corrélation de Pearson
- RD** : Décharges
- Ref.df** : degrés de liberté de référence
- S** : Richesse totale en espèces
- S_(Chao 2)** : Estimateur de la richesse des espèces de Chao de deuxième ordre
- S_(est)** : Valeur estimée de richesse spécifique
- S_(Jack 1)** : Estimateur de la richesse des espèces de Jackknife de premier ordre
- SAU** : Surface agricole utile
- SD** : Écart-type
- SE** : erreur standard
- u-95% CI** : Borne supérieure de 95% d'intervalle de confiance de MCMCglimm
- VA** : Espèce à occurrence très accidentelle
- vs* : *Versus*
- WT** : Zones humides
- ΔDIC** : Différence du critère d'information de déviance
- γ** : Surface de la parcelle de ces habitats
- η** : Distance du groupe de cigognes blanches par rapport à la route la plus proche
- θ** : Présence du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*)
- κ** : Densité cumulée des colonies des cigognes dans un rayon de 5 km
- λ** : Nombre de colonies dans un rayon de 5 km
- ξ** : Types des habitats fréquentés
- τ** : Distance de la colonie la plus proche au groupe observé de cigognes blanches
- φ** : Phases phénologiques de reproduction
- χ²** : Valeur du test du Khi² de Pearson
- ψ** : Régions climatiques

Introduction générale

Introduction générale

Depuis toujours, l'être humain a changé le milieu où il réside par les besoins qu'il a à satisfaire, notamment son alimentation (agricultures et élevages), mais aussi son habitat (infrastructures, voies de transports et moyens de communications). Ceci a un effet préjudiciable irréversible sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes (McKinney, 2006 ; Ellis & Ramankutty, 2008). De nombreuses espèces animales sont menacées dans leur existence par la transformation et la dégradation de leurs habitats naturels (Johst *et al.*, 2001 ; Newbold *et al.*, 2015). La conformation du milieu détermine la composition et la diversité des communautés aviennes dans un écosystème (Ambarlı & Bilgin, 2014) ainsi que leurs paramètres démographiques (Si Bachir *et al.*, 2013 ; Janiszewski *et al.*, 2014).

Les espèces animales en général, et oiseaux particulièrement, répondent diversement aux changements dus à l'urbanisation (Chace & Walsh, 2006 ; Rebolo-Ifrán *et al.*, 2015). Ces changements variables ont des effets sur l'écologie trophique (Fuller *et al.*, 2012), la distribution (Fuller *et al.*, 2008), la reproduction (Máthé & Batáry, 2015) et le comportement (Bókony *et al.*, 2012). Les oiseaux et plus particulièrement les oiseaux d'eau sont d'excellents bio-indicateurs pour estimer la santé des écosystèmes (Gregory & Strien, 2010 ; Tobólka *et al.*, 2012 ; Bensizerara *et al.*, 2013). Cependant, l'influence de l'urbanisation sur la faune, notamment avienne, reste peu étudiée à l'échelle Nord-africaine. En outre, les conséquences des diverses activités humaines, notamment la transformation des habitats naturels pour l'agriculture, et la propagation des décharges des déchets domestiques (le plus souvent non contrôlées ou mal gérées), restent très peu exploitées dans cette écorégion.

La Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) est un oiseau longévif, prédateur et opportuniste, qui peut élargir sa niche écologique en exploitant différents habitats soit pour la reproduction et/ou l'alimentation, en utilisant les différentes ressources alimentaires et en fourrageant dans différentes d'habitats ayant des structures hétérogènes (Vrezec, 2009 ; Kruszyk & Ciach, 2010). Cet échassier couvre différentes distances dans son habitat pour se nourrir (Alonso *et al.*, 1994 ; Johst *et al.*, 2001 ; Moritzi *et al.*, 2001 ; Hilgartner *et al.*, 2014) ; son approvisionnement

influence la vitesse de croissance des poussins et le cycle de vie en général, le succès de reproduction et la taille des populations (Martin, 1987).

En raison de la productivité variable des habitats en alimentation qui diminue avec l'aridité du climat (Bradai *et al.*, 2015), la répartition des colonies de cigognes blanches génère différents besoins nutritionnels (Moritzi *et al.*, 2001 ; Chenchouni *et al.*, 2015). Ce qui fait que la disponibilité des ressources alimentaires, lorsqu'elle se réduit, limite la densité des populations animales, car elle affecte la croissance individuelle (Karasov, 1996 ; Janiszewski *et al.*, 2014) en particulier chez les oiseaux (Brasher *et al.*, 2007 ; Tryjanowski *et al.*, 2009a ; Crampton *et al.*, 2011). Une nourriture adéquate dans ces caractéristiques possède un effet stimulant sur la performance et le succès de la reproduction, surtout chez les espèces sauvages (Byholm & Kekkonen, 2008). De nombreux indices tels que : la quantité de nourriture, sa disponibilité, l'approvisionnement et les variations de nourriture dans l'espace et dans le temps, tout cela est utilisé pour l'étude des niches trophiques (Brasher *et al.*, 2007 ; Nielsen *et al.*, 2010 ; Crampton *et al.*, 2011). Quant aux aspects liés à l'écologie de nidification, l'effet des structures artificielles du site de nidification (Mainwaring, 2015), ils influent sur la reproduction et la dynamique des populations, mais ils ont été largement négligés dans les pays de l'Afrique du Nord.

Les populations de cigognes blanches en Algérie sont en pleine expansion, et ceci grâce aux bonnes conditions des habitats de fourrage situées près de colonies qui contribuent à cette expansion (Moali-Grine, 2007 ; Moali-Grine *et al.*, 2012 ; Si Bachir *et al.*, 2013). Le régime alimentaire global de la Cigogne blanche est bien connu sur son aire de distribution et de reproduction (Mužinić & Rašajski, 1992 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Kosicki *et al.*, 2006). Cependant tel n'est pas le cas en Algérie, où les informations restent toujours embryonnaires et limitées à des régions au détriment d'autres. Cela rend les données d'écologie trophique, de comportement et de reproduction de cette espèce le long de son aire de distribution très utiles sur l'aspect écologique et de conservation et donc très utiles pour établir un plan de conservation à plus grande échelle.

Cette étude vise à étudier la bio-écologie de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Batna dans le Nord-est Algérien. Cette thèse dresse et discute les résultats du travail entrepris et réparti sur cinq volets différents mais complémentaires les uns des autres suivis d'une conclusion générale contenant quelques perspectives

Cette thèse est rédigée sous forme de chapitres séparés dont chacun est présenté et discuté de la même manière qu'un article scientifique rédigé sous forme IMRAD. Certains chapitres ont été déjà publiés et d'autres sont en cours. Dans chaque chapitre, la problématique a été traitée et discutée d'une manière indépendante. Chaque chapitre comprend un résumé en français, suivi d'une traduction en anglais, une introduction spécifique au chapitre, matériels et méthodes, résultats, discussion et conclusion. Comme plusieurs références bibliographiques sont communes entre les différents chapitres, une seule liste de références a été établie à la fin de la thèse afin d'éviter des répétitions et de réduire la longueur du manuscrit.

CHAPITRE 1 – Dans ce chapitre, les modalités de fréquentation des habitats d'alimentation ont été modélisées avec un MCMCglmm (modèle linéaire généralisé mixte selon la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov) qui tient en compte la complexité et les interactions de de plusieurs variables impliquées dans le processus. L'objectif de l'étude est la mise en évidence les principaux habitats d'alimentation utilisés par les Cigognes blanches au cours d'une saison de reproduction complète (2011) et de déterminer la variation des modalités d'utilisation de ces habitats au cours des différents stades de reproduction pour des colonies situées le long d'un gradient climatique comprenant un climat aride, semi-aride et subhumide. Cette étude teste si la densité des cigognes observées en gagnage est dépendante du nombre de colonies adjacentes et de la densité des populations de ces colonies. Enfin, elle investigate la variation spatiotemporelle des différentes distances parcourues pour atteindre les habitats d'alimentation.

CHAPITRE 2 – Ce chapitre traite la modélisation de la croissance des poussins pendant deux saisons de reproduction (2011–2012). Au total 17 modèles de croissance (Gompertz, logistique, Weibull, von Bertalanffy, Richards, régression asymptotique, GLM, GLMM, GAM, GAMM, etc.) ont été appliqués aux données de croissance des poussins (la longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse, l'envergure, et le poids corporel) dont l'objectif est de comparer ces modèles pour distinguer le modèle avec le meilleur ajustement pour chaque trait de croissance. Le choix du meilleur ajustement est décidé suivant le critère d'information d'Akaike (AIC). Pour chaque trait biométrique, les prédictions obtenues selon les paramètres des modèles étudiés ont été comparées les unes avec les autres afin de valider les résultats de la modélisation.

CHAPITRE 3 – Durant trois saisons de reproduction 2011–2013, ce chapitre traite la variation de productivité en poussins par nid selon le type de la structure artificielle utilisée pour la nidification (poteaux de haut voltage, poteaux de faible voltage, et antennes téléphoniques) et selon la position de nidification (centre/périphérie de l'agglomérations). L'étude teste si le succès de reproduction est dépendant de la densité de la colonie et modélise à l'aide d'un MCMCglmm les relations entre

le succès de reproduction et les paramètres du nid (longueur verticale du nid, surface du nid, distance à l'immeuble le plus proche, et la distance à la route) en combinaison avec l'année d'étude, le type de la structure et la position de nidification.

CHAPITRE 4 – Il évalue des conditions d'alimentation et les variations de la composition du régime alimentaire au cours des différents stades phénologiques de la reproduction. L'analyse des pelotes de régurgitation collectées pendant différents stades phénologiques a permis la description du spectre alimentaire de l'espèce et de quantifier la composition et la diversité des espèces-proies consommées. Ainsi, l'étude investigate à l'aide des GLMs la variation des caractéristiques du régime alimentaire (nombre d'individus-proies, nombre d'espèces-proies, plusieurs indices de diversité, ...) et catégories trophiques (ordres taxinomiques des proies) entre les stades de la reproduction. Cette approche a permis de comprendre la niche écologique de l'espèce durant les différents stades de reproduction, ainsi que les stratégies trophiques qui ont été discutées afin d'identifier les phases critiques dans l'alimentation de l'espèce en relation avec les conditions environnementales de la région.

CHAPITRE 5 – Ce chapitre est une complémentarité au chapitre précédent. Toutefois, il examine la variation de la composition et la diversité des proies dans le régime alimentaire à la fois selon un gradient climatique (climats : aride, semi-aride, et subhumide) et un gradient d'urbanisation (paysages : urbain, suburbain, et rural). L'étude discute comment les cigognes blanches maintiennent un régime alimentaire équilibré sous différentes conditions climatiques ou types de paysages en ajustant l'apport alimentaire en fonction des caractéristiques de l'alimentation (nombres, biomasses et énergétiques des proies). La biodiversité des proies dans le régime alimentaire a été déterminée pour chaque type de climat et de paysage par l'étude des aspects suivants : (i) calcul de la biodiversité 'observée', (ii) estimations de la richesse, (iii) extrapolation de la richesse, et (iv) similitudes spatiales des communautés de proies selon les deux gradients environnementaux.

Chapitre 1

“ *Modalités d'utilisation des habitats de gagnage* ”

Chapitre 1 – Modalités d'utilisation des habitats de gagnage

Résumé

Les populations de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) en Algérie sont en pleine expansion. Les bonnes conditions que constituent les habitats de fourrage situés près des colonies ont une contribution avérée dans cette expansion. L'objectif de l'étude est de caractériser la variation spatiotemporelle des fréquentations des milieux de gagnage en considérant les paramètres des colonies adjacentes. Le nombre des Cigognes blanches compté dans les différents habitats de gagnage de la région de Batna (Nord-est algérien) a été modélisé avec un modèle linéaire généralisé mixte de la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCglmm). Le modèle a inclus comme variables explicatives : les stades de reproduction, le type de climat du site de la colonie, le type de l'habitat, la distance à la colonie la plus proche, la densité cumulée des colonies dans un rayon de 5 km, la distance à la route, et la présence/absence du héron garde-bœufs. Les décharges représentent le milieu de gagnage le plus fréquenté (44–66% des fréquentations) durant chaque stade de reproduction et sous les différents climats. Les zones humides viennent en deuxième position (11.3–12.4%). Les Cigognes blanches sont observées en gagnage à une distance moyenne de 1436 ± 746 m ($n = 576$) de la colonie la plus proche. Dans les décharges, 69% des effectifs étaient observés en compagnie du Héron garde-bœufs, tandis que 46% des effectifs sont associés avec cette espèce pour l'ensemble des habitats. Le MCMCglmm a révélé que les effectifs en gagnage ne varient pas entre les climats des colonies. Toutefois, ils augmentent significativement dans les décharges, au cours de la période post-reproduction, dans les friches situées sous climat semi-aride, et avec la distance aux colonies les plus proches des décharges. La stratégie d'exploitation des milieux de fourrage dénote de l'opportunisme de l'espèce et sa large niche trophique résultante de l'utilisation des milieux où l'alimentation est la plus accessible à moindre coût énergétique, même dans des habitats aménagés comme les immondices.

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; habitat d'alimentation ; utilisation d'habitat ; écologie de fourrage ; conditions nord-africaines.

Abstract

Populations of the White Stork (*Ciconia ciconia*) in North African breeding grounds are experiencing continuous increase due to the good conditions in foraging habitats located near the colonies. This study aims to characterize the spatiotemporal variation of foraging habitat uses with considering the parameters of adjacent colonies. The number of White Storks counted in different foraging habitats in

Batna region (Northeast Algeria) was modelled using a MCMC generalized linear mixed model (MCMCglmm). The model included as explanatory variables: breeding stages, climate type of colonies, type of foraging habitats, the distance to the nearest colony, the density of colonies in a 5 km radius, the distance to the road, and the presence/absence of the cattle egret. Rubbish dumps represented the most used foraging habitat (44–66% of foraging individuals) during each reproductive stage and under different climates. Wetlands were second (11.3–12.4%). Foraging storks were observed foraging at an average distance of 1436 ± 746 m ($n = 576$) from the nearest colony. In rubbish dumps, 69% of storks were foraging in the company of Cattle Egret; whereas 46% of foraging individuals were associated with this species in all habitats. The MCMCglmm revealed that foraging individuals do not vary between climate regions of study colonies. However, they significantly increase in the dumps, during the post-reproduction period, in wasteland located in semi-arid climate, and with the distance of the nearest colony to landfills. The strategy of use of foraging habitat denotes of the opportunism of the species and its broad trophic niche resulting from the use of habitats where food is more accessible at lower energy cost, even in manmade habitats like rubbish dumps.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; foraging habitat; habitat use; foraging ecology; North African conditions.

1. Introduction

De nombreuses espèces animales sont confrontées à un changement continu du paysage dû à la transformation, la fragmentation et la dégradation des habitats naturels. L'urbanisation, la transformation de la vocation des habitats naturels en terrains agricoles, l'intensification de l'agriculture, la manipulation du réseau hydrographique sont les formes communes de la modification de l'utilisation des terres qui ont le plus d'influence sur l'écologie des êtres vivants (Johst *et al.*, 2001 ; Newbold *et al.*, 2015).

Land-use et la structure des paysages contrôlent la distribution des oiseaux (Bensizerara *et al.*, 2013) et aussi leurs activités alimentaires (Johst *et al.*, 2001 ; Catry *et al.*, 2103). Ainsi l'utilisation de milieux favorables assure une nutrition adéquate et par conséquent un succès de reproduction élevé (Tryjanowski & Kuzniak, 2002 ; Nowakowski, 2003). Parfois les oiseaux réagissent différemment pour la même forme de land-use, par exemple pour l'urbanisation, une catégorie d'oiseaux dite "urban-avoiders" est incapable de s'y installer. D'autres espèces dits "urban-adapted" sont bien adaptées à cette forme de chargement permanent de l'habitat. Tandis que d'autre espèces "urban-exploiters" peuvent avoir des densités plus élevées que les milieux ruraux (Rebolo-Ifrán *et al.*, 2015).

La structure des paysages est déterminante de la composition et la diversité des communautés aviennes d'un écosystème donné (Ambarlı & Bilgin, 2014) et aussi des

paramètres démographiques des populations (Si Bachir *et al.*, 2013 ; Janiszewski *et al.*, 2014). Même si certaines espèces aviennes ont besoin de grandes étendues du même type d'habitat pour les activités d'alimentation, la diversité des oiseaux est plus élevée dans des paysages morcelés (Michelat *et al.*, 2015). Par ailleurs, l'abandon des terres atténue l'hétérogénéité du milieu, mais aussi change la structure et la composition de la végétation, ce qui se traduit par la disparition des espèces liées aux milieux ouverts. Même si des réponses variables à l'abandon des terres sont observées pour différents taxons, la biodiversité est connue pour être liée à l'hétérogénéité de l'habitat (Otero *et al.*, 2015).

Les populations de la Cigogne blanche en Europe sont très susceptibles au déclin suite aux modifications des terres, l'intensification de l'agriculture et les variations climatiques (Carrascal *et al.*, 1993 ; Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Vaitkuvienė & Dagys, 2015). Toutefois, la situation est complètement inverse en Afrique du nord. Le nombre des populations nicheuses est en augmentation chaque année. Ceci est dû au taux élevé de la survie des jeunes "nouveaux recrutements", mais aussi à l'amélioration des conditions écologiques dans les milieux de gagnage (Moali-Grine, 2007). La composition du régime alimentaire de l'espèce est attribuée au gagnage intensif dans les décharges des zones urbaines (*cf.* Chapitre 5) ; ce qui a un effet sur le succès de la reproduction et par conséquent sur la taille de la population.

Les relations entre le régime alimentaire de la cigogne blanche et les types d'habitats de gagnage ainsi que leur disponibilité en ressources alimentaires ont reçues une attention considérable par les chercheurs (Alonso *et al.*, 1991 ; Boukhemza *et al.*, 2006 ; Sbiki & Si Bachir, 2011). Cependant, les résultats sont loin d'être conclusifs quand on inclut les variations spatiotemporelles de la production de l'habitat et les besoins nutritionnels de l'espèce. En fait, la répartition des colonies de la Cigogne blanche sur différentes régions climatiques génère différents besoins nutritionnels en raison de la productivité variable des habitats d'alimentation, cette dernière diminue avec l'augmentation de l'aridité du climat. Par conséquent, l'espèce est confrontée à un modèle dynamique variable de la disponibilité alimentaire selon une répartition spatiale des habitats d'alimentation due aux effets climatiques. En outre, les tendances temporelles de composition du régime alimentaire suggèrent que les cigognes blanches s'alimentent de façon inégale durant les différents stades de reproduction (Moritzi *et al.*, 2001 ; Chenchouni *et al.*, 2015).

Comme la Cigogne blanche est un fourrageur central qui vole sur différentes distances pour atteindre ses habitats d'alimentation adjacents pour l'approvisionnement alimentaire (Alonso *et al.*, 1994 ; Moritzi *et al.*, 2001 ; Hilgartner *et al.*, 2014), nous aimerions étudier quelles sont les variables qui contrôlent le nombre de cigognes en gagnage dans ces habitats. Cette étude vise à mettre en évidence les principaux habitats d'alimentation utilisés par les Cigognes blanches au cours d'une saison de reproduction et de déterminer les modalités d'utilisation des habitats de

gagnage au cours des différents stades de reproduction pour des colonies situées le long d'un gradient climatique comprenant un climat aride, semi-aride et subhumide.

Puisque les besoins nutritionnels de la Cigogne blanche dépendent du stade phénologique, on suppose que la Cigogne blanche utilise intensivement les milieux de gagnage les plus productifs et diversifiés en proies lorsque ces besoins sont élevés (Élevage des poussins). En même temps, il est attendu que les cigognes visitent les milieux de gagnage les plus proches des colonies afin d'économiser l'énergie, notamment en phase d'incubation des œufs et d'élevage des poussins afin d'assurer un approvisionnement en nourriture constant dans le temps et énergétiquement rentable. Mais en conditions sévères, sous climat aride par exemple, la Cigogne blanche est créée pour parcourir de longues distances pour atteindre les milieux de gagnage de bonne qualité et qui lui permettent d'acquérir la nourriture suffisante. En outre, cette étude cherche à tester si la densité des Cigognes Blanches observées en milieu de gagnage est dépendante de la densité des populations des colonies adjacentes.

2. Matériel et méthodes

2.1. Région d'étude

La wilaya de Batna est située au Nord-est de l'Algérie avec 12038,76 km² (Fig. 1). Elle représente l'ensemble physique constitué par la jonction des montagnes des deux Atlas Tellien et Saharien. Les principales entités géographiques de la région englobent : (i) les hautes plaines telliennes au Nord (altitude 800–1000 m), le siège de la céréaliculture (orge, blé dur et tendre) et de l'élevage, (ii) les chaînes montagneuses qui représentent 45% de la superficie de la wilaya (altitude 700–2319 m), domaine de la végétation forestière et buissonnante (*Pinus halepensis*, *Quercus ilex*, *Cedrus atlantica*, *Fraxinus xanthoxyloides*, *Juniperus phoenicea*, ...), et (iii) les hautes plaines steppiques à l'Ouest, représentées principalement par une végétation des parcours steppiques (*Atriplex halimus*, *Artemisia herba-alba*, *Ziziphus lotus*, *Tamarix gallica*, *Retama retam*) (Neffar *et al.*, 2016).

Le climat général de la région est méditerranéen semi-aride hiver froid avec presque quatre mois et demi (Mai–Septembre) représentant la saison sèche qui coïncide avec l'été. Le reste est considéré comme la saison humide (~7,5 mois). Mais l'effet combiné de l'étendue latitudinale (34°45'11"N, 35°55'21"N) et altitudinale (59–2319 m) et l'orographie montagneuse crée des microclimats régionaux comprenant le climat subhumide froid dominant dans les régions montagneuses, le climat semi-aride frais régnant dans les régions des hautes plaines, et le climat aride frais régnant dans les régions de basses altitudes situées au sud-ouest de la Wilaya (Chenchouni *et al.*, 2010 ; *cf.* Chapitre 5).

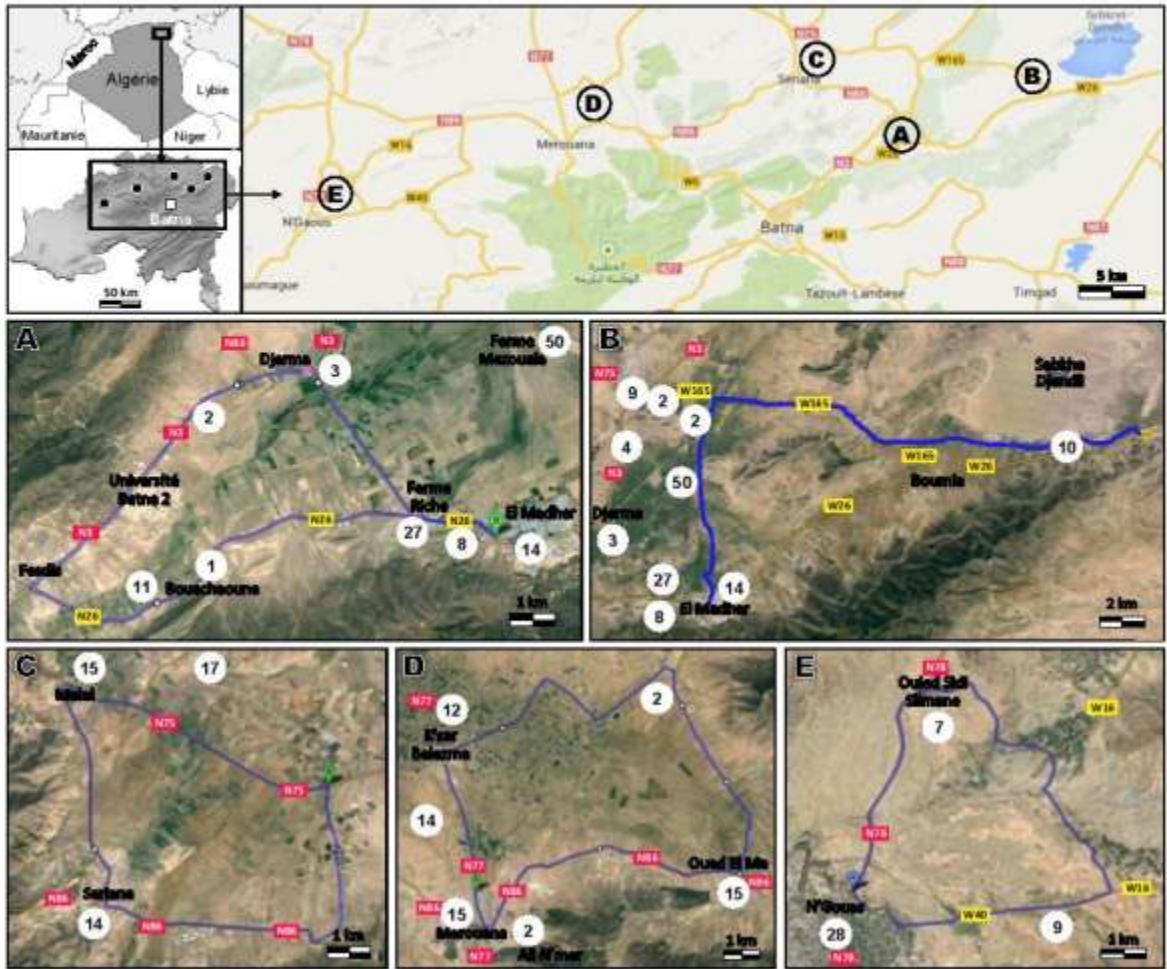


Figure 1. Présentation de la région d'étude et les trajets parcourus lors des recensements de la Cigogne blanche en milieu de gagnage par la méthode des itinéraires-transects dans la région de Batna (Nord-est Algérie). Les cercles blancs représentent la localisation et la densité des colonies.

2.2. Échantillonnage et choix des itinéraires-transects

Le suivi des Cigognes blanches dans des différents types d'habitats de fourrage a été mené périodiquement (en moyenne 9 ± 3 jours, avec un minimum de trois fois par mois) durant toute une saison de reproduction (février-juillet 2011) qui comprend les stades phénologiques suivants : (i) la pré-reproduction du début février à mi-mars, (ii) incubation de la mi-mars à mi-avril, (iii) élevage des poussins de la mi-avril à la mi-juin, et (iv) post-reproduction mi-juin jusqu'au début août (Chenchouni *et al.*, 2015).

Les milieux de fourrage et les cigognes blanches ont été échantillonnés le long de cinq itinéraires-transects (Fig. 1), représentant les trois types des régions climatiques de la région de Batna : (i) climat subhumide froid : deux itinéraires ont été parcourus pour couvrir un ensemble de 9 colonies et 106 couples nicheurs, le premier dans la région de Merouana (6 colonies, 60 couples nicheurs) avec une longueur de 28 km et le deuxième dans la région de Seriana (3 colonies, 46 couples nicheurs) avec une longueur de 23 km ; (ii) climat semi-aride frais : un total de 13 colonies (195 couples nicheurs)

ont été échantillonnées par deux parcours ; un dans la région d'El Madher (7 colonies, 66 couples nicheurs) qui s'étale sur 24 km, et l'autre sillonne sur 27 km dans la région de Madgacen (10 colonies, 129 couples nicheurs) ; et (iii) climat aride frais : un seul itinéraire-échantillon d'environ 22 km a touché la région de N'gouas (3 colonies, 44 couples reproducteurs).

Bien que l'aire de répartition des colonies de la Cigogne blanche soit dispersée sur tout le territoire de la wilaya, les transects réalisés représentent 35.6% de la totalité des colonies et près de 58.5% des couples nicheurs recensés en 2008 (Si Bachir *et al.*, 2013). En outre, les transects prospectés couvrent divers types de paysages y compris des zones à activités agricoles mettant à profit les eaux des oueds et les eaux sous terraines. Ainsi, dans les cinq régions échantillonnées, les terrains prospectés sont généralement caractérisés par de faibles reliefs sous formes de vastes plaines exploitées en grandes cultures et en élevage de bovins, d'ovins et d'aviculture.

2.3. Collecte des données

Les différents transects ont été parcourus le matin en se déplaçant à l'aide d'un véhicule roulant à vitesse modérée (40–60 km/h). La durée de chaque parcours varie selon la longueur de l'itinéraire et le nombre d'arrêts réalisés lors du comptage des Cigognes blanches observées dans les milieux de gagnage.

Pour chaque observation de gagnage, i.e. là où un groupe (≥ 1 individu) de cigognes s'alimente dans un habitat donné, les paramètres suivants ont été enregistrés :

- Date de recensement,
- Phénologie de reproduction de la Cigogne blanche (4 stages),
- Région du transect (5 transects),
- Type du climat (3 climats),
- Nombre d'individus de la Cigogne blanche en gagnage,
- Type du milieu de gagnage (six types : champs de céréales, cultures irriguées, zones humides, décharges, prairies, friches), (Tableau 1)
- Altitude (m),
- Surface du milieu de gagnage utilisé par le groupe de cigognes blanches (ha),
- Fréquence de gagnage (Nombre de cigognes blanches / surface),
- Distance du groupe de cigognes blanches par rapport à la route la plus proche (± 10 m),
- Présence du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) "HGB" (présence/absence),
- Distance du groupe fourrageur de cigognes blanches par rapport à la colonie de cigognes blanches la plus proche (± 100 m),
- Nombre de colonies de cigognes blanches environnantes dans un rayon de 5 km,
- Taille des populations de cigognes blanches (couples) de toutes les colonies environnantes dans un rayon de 5 km.

Tableau 1. Description et typologies des habitats de gagnage de la Cigogne blanche dans la région de Batna (Nord-est algérien).

Habitat	Description et typologies
Champs de céréalicultures :	Champs de cultures non-irriguées de céréales pendant les premiers stades de croissance, y compris les champs labourés ou fauchés et les terres en jachère. Les céréales cultivées incluent l'orge (<i>Hordeum vulgare</i>), blé dur (<i>Triticum durum</i>) et blé tendre (<i>T. aestivum</i>)
Cultures irriguées:	Cultures basses irriguées de légumes et de plantations fourragères du bétail, e.g. luzerne (<i>Medicago sativa</i>), <i>Sorgho</i> sp., etc.
Zones humides :	Bords des lacs, étangs temporaires, des petites étendues d'eau et des débits d'eau, y compris les lits d'oueds et cours d'eau peu profonds.
Friches :	Terrains de parcours et pâturages secs qui sont généralement caractérisés par des plantes herbacées vivaces ayant un couvert végétal clairsemé-permanent dominé par <i>Artemisia herba-alba</i> , <i>Atriplex halimus</i> , ...
Prairies :	Pelouses et prairies humides ayant une végétation permanente poussant aux déversoirs des eaux usées, y compris les zones inondées temporairement et occupées par la végétation après la saison des pluies.
Décharges :	Décharges d'ordures domestiques (contrôlées ou non contrôlées), poubelles des abattoirs et les déchets organiques issus de l'aviculture en particuliers et les autres élevages d'animaux.

2.4. Analyses statistiques

Dans chaque type de climat, le test de Chi² de Pearson (χ^2) a été appliqué afin de tester la dépendance du nombre de cas d'observations de gagnage des cigognes suivant deux facteurs : les types des habitats étudiés et les stades phénologiques de reproduction. En outre, le nombre d'individus de cigognes blanches observés en gagnage est testé pour d'éventuelles différences significatives à l'aide des tests de Chi² entre les trois zones bioclimatiques et les distances par rapport à la colonie la plus proche. Durant les calculs des tables de contingence, les pourcentages des effectifs de la Cigogne blanche ont été utilisés pour chaque type de climat et durant chaque stade phénologique.

Après vérification de la normalité des données avec le test de Shapiro-Wilk, une ANOVA à deux facteurs de classification a été appliquée pour tester la signification de la variation des distances des groupes de cigognes blanches observés en gagnage en fonction des types de climats des colonies étudiées, phénologies de reproduction et leur interaction. Lorsque le test ANOVA est positif ($P < 0,05$), la comparaison multiple des moyennes (Post hoc test de Tukey) a été utilisée pour distinguer les groupes homogènes de climats ou de phénologies selon la distance à la colonie la plus proche.

Puisque les observations des groupes de la Cigogne blanche en gagnage le long des cinq itinéraires ont été faites de façon régulière dans le temps, celles-ci ont été considérées comme des pseudo-répliques et le facteur 'itinéraire' est dans ce cas un effet aléatoire "random effect" (Bolker *et al.*, 2009). Ainsi, les variations du nombre de cigognes blanches en gagnage en fonction des régions climatiques (ψ), phases phénologiques de reproduction (ϕ), types des habitats fréquentés

(ξ), surface de la parcelle de ces habitats (γ), distance du groupe de cigognes blanches par rapport à la route la plus proche (η), présence de *Bubulcus ibis* (θ), la distance de la colonie la plus proche au groupe de cigognes blanches observé (τ), le nombre de colonies dans un rayon de 5 km (λ) et la densité cumulée de toutes ces colonies (κ), ont été étudiés simultanément à l'aide d'un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM). Plusieurs modèles ont été testés en impliquant les facteurs étudiés (ψ , ϕ , ξ , γ , η , θ , τ , λ , κ) soit par des effets interactifs dénotés par des signes de multiplications (\times) soit un effet additif dénoté par un symbole plus (+).

Nous avons utilisé le critère d'information de déviance (deviance information criterion : DIC) pour sélectionner le modèle avec le meilleur ajustement. Le modèle avec la plus faible valeur de DIC est sélectionné comme le modèle le mieux ajusté. Le DIC est une généralisation de la modélisation hiérarchique de l'AIC (critère d'information d'Akaike) et BIC (critère d'information bayésien). Il est particulièrement utile dans les problèmes liés à la sélection des modèles bayésiens où les distributions postérieures des modèles ont été obtenues par la simulation Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMC) (Spiegelhalter *et al.*, 2014). Pour le classement des modèles, nous rapportons la différence entre le modèle le mieux ajusté et les autres modèles candidats (Δ DIC) ainsi que le nombre de paramètres de chaque modèle.

Parce que nos données comprenaient seulement la présence "abondance" des groupes de la Cigogne blanche en gagnage, c.-à-d. présence seulement de type "Poisson", nous avons utilisé le package `{MCMCglmm}` (Hadfield, 2010), qui est un GLMM qui convient variable de type Poisson zéro tronqué la famille d'erreur "ztpoisson". Le MCMCglmm correspond au Markov Chain Monte Carlo Sampler pour les GLMM multivariés avec un accent particulier sur les effets aléatoires corrélés. Le modèle est basé sur la bayésienne Markov Chain Monte Carlo (MCMC) au lieu du maximum de vraisemblance restreinte "MVR" (restricted maximum likelihood "REML") (Hadfield, 2010; Hadfield & Nakagawa, 2010). Les graphes ont été dessinés en utilisant le package `{ggplot2}` (Chang, 2013). Les packages `MCMCglmm` et `ggplot2` fonctionnent sous le logiciel statistique R (R Core Team, 2016).

3. Résultats

3.1. Exploitation des milieux de gagnage

Un total de 576 observations de gagnage de la Cigogne blanche a été enregistré dans l'ensemble des colonies étudiées, avec un total de 217 observations dans les colonies situées sous le climat subhumide, 236 observations pour les colonies du climat semi-aride et 123 observations en colonie du climat aride. Le nombre de cas de gagnages de la Cigogne blanche suit des tendances similaires sous climat aride et semi-aride où les observations étaient plus fréquentes en période d'élevage des poussins. En climat subhumide et dans l'ensemble de la région d'étude, c'est pendant la période de post-reproduction que le maximum d'observation a eu lieu, notamment dans les céréalicultures ($n = 110$ observations) et les friches ($n = 109$). Sous différents climats, et hors

les périodes susmentionnées, les observations de la cigogne blanche sont assez semblables dans les habitats d'alimentation. En climat aride, les cigognes sont fréquemment observées dans les zones humides suivies ($n = 36$) des immondices ($n = 24$). Tandis qu'en climat semi-aride, les observations de gagnage sont plus abondantes dans les prairies ($n = 62$) et les friches ($n = 51$). Sous des conditions subhumides, le nombre d'observations était élevé dans les champs de céréales ($n = 52$) et réduit en zones humides ($n = 23$), alors qu'il était assez similaire dans le reste des habitats de gagnage (Fig. 2). Selon les tests du χ^2 ($ddl = 15$), aucune dépendance ($P > 0.05$) du nombre des cas de gagnage n'est observée entre les habitats surveillés et les stades de reproduction, et ce sous les différents climats et pour la région d'étude en général.

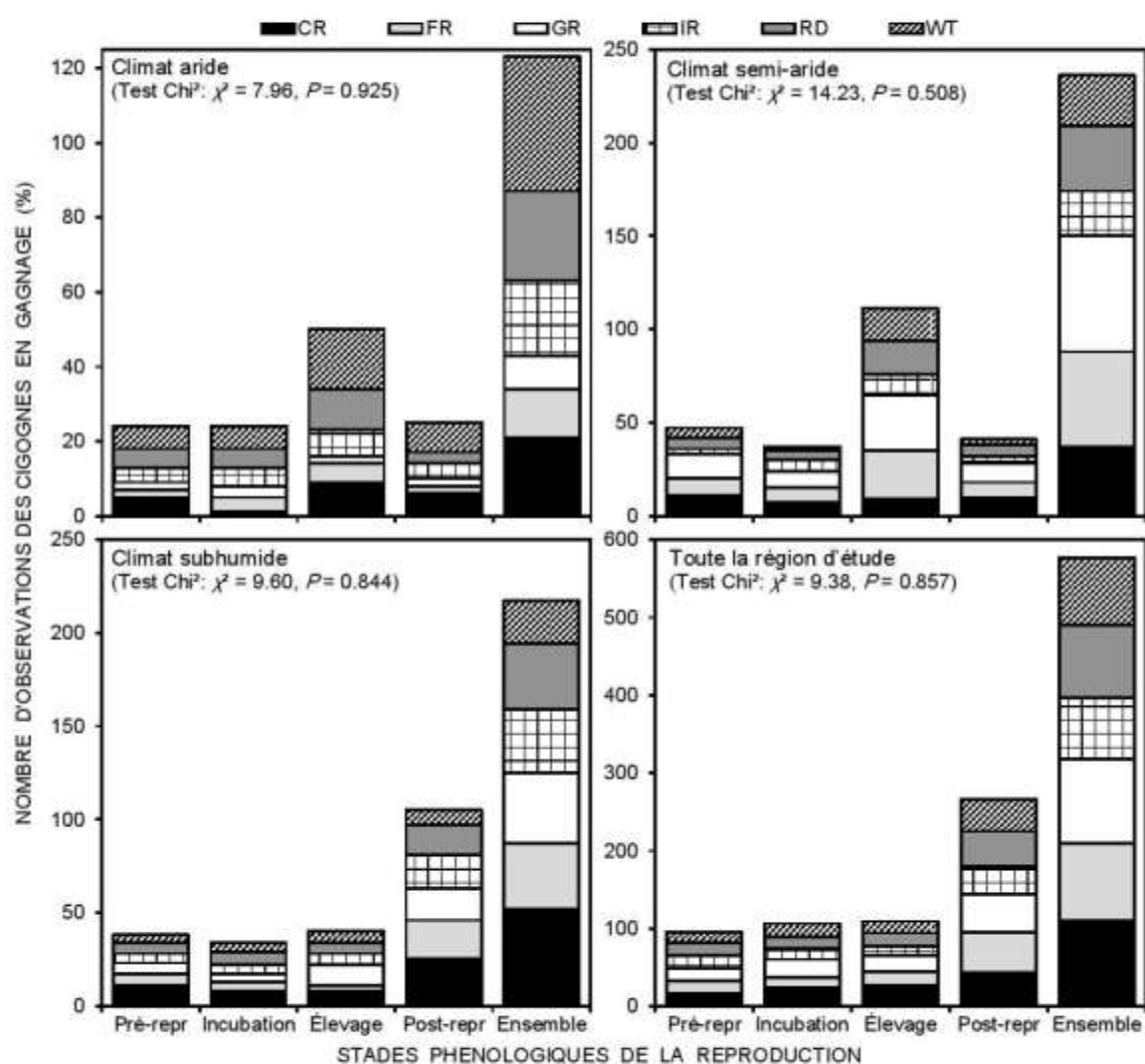


Figure 2. Nombre d'observation des Cigognes Blanches en gagnage dans les différents milieu de gagnage suivant les stades phénologiques de reproduction et selon les régions climatiques dans la wilaya de Batna (Nord-est algérien). (CR : champs de céréalicultures, IR : cultures irriguées, WT : zones humides, RD : décharges, GR : prairies, FR : friches)

3.2. Patterns des fréquentations des milieux d'alimentation

Sur les 576 observations de la Cigogne blanche en gagnage dans la région de Batna, la Cigogne blanche fréquente les milieux d'alimentation selon des modalités assez similaires entre les régions climatiques étudiées. Les différents habitats de gagnages sont regroupés en six catégories : les champs de céréalicultures, les cultures irriguées, les zones humides, les décharges, les prairies, et les friches (Tableau 1). Les taux de fréquentation de chacun de ces types de gagnage calculé suivant les différentes saisons phénologiques de l'espèce sont arrangés par type de climats (Fig. 3). Sous différents types de climats locaux ainsi dans toute la région d'étude en général, les décharges des ordures ménagères représentent le type de gagnage le plus fréquenté par l'espèce au cours de chaque stade phénologique de reproduction. En fait, les taux de fréquentation varient entre 42 et 61% en climat aride, entre 39 et 67% au semi-aride, entre 53 et 69% en subhumide, et entre 44 et 66% dans l'ensemble de la zone d'étude. Dans ces différentes régions climatiques, c'est au cours de la phase d'élevage des poussins que les fréquentations marquent les chiffres les plus élevés, et pendant la phase de pré-reproduction qu'elles enregistrent les valeurs basses.

Sur l'ensemble du cycle de reproduction, et dans chaque région climatique, les zones humides viennent en deuxième position pour accueillir les effectifs des Cigognes blanches avec des taux de fréquentations variant de 11,3 à 12,4% pour la région en général. Les zones humides connaissent une fréquentation un peu plus élevée en stade de pré-reproduction par rapport aux autres stades, étant donné que cette phase coïncide avec la fin de la saison hivernale durant laquelle les pluies alimentent les lacs, les étangs et les oueds. Elles sont suivies par les cultures irriguées, les friches, les champs de céréalicultures, et enfin les prairies où les taux de fréquentation étaient le plus faibles surtout sous climats semi-aride et aride. Dans ce dernier, la fréquentation des zones humides était assez régulière au cours des phases phénologiques de la reproduction (Fig. 3).

La fréquentation des champs de céréalicultures est dépendante de leur suitability dans le temps. Ainsi, le taux de fréquentation de ces milieux est le plus important en période de pré-reproduction durant laquelle ces milieux sont soit en labour soit la végétation cultivée est de basse hauteur (*e.g.* levée et tallage pour le blé ou orge) ; ce qui permet à l'échassier d'exercer aisément ses activités de chasse. De même que pour les champs de céréales, la fréquentation des cultures irriguées est également liée à la disponibilité et à l'accessibilité de ces milieux en fonction du temps. Mais c'est surtout au cours de la phase de post-reproduction que les fréquentations de ces milieux sont plus importantes. En fait, l'agriculture dans ces milieux se développe abondamment en printemps et en été. Dans la wilaya de Batna, l'exploitation de ce type d'habitat par la Cigogne blanche varient entre 8,5 à 14% (Fig. 3).

Les tests de Chi² indiquent que les taux de fréquentation enregistrés sous climat aride sont indépendants entre les stades phénologiques et les types d'habitats de gagnage ($\chi^2_{15} = 22,3$,

$P = 0,101$). Tandis qu'en climats semi-aride ($\chi^2_{15} = 52,5$, $P < 0,001$) et subhumide ($\chi^2_{15} = 29,7$, $P = 0,013$) le test de χ^2 montre une dépendance entre les deux facteurs. De même, la variation des taux de fréquentations des différents habitats de gagnage est dépendante des phases phénologiques de reproduction ($\chi^2_{15} = 70,0$, $P < 0,001$).

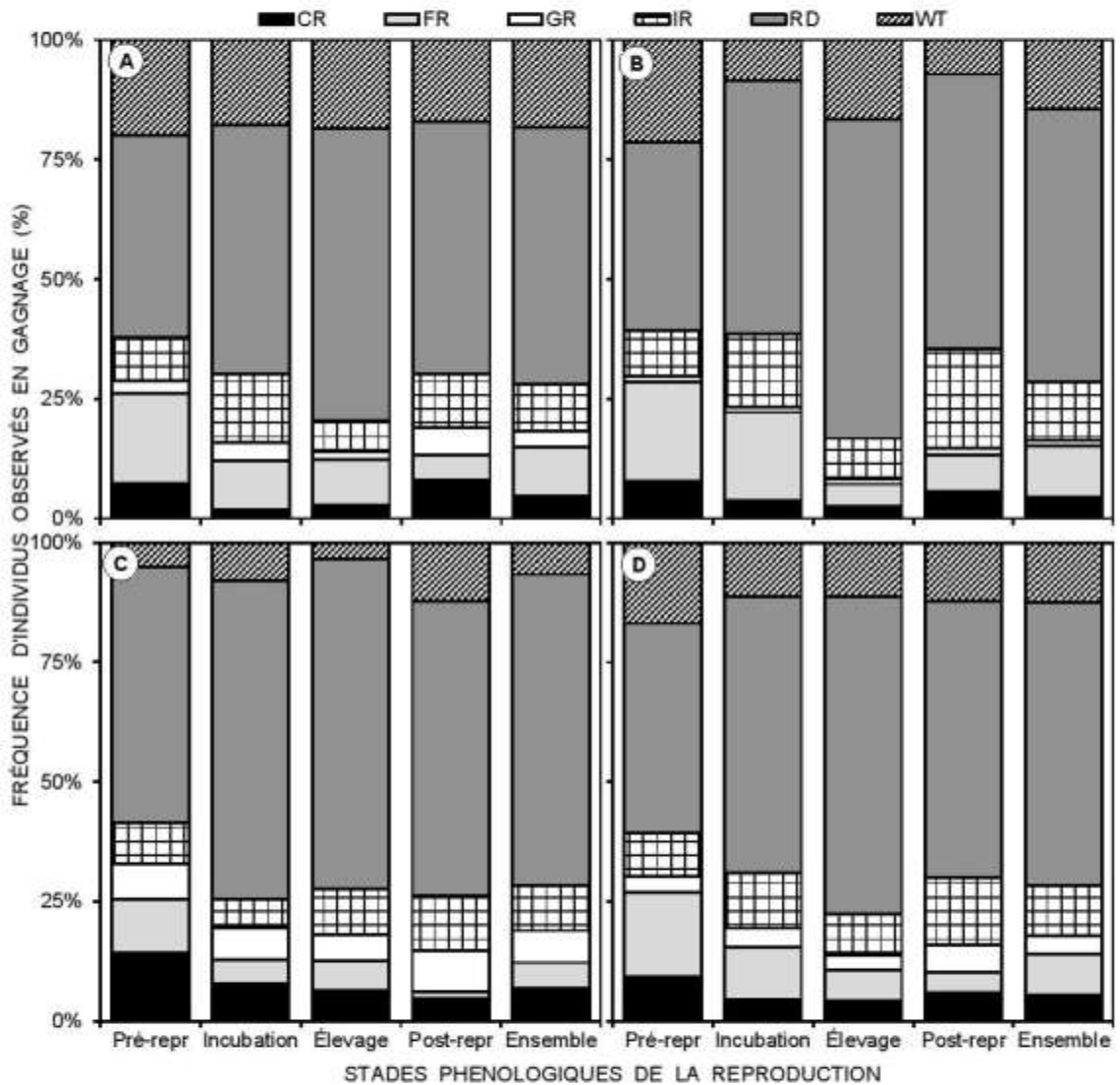


Figure 3. Taux de fréquentation des différents milieux de gagnage suivant les stades phénologiques de reproduction de la Cigogne blanche en climat aride (A), semi-aride (B), subhumide (C), et dans toute la région d'étude (D) à Batna (Nord-est algérien).

(CR : champs de céréalicultures, IR : cultures irriguées, WT : zones humides, RD : décharges, GR : prairies, FR : friches)

3.3. Association avec le héron garde-bœufs en milieux d'alimentation

Dans les différents milieux de gagnage surveillés, les cigognes blanches sont observées en association avec le héron garde-bœufs (HGB). Pour l'ensemble de la région d'étude, au total 46% des effectifs de la cigogne blanche étaient observés en compagnie de HGB, ceci est noté principalement dans les décharges dont 69% des effectifs étaient associés avec le HGB. Les friches et les champs de céréales recevaient moins de cigognes associées avec les HGB, avec respectivement 2% et 6%. Aucune association avec des cigognes le HGB n'est observée dans les champs cultivés en stade d'élevage des poussins, en climats aride et subhumide, dans les friches en phase de pré-reproduction et en climats aride, ainsi que dans les terres irriguées en climat subhumide (Fig. 4).

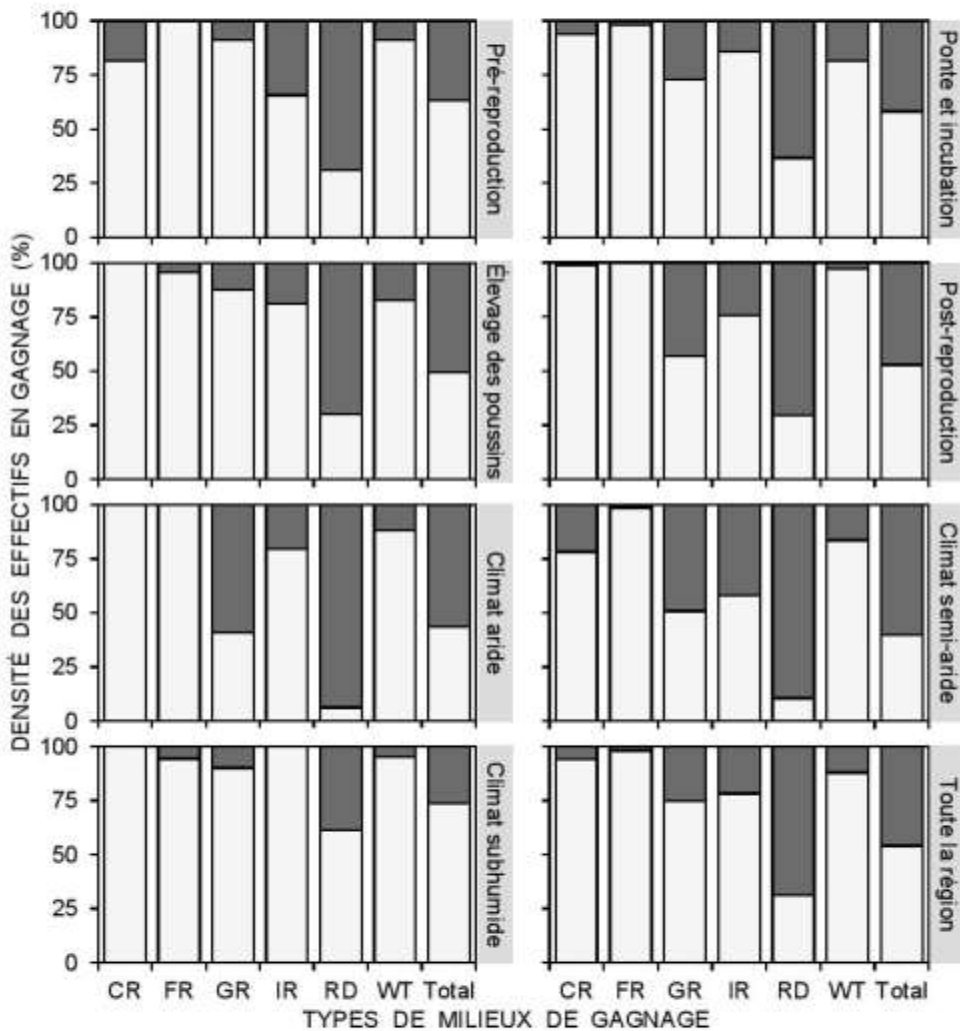


Figure 4. Densité des effectifs de la Cigogne blanche fréquentant différents milieux de gagnage en association avec le Héron garde-bœufs *Bubulcus ibis* (Gris claire : aucune association, gris foncé : association observée en gagnage) suivant les stades phénologiques et les étages climatiques dans la région de Batna (Nord-est algérien).

(CR : champs de céréales, IR : cultures irriguées, WT : zones humides, RD : décharges, GR : prairies, FR : friches)

Au cours des différents stades de reproduction et dans les différentes régions climatiques, les immondices étaient les habitats de gagnage qui recevaient les effectifs les plus abondants de la Cigogne blanche associés avec le HGB, ceci est plus marqué sous climat aride et semi-aride, avec 94% et 90% des individus en compagnie des HGB. Il est à noter que ce type de milieu est fréquenté aussi par d'autres espèces aviennes, notamment le Grand Corbeau (*Corvus corax*), les Moineaux (*Passer sp.*), le Pigeon Biset (*Columba livia*), l'Étourneau Sansonnet (*Sturnus vulgaris*). Mais la Cigogne blanche établit un comportement territorial vis-à-vis de ces espèces dans les milieux de gagnage.

Dans les prairies et les terres irriguées, les effectifs de cigognes blanches associés avec les HGB sont plus importants durant les périodes pré- et post-reproduction sous climat aride et semi-aride. Dans les champs des céréales, le taux d'association le plus important entre les deux espèces est noté en période pré-reproductrice (18%) qui coïncide avec la disponibilité/suitabilité de cet habitat, et en climat semi-aride (22%) où les terres de céréaliculture sont abondantes dans les hautes plaines semi-arides. Dans ces milieux durant le stade de pré-reproduction qui coïncide avec la période des labours, les Cigognes blanches sont souvent associées aux tracteurs à charrues remuant le sol.

3.4. Distances de gagnage

En moyenne, les Cigognes blanche sont observées en gagnage à une distance de 1436 ± 746 m par rapport à la colonie la plus proche. La distance la plus courte des groupes de cigognes blanches est enregistrée au cours de la période de la pré-reproduction en climat semi-aride (956 ± 758 m). Tandis que la distance de gagnage la plus longue est notée au cours de la période de la post-reproduction et en climat aride avec 1912 ± 695 m (Tableau 2).

Quant à la distribution des abondances des cigognes blanches suivant les distances entre le lieu de gagnage et la colonie la plus proche, il est clair qu'il y a une modalité assez similaire entre les stades de reproduction suivant les régions climatiques. Apparemment, la Cigogne blanche parcourt la même distance afin de parvenir à ses habitats de gagnage habituels dans chaque région climatique, et elle garde ce comportement d'alimentation durant toute la saison de reproduction. Quel que soit la phase phénologique, les cigognes observées étaient plus abondantes sur une distance variant de 1,5 à 1,8 km en climat aride avec 55% des effectifs totaux recensés dans cette région, et une distance de 1,8 à 2,1 km en climat subhumide avec 73% du total dénombré. Sous climat semi-aride, la Cigogne blanche était en général plus abondante à 2,4–2,7 km de la colonie la plus proche, mais en période pré-reproductrice, elle était plus abondante sur une distance de 0,3–0,6 km. Au de-là de 2,7 km de la colonie, les cigognes deviennent rares dans les milieux de gagnage, sauf en climat aride, où elles ont été observées à plus de 3 km avec un taux ~5% du total des individus de cette région (Fig. 5). Les tests de χ^2 appliqués pour chaque stade de reproduction révèlent une variation hautement significative ($P < 0,0001$) du nombre d'individus observés en gagnage suivant les classes de la distance à la colonie et les régions climatiques.

Tableau 2. Distance moyenne \pm écart-type (en m) de la localisation des groupes des cigognes blanches observés en gagnage par rapport à la colonie la plus proche en fonction des stades phénologiques de reproduction et des régions climatiques dans la région de Batna (Nord-est algérien). Les lettres minuscules en exposant indiquent les différences entre les étages bioclimatiques, alors que les lettres en majuscules, entre les stades phénologiques. Les valeurs avec les mêmes lettres sont significativement non différentes selon le test des contrastes de Tukey

Phénologie de reproduction	Zone bioclimatique des colonies			
	Aride	Semi-aride	Subhumide	Toute la région
Pré-reproduction	1743 \pm 822 (n = 24)	956 \pm 758 (n = 47)	1636 \pm 426 (n = 38)	1366 \pm 762 ^A (n = 109)
Ponte et couvaision	1635 \pm 829 (n = 24)	1022 \pm 760 (n = 37)	1766 \pm 566 (n = 34)	1443 \pm 787 ^A (n = 95)
Élevage des poussins	1906 \pm 726 (n = 50)	1128 \pm 760 (n = 111)	1533 \pm 607 (n = 105)	1434 \pm 753 ^A (n = 266)
Post-reproduction	1912 \pm 695 (n = 25)	1198 \pm 696 (n = 41)	1573 \pm 475 (n = 40)	1507 \pm 676 ^A (n = 106)
Toute la saison	1823 \pm 759 ^c (n = 123)	1089 \pm 749 ^a (n = 236)	1595 \pm 552 ^b (n = 217)	1436 \pm 746 (n = 576)

Le test two-way ANOVA a révélé une différence très hautement significative entre les trois régions climatiques pour la distance du groupe de la Cigogne blanche en gagnage par rapport à la colonie la plus proche ($F_{(2;564)} = 55,57$; $P < 0,0001$). Toutefois, la variation de cette variable a été démontrée non significative entre les stades phénologiques de la reproduction ($F_{(3;564)} = 0,53$; $P = 0,660$) et aussi pour l'interaction des deux facteurs 'Climat \times Phénologie' ($F_{(6;564)} = 1,40$; $P = 0,212$). Selon le test post hoc de Tukey, les vols de gagnage étaient significativement plus longs dans les colonies situées en climat aride (distance = 1823 \pm 759 m, n = 123) que dans les colonies en climat subhumide (1595 \pm 552 m, n = 217) et en climat semi-aride qui était significativement les plus courts (1089 \pm 749 m, n = 236).

3.5. Modalisation des fréquentations des habitats de gagnage

L'intégration de toutes les variables explicatives des densités des cigognes blanches observées en gagnage dans un MCMCgmm a fait ressortir plusieurs modèles candidats avec un nombre variable de paramètres. Le modèle MCMCgmm le mieux ajusté (DIC = 1589,7) comprend un total de 39 paramètres (Tableau 3). Ce modèle inclut les interactions suivantes : Climat \times stade de reproduction, climat \times habitats fréquentés, habitats fréquentés \times distance de la colonie la plus proche, et nombre de colonies adjacentes \times la densité totale de ces colonies.

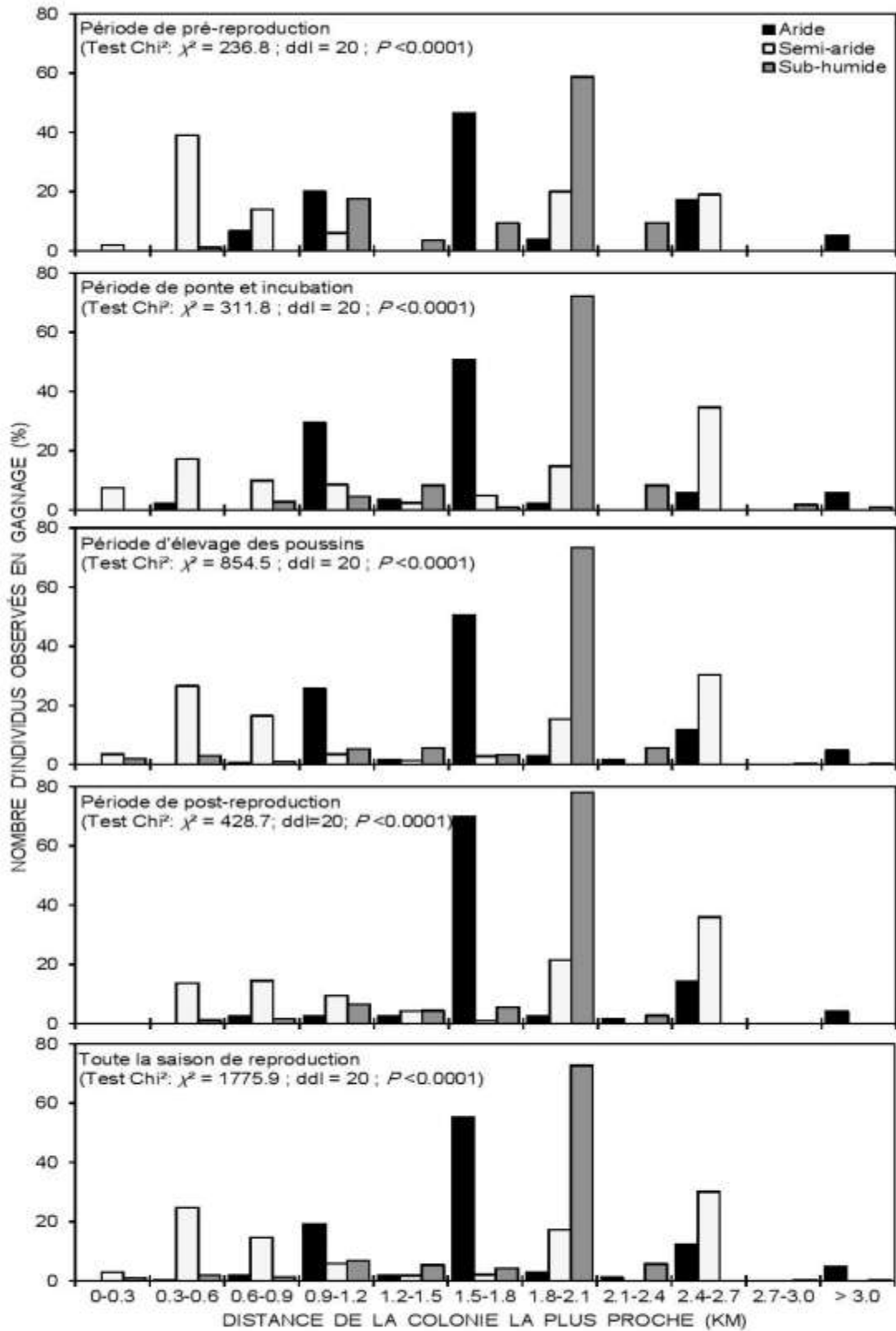


Figure 5. Distribution des groupes de la Cigogne blanche observés en gagnage dans les trois étages bioclimatiques étudiés en fonction de la distance à la colonie la plus proche au cours des différents stades phénologiques de reproduction dans la région de Batna.

Tableau 3. Modélisation de l'effet du climat (ψ), stade de reproduction (ϕ), types d'habitat fréquenté (ξ), surface de la parcelle de l'habitats (γ), distance des Cigognes blanches en gagnage par rapport à la route (η), présence du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) (θ), distance entre les Cigognes blanches en gagnage et la colonie la plus proche (τ), le nombre de colonies adjacentes (λ) et la densité cumulée de ces colonies (κ) sur la variation du nombre de la Cigogne blanche en gagnage dans la région de Batna (Nord-est algérien)

Les modèles MCMCgmm	DIC	Δ DIC	Nombre de paramètres
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\lambda \times \kappa)$	1589,7	0	39
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\xi \times \lambda) + (\xi \times \kappa)$	1591,3	1,6	48
$\psi + \phi + \gamma + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\xi \times \lambda) + (\xi \times \kappa)$	1591,4	1,7	32
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + (\phi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1592,7	3,0	48
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1593,2	3,5	33
$(\psi \times \xi) + \phi + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1597,7	8,0	27
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + (\phi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\xi \times \lambda) + (\psi \times \kappa)$	1597,8	8,1	60
$(\psi \times \phi) + (\psi \times \xi) + (\phi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\xi \times \lambda) + (\xi \times \kappa)$	1599,1	9,4	63
$(\psi \times \phi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1603,0	13,3	78
$(\psi \times \phi \times \xi) + (\xi \times \gamma) + \eta + \theta + (\xi \times \tau) + (\xi \times \lambda) + (\psi \times \lambda) + (\psi \times \kappa)$	1609,3	19,6	97
$\psi + \phi + \xi + \gamma + \eta + \theta + \tau + (\lambda \times \kappa)$	1618,0	28,3	18
$\psi + \phi + \xi + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1625,2	35,5	17
$(\psi \times \phi) + \xi + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1625,6	35,9	23
$\psi + (\phi \times \xi) + \gamma + \eta + \theta + \tau + \lambda + \kappa$	1628,5	38,8	32

(DIC : deviance information criterion, Δ DIC : différence entre le meilleur MCMCgmm ajusté et les autres modèles candidats)

D'après les paramètres du modèle linéaire généralisé mixte établi suivant la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov "MCMCgmm" et qui a le meilleur ajustement de DIC (Tableau 4), le nombre des Cigognes blanches observées en gagnage ne semble pas être lié à un climat donné du site des colonies étudiées. Toutefois, les effectifs des cigognes sont positivement liés aux friches situées sous climat semi-aride ($P = 0,008$) (Fig. 6). De même, le nombre d'effectifs observés augmente significativement au cours de la période post-reproduction ($P < 0,001$) et dans les décharges ($P = 0,020$). Le reste des paramètres (surface de l'habitat, distance à la route, τ , λ , et κ), n'a pas d'effet significatif sur la variation du nombre des cigognes en gagnage. De même, le nombre des cigognes observées en gagnage dans un habitat donné, n'est pas affecté par la présence ou absence des HGB dans ce même habitat (Tableau 4). En effet, la variation des effectifs dénombrés des cigognes en gagnage sur les différents milieux est assez stable (tendance suit une courbe horizontale) en fonction de la surface de l'habitat en question, la distance à la route, le nombre de colonies adjacentes, et la densité cumulée de ces colonies

(Fig. 7). Quant à la relation du point d'observation des cigognes en gagnage vis-à-vis de la distance de la colonie la plus proche (Fig. 8), le MCMCglmm a révélé que le nombre d'individus observés augmente significativement avec la distance aux colonies les plus proches des décharges ($P = 0,002$), tandis que le reste des habitats en interaction avec la distance aux colonies proches n'a aucun effet sur la variation des effectifs en gagnage (Tableau 4).

Tableau 4. Paramètres du modèle linéaire généralisé mixte selon la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCglmm) avec le meilleur ajustement (DIC = 1589,7) testant la variation des effectifs de la Cigogne blanche fourrageant dans différents milieux de gagnage, dans trois types de climats et durant les quatre stades phénologiques de reproduction dans la région de Batna (Nord-est algérien). (N = 576 observations)

Paramètres	post.mean	l-95%CI	u-95%CI	eff.samp	P	Sig.
Intercept	-0,64	-1,48	0,35	16,16	0,338	ns
Semi-aride	-0,24	-1,21	0,68	23,66	0,700	ns
Subhumide	-0,21	-1,07	0,53	24,55	0,812	ns
Pré-reproduction	-0,13	-0,53	0,22	60,45	0,524	ns
Élevage des poussins	-0,09	-0,42	0,18	108,77	0,546	ns
Post-reproduction	0,66	0,35	0,97	48,72	<0,001	***
Friches	-0,85	-1,96	0,56	20,80	0,164	ns
Prairies	0,56	-0,89	1,63	25,90	0,386	ns
Cultures irriguées	0,50	-0,99	1,85	17,40	0,354	ns
Décharges	1,60	0,49	2,53	16,78	0,020	*
Zones humides	0,48	-1,16	2,12	25,20	0,558	ns
Surface de l'habitat	0,00	-0,01	0,01	55,69	0,888	ns
Distance à la route	0,00	0,00	0,00	57,21	0,198	ns
Association avec <i>B. ibis</i>	0,12	-0,10	0,29	33,30	0,264	ns
τ	0,00	0,00	0,00	14,44	0,810	ns
λ	0,09	-0,07	0,20	57,53	0,220	ns
κ	0,01	-0,01	0,03	29,07	0,212	ns
Semi-aride × Pré-reproduction	0,16	-0,41	0,62	74,68	0,456	ns
Subhumide × Pré-reproduction	-0,21	-0,78	0,33	23,70	0,520	ns
Semi-aride × Élevage	0,27	-0,19	0,62	95,25	0,210	ns
Subhumide × Élevage	0,34	-0,05	0,79	42,01	0,068	ns
Semi-aride × Post-reproduction	-0,21	-0,60	0,31	93,43	0,324	ns
Subhumide × Post-reproduction	-0,10	-0,61	0,35	30,40	0,732	ns
Semi-aride × Friches	1,75	0,62	2,96	35,47	0,008	**
Subhumide × Friches	0,86	-0,40	1,98	21,18	0,150	ns
Semi-aride × Prairies	0,20	-0,73	1,60	19,08	0,910	ns
Subhumide × Prairies	0,03	-1,01	1,34	10,54	0,966	ns
Semi-aride × Cultures irriguées	-0,06	-1,11	1,30	29,49	0,808	ns
Subhumide × Cultures irriguées	-0,28	-1,19	1,13	13,80	0,652	ns

Semi-aride × Décharges	-0,48	-1,23	0,80	14,89	0,370	ns
Subhumide × Décharges	-0,03	-0,80	0,74	31,06	0,814	ns
Semi-aride × Zones humides	0,08	-1,31	1,38	15,77	0,926	ns
Subhumide × Zones humides	0,66	-0,31	1,67	26,08	0,286	ns
Friches × τ	0,00	0,00	0,00	28,12	0,962	ns
Prairies × τ	0,00	0,00	0,00	18,88	0,872	ns
Cultures irriguées × τ	0,00	0,00	0,00	11,84	0,688	ns
Décharges × τ	0,00	0,00	0,00	19,36	0,002	**
Zones humides × τ	0,00	0,00	0,00	28,77	0,842	ns
$\lambda \times \kappa$	0,00	-0,01	0,00	34,63	0,100	ns

(post.mean : moyenne de la distribution postérieure, l-95%CI : borne inférieure de 95% d'intervalle de confiance, u-95%CI : borne supérieure de 95% d'intervalle de confiance, eff.samp : échantillonnage effectif, P : probabilité de MCMCglmm, τ : distance de la colonie la plus proche, λ : nombre de colonies adjacentes dans un rayon de 5 km, κ : densité cumulée des colonies adjacentes dans un rayon de 5 km, Sig. : codes de signification ; *** : $P < 0,001$, ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, ns : $P > 0,05$)

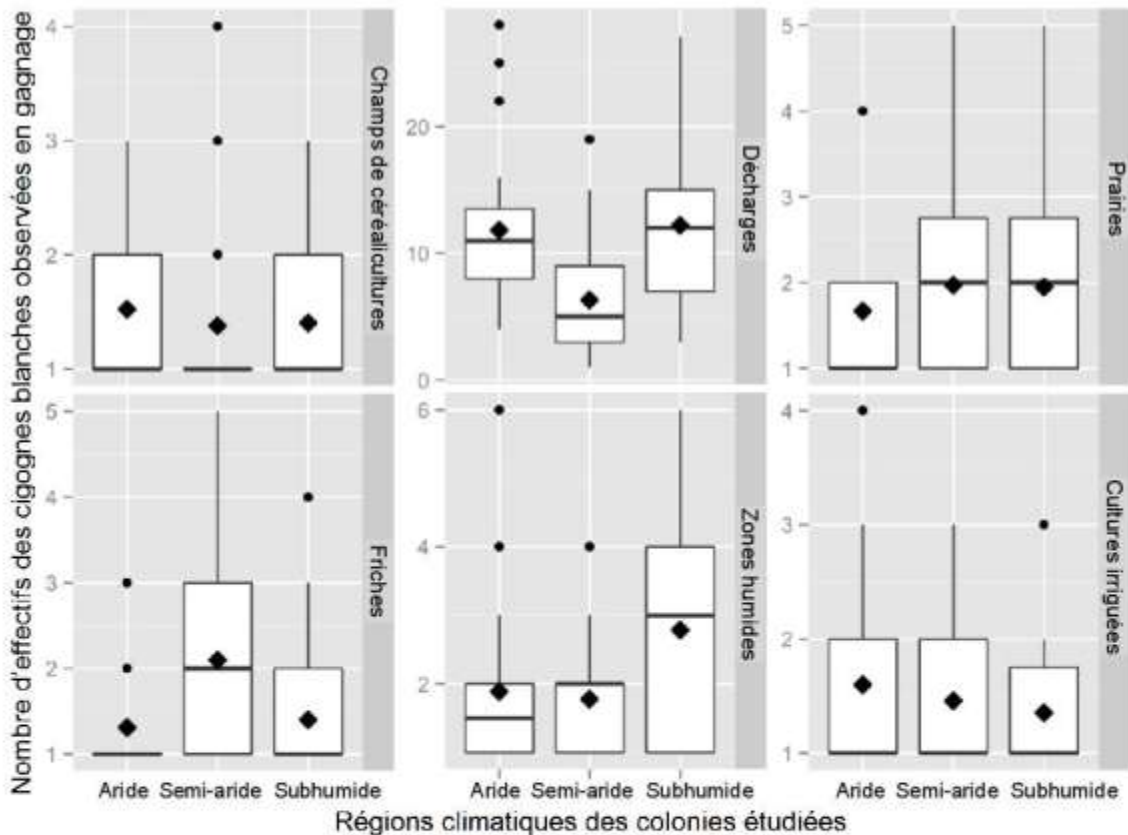


Figure 6. Box plots représentant la variation du nombre d'individus de cigognes blanches dans les différents habitats de gagnage situés en trois types de climats régionaux dans la région de Batna. Les losanges noirs indiquent la moyenne, tandis que les cercles sont des points aberrants.

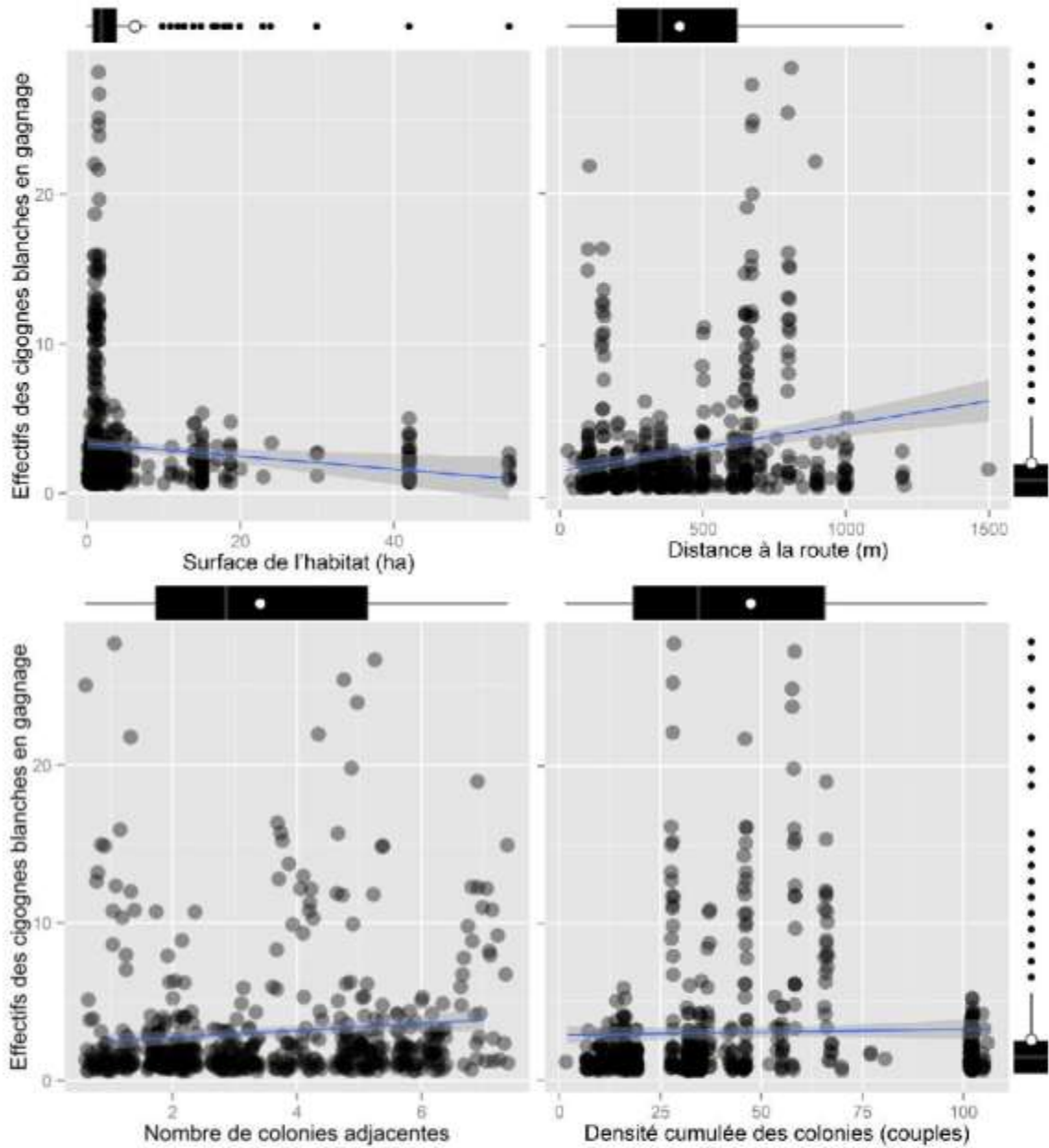


Figure 7. Variation du nombre d'individus des Cigognes blanches observées en gagnage suivant la surface de l'habitat, la distance à la route, le nombre de colonies adjacentes, et la densité cumulée des colonies dans la région de Batna (Nord-est algérien).

Les lignes représentent la régression linéaire suivant un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec 95% de la région de confiance en gris clair. Les box plots horizontaux et latéraux décrivent la distribution des données dont le cercle blanc est la moyenne arithmétique et les cercles noirs représentent des points aberrants.

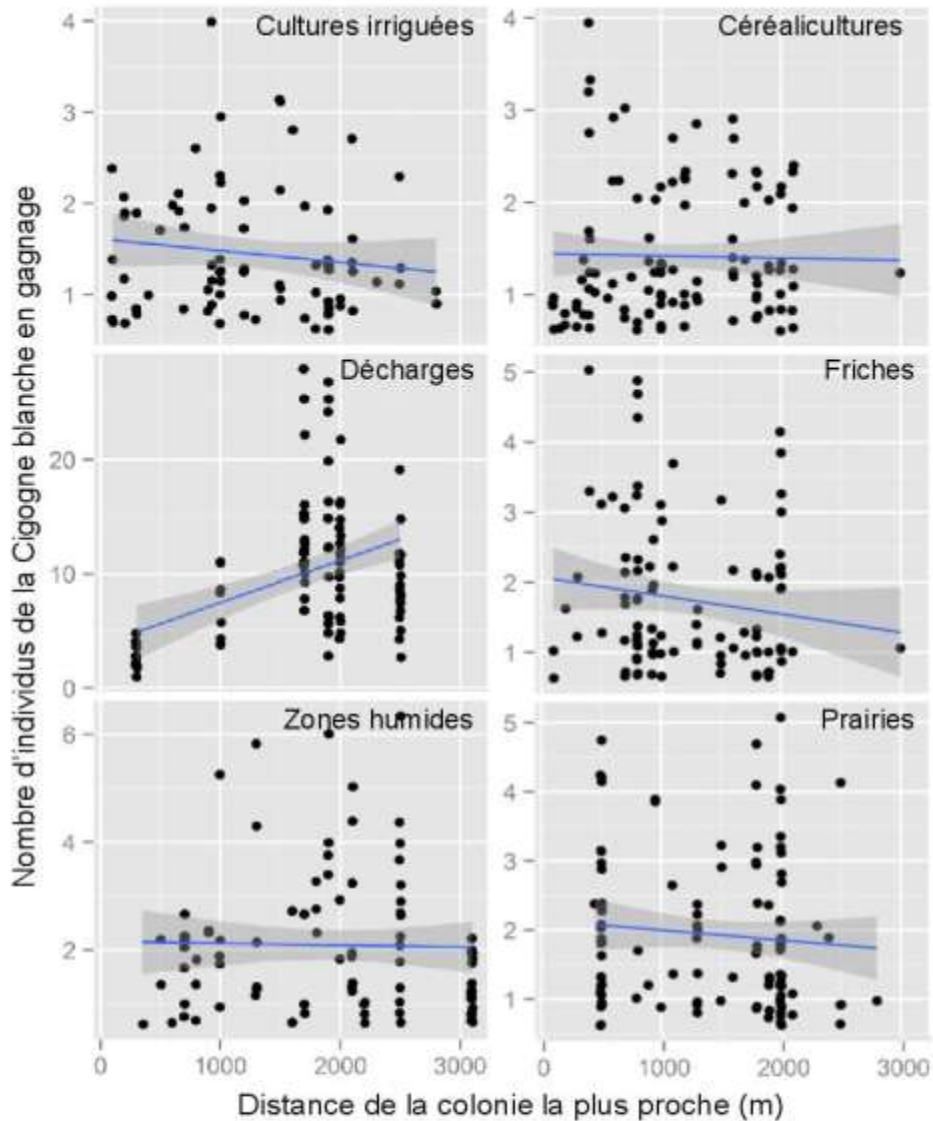


Figure 8. Relation entre le nombre d'individus de cigognes blanches observé et la distance de la colonie la plus proche du point de gagnage dans les différents habitats dans la région de Batna. Les lignes représentent la régression linéaire suivant un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec 95% de la région de confiance en gris clair.

4. Discussion

Dans la région de Batna, la cigogne blanche exploite une multitude de milieux naturels ou aménagés pour la recherche de sa nourriture. En plus des gagnages naturels de prédilection, tels les zones humides, les friches et les prairies, la Cigogne blanche fréquente régulièrement des immondices, des champs de cultures céréalières et irriguées. En fait, les Cigognes blanches habitent avec prédilection les paysages ruraux à forte proportion de prairies, de culture et de pâture, des bas-

fonds humides, des eaux peu profondes des paysages découverts, des mares temporaires, les territoires humides et les champs qui lui fournissent sa subsistance (Johst *et al.*, 2001 ; Tryjanowski *et al.*, 2006). La Cigogne blanche préfère généralement fréquenter les habitats ouverts à végétation basse, mais elle évite les zones forestières et boisées denses (Boukhemza, 2001 ; Milchev *et al.*, 2013). Le choix des habitats d'alimentation est déterminé par les bonnes conditions de détection des proies ainsi que la possibilité de se déplacer sans être entravée par la végétation. À cela s'ajoute, la tranquillité des habitats quant aux diverses sources de dérangements et de perturbations (activités humaines, prédateurs terrestres ou aériens, compétitions interspécifiques, ...) (Alonso *et al.*, 1991 ; Bocheński & Jerzak, 2006 ; Tryjanowski *et al.*, 2006). Toutefois, certaines activités humaines, comme les travaux agricoles de labour ou de moisson, attirent la cigogne blanche pour chasser les proies mises à découvert. Ainsi, l'espèce contribue à la régulation de plusieurs populations nuisibles, comme les orthoptères et les rongeurs (Boukhemza, 2001 ; Chenchouni *et al.*, 2015), ce qui démontre son utilité pour l'agriculture en tant qu'auxiliaire. En Pologne, la Cigogne blanche fréquente principalement les prairies et secondairement les champs arables lorsqu'il y a des pratiques agricoles où l'espèce est observée associée aux machines (Rachel, 2006). Dans ces habitats, le suivi des machines permet aux cigognes de capturer avec une grande efficacité les proies mises à nu, mais cette collecte est énergétiquement non profitable vue le grand effort fourni (Bocheński & Jerzak, 2006).

Étant une espèce anthropophile dans sa nidification, la Cigogne blanche, en quête de sa nourriture, fréquente aussi une large gamme de milieux aménagés dans des paysages hétérogènes et en mosaïque. Les décharges constituent l'habitat le plus utilisé pour son gagnage dans la région d'étude. En fait, les décharges publiques sont signalées comme une nouvelle source humaine de gagnage pour la Cigogne blanche dans plusieurs régions de son aire de reproduction. Ce phénomène est devenu commun même le long de ces routes de migration ou les sites d'hivernage où de larges groupes de cigognes ont été observés sur les décharges en train de s'alimenter ou se reposer durant leur stop-over (Tortosa *et al.*, 2002 ; Ciach & Kruszyk, 2010 ; Kruszyk & Ciach, 2010). Les dépotoirs semblent fournir une abondante alimentation pour plusieurs espèces d'oiseaux dans le monde entier, outre que la Cigogne blanche, qui les fréquente régulièrement durant toute l'année (Belant *et al.*, 1995). Ainsi le développement des décharges peut avoir des conséquences importantes sur l'écologie future des oiseaux y compris celle de la Cigogne blanche, ce qui incite sur la nécessité de prendre en considération l'aménagement de ces habitats dans les programmes de conservation.

Malgré leurs superficies très réduites, les taux de fréquentation les plus élevés sont signalés dans les décharges tout le long de la saison de reproduction et sous les différents climats des sites

des colonies. Ces habitats sont les plus constants dans le temps puisqu'ils offrent le plus de disponibilité à une alimentation facilement accessible sans grand effort, ainsi qu'à d'autres proies tant vertébrées qu'invertébrées. Cette stratégie d'exploitation de types de milieux dénote de la grande capacité d'adaptation de l'espèce à exploiter les milieux où l'alimentation est la plus accessible à moindre coût énergétique (Boukhemza, 2001). En effet, le MCMCgImm a démontré que le nombre d'individus est lié positivement avec ce type de milieu et la distance à la colonie la plus proche. Ce qui témoigne que l'espèce exploite préférentiellement cet habitat, mais d'autant plus lorsqu'il est proche au site de nidification. En effet ceci est en concordance avec les hypothèses d'Alonso *et al.* (1994), qui avancent que la taille du groupe des cigognes en gagnage représente l'indication principale utilisée par les autres individus décollant de leur colonie pour décider où aller s'alimenter et combien rester sur site pour se nourrir. Nous supposons aussi, la que la Cigogne blanche sélectionne les décharges puisqu'elles abritent le plus dense groupe de cigognes possibles parmi ceux trouvés aux alentours, et qu'elle reste plus longtemps dans cet habitat plus la taille du groupe est importante, ce qui attire d'avantage d'autres individus.

L'accroissement significatif du nombre des Cigognes blanches durant la période post-reproductrice dans les habitats de gagnage est expliqué par l'émancipation des cigogneaux qui se dispersent sur les différents habitats d'alimentation avec une concentration des effectifs dans les décharges et les zones humides. En cette phase, je suppose que l'espèce a une tendance de se regrouper là où il y déjà un groupe sur l'habitat de gagnage. Plus ce groupe en gagnage est dense, plus les cigognes décident de s'y rejoindre. Ce phénomène est très clairement observé dans les décharges, et secondairement sur les berges des zones humides, où les cigognes se concentrent dans une aire très limitée.

Par ailleurs, les densités élevées des Cigognes blanches dans les décharges durant les différents stades de reproduction et sous tous les climats sont dues à la constance de la disponibilité temporelle de la nourriture et le nombre élevé des proies potentielles. Dans la région de Batna, les déchets managés sont quotidiennement, collectés puis transportés aux décharges le matin. Ainsi, les cigognes sont habituées à avoir un approvisionnement quotidien des décharges avec les ordures contenant leurs ressources alimentaires. La composition du régime alimentaire témoigne de la fréquentation régulière dans ces habitats, dont 67% de la biomasse du régime alimentaire est dominée par les restes de poulet prélevés des décharges (Chenchouni *et al.*, 2015). En outre, la fréquentation de ce genre d'habitat est indéterminante du succès de reproduction de l'espèce et l'élevage des poussins à éclosion tardive (Djerdali *et al.*, 2008b ; Djerdali *et al.*, 2016). Toutefois, les déchets urbains ne contiennent pas seulement la nourriture appropriée, mais aussi certains

éléments non-digestibles tels que le plastique, les fils, le nylon, etc., ce qui - en cas d'ingestion - pourrait être potentiellement dangereux pour les oiseaux adultes et oisillons (Peris, 2003).

Il est à noter que la Cigogne blanche est souvent observée dans les aires de gagnage en compagnie de Hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) avec qui elle partage, dans certaines localités le même arbre de nidification tels le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), l'Eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), le Cyprès commun (*Cupressus sempervirens*), le Platane commun (*Platanus acerifolia*). Ces mêmes coactions entre les deux espèces, que ce soit sur les sites de nidification ou de gagnage, ont été aussi signalées dans les régions côtières de l'Algérie (Boukhemza, 2001 ; Si Bachir, 2007). Lorsque la Cigogne blanche se nourrit sur ses habitats de gagnage, elle manifeste un comportement territorial contre les autres oiseaux fréquentant les mêmes milieux. Mais l'association de la Cigogne blanche avec le HGB, surtout dans les décharges, les prairies et les zones humides, est assez passive sans réactions agressives. Toutefois, le modèle statistique a révélé que la présence du HGB n'influence pas le nombre de cigognes blanches sur la même parcelle de l'habitat de gagnage. Bocheński & Jerzak (2006), spécifient que les cigognes nichant en colonies de faible densité manifestent des comportements agressifs contre leurs congénères et les autres espèces d'oiseaux sur les habitats d'alimentation, alors qu'en colonies denses elles tendent à s'alimenter en groupes. Ce dernier comportement a certains avantages comme : (i) bonne indication sur la qualité des milieux de gagnage, (ii), augmentation de l'efficacité de gagnage, (iii), réduction des coûts de gardiennage des nids de la colonie. Par ailleurs, dans les groupes denses, les individus profitent d'une diminution du temps de vigilance et donc une augmentation du temps consacré activement à l'alimentation, ce qui a permis aux oiseaux de ramener au nid une quantité d'aliments plus élevée (Alonso *et al.*, 1994).

En climat semi-aride, le nombre de cigognes en gagnage voit un accroissement significatif dans les friches. Ces milieux sont les plus représentatifs dans l'espace sous ce climat dans la région d'étude. Ce genre de milieu est particulièrement favorable par leur aspect ouvert, leur végétation basse et persistante. Ce phénomène est également signalé en Pologne où l'espèce fréquente le plus souvent et à longueur de l'année les prairies et les pâtures car elles constituent les milieux les plus représentatifs dans l'espace et dans le temps (Rachel, 2006 ; Tryjanowski *et al.*, 2006). De même, en conditions écologiques semi-arides assez similaires à celles de Batna, les résultats de cette étude corroborent ceux de Sbiki & Si Bachir (2011) à Tebessa où les milieux de gagnage les plus fréquentés sont les friches suivis des immondices. En Kabylie, les Cigognes Blanches fréquentent plus les prairies puis les friches (Boukhemza *et al.*, 2006). Dans l'aire de distribution en Europe, les habitats préférés sont, en général, les prairies sèches et humides (Carrascal *et al.*, 1993 ; Moritzi *et al.*, 2001). Bien que les prairies et les friches représentent les milieux de gagnage les plus

abondants, les plus étendus et surtout les plus constants dans le temps dans la région de Batna, de faibles taux de fréquentation sont signalés. Par contre on note que ce genre de milieux est particulièrement plus favorable au Héron garde-bœufs (Boukhemza *et al.*, 2006 ; Si Bachir *et al.*, 2012) qui est constamment rencontré en association avec la Cigogne blanche, que ce soit dans les milieux de gagnage ou dans les sites de nidification.

La distance parcourue par cet échassier pour la recherche de la nourriture semble être différente et indépendante de sa disponibilité dans l'habitat de gagnage. Ces différentes distances se font également à différentes directions, mais avec le nid/la colonie comme centre de tous vols de fourrage. Ce qui classe la Cigogne blanche comme un fourrageur central (Alonso *et al.*, 1994 ; Hilgartner *et al.*, 2014), dont la majorité des vols de gagnage ne dépassent pas un rayon de 5 km autour du nid (Johst *et al.*, 2001). Toutefois, la Cigogne blanche peut parcourir de longues distances, qui peuvent aller jusqu'à 14 km pour la recherche de la nourriture dans ses habitats favoris (Skov, 1999).

Les résultats de cette étude indiquent que la distance parcourue à partir de la colonie la plus proche est corrélé significativement avec le nombre d'individus en gagnage seulement dans les immondices. Ceci peut renseigner sur l'importance de ces habitats artificiels sur la bioécologie de l'espèce, notamment sur sa reproduction et sur son écologie trophique (Tortosa *et al.*, 2002 ; Djerdali *et al.*, 2010 ; cf. Chapitre 5). En effet, Hilgartner *et al.* (2014), démontrent que la distance aux sites d'alimentation a un effet positif sur le succès de reproduction, dont le nombre de poussins émancipés augmentent dans les nids situés plus proches des sites d'alimentations.

Dans les régions arides, les écosystèmes naturels ont une faible productivité (Bradai *et al.*, 2015), ce qui fait que plusieurs espèces animales, les oiseaux en particulier, y compris la Cigogne blanche se concentrent dans les habitats présentant une certaine humidité pour assurer une bonne alimentation (Guezoul *et al.*, 2013). Ce qui est le cas des oueds (naturels ou rejets des eaux usées domestiques) et les plans d'eau artificiels comme les retenues collinaires dans notre région d'étude. Les plans d'eau peu profonds (mares temporaires) attirent plus les Cigognes blanches car ils offrent le plus de disponibilité et d'accessibilité de proies tant invertébrées que vertébrées, notamment quand les autres milieux de gagnage sont épuisés, moins productifs ou durant la saison estivale chaude. Aussi, vue la pénurie des ressources alimentaires dans les habitats naturels, la Cigogne blanche fait recours à l'exploitation et à la fréquentation des décharges qui offrent une alimentation constante dans le temps mais aussi abondante et de qualité du point de vue biomasse et apport énergétique (cf. Chapitre 5). Ceci est relié avec l'opportunisme de l'espèce qui fait équilibrer son alimentation en exploitant une gamme variée de milieux de gagnage d'une région donnée (Alonso *et al.*, 1991). En effet, plusieurs études ont prouvé que les caractéristiques des milieux de

gagnage contrôlent la productivité de la Cigogne blanche (Tryjanowski *et al.*, 2005 ; Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Hilgartner *et al.*, 2014) et la composition de son régime alimentaire (Tsachalidis & Goutner, 2002).

En période pré-reproductrice, les conditions climatiques froides induisent une carence des ressources alimentaires dans les milieux naturels ; ce qui force les Cigognes blanches à fréquenter les décharges qui semblent offrir une source alimentaires stable, abondante est toujours disponible. En conditions estivales, et lorsque la chaleur atteint des valeurs élevées, la production des milieux naturels de basse végétation s'atténue ce qui explique les faibles effectifs des Cigognes blanches dans les friches, prairies, et les cultures irriguées. En revanche, la Cigogne blanche est rencontrée avec les effectifs les plus élevés dans les marres d'eau douce. Puisque la Cigogne blanche, en cette période précisément, cherche des milieux ambiants offrant une alimentation abondante et de qualité pour satisfaire le pic de demande alimentaire qui correspond à la période d'élevage des poussins. Ceci témoigne sur le fait que la Cigogne blanche est en train d'équilibrer sa nutrition en jumelant entre des besoins alimentaires variables suivant les stades de reproduction d'une part, et les milieux fréquentés ayant des productivités différées pour s'alimenter d'autre part.

5. Conclusion

Le comportement trophique de gagnage de la Cigogne blanche indique une modalité de fréquentation des habitats assez semblable entre les régions climatiques de la région d'étude, mais qui varie selon les stades phénologiques de reproduction. Ceci dénote l'opportunisme de l'espèce qui a une large niche trophique. En dépit du type du climat, les taux de fréquentation les plus élevés sont notés principalement dans les décharges, ensuite viennent les zones humides et les cultures irriguées. Ce pattern spécifique de fréquentation est régi par la disponibilité des ressources alimentaires dans ces milieux, la distance à la colonie et les besoins temporels de l'espèce suivant les stades de reproduction. On suppose aussi que la taille du groupe présent sur l'habitat de gagnage détermine la décision des individus en vol d'y rejoindre le gagnage et d'y rester plus longtemps sur site. Ceci est remarquable dans les décharges qui abritent un nombre élevé d'effectifs en gagnage mais dans des surfaces restreintes. Les préférences dans le choix des sites de gagnage de la Cigogne blanche indiquent indéniablement les habitats qui nécessitent être protégés. Ceci met le point sur l'importance d'adoption d'une politique de conservation adéquate pour l'aménagement des décharges et les écosystèmes artificiels exploités par les animaux sauvages.

Chapitre 2

“ *Modélisation des paramètres de croissance des poussins* ”

Chapitre 2 – Modélisation des paramètres de croissance des poussins

Résumé

L'analyse des données de croissance est importante car elle permet de déterminer le taux et l'allure de croissance et aussi les facteurs impliqués et par conséquent elle constitue un outil d'aide dans les décisions de conservation. Différentes méthodes telles que les régressions polynomiales, les modèles non-paramétriques et les modèles non-linéaires à effets mixtes sont utilisées pour adapter les modèles aux données de croissance. Cette étude vise à adapter plusieurs modèles de croissance aux données de croissance des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna (Nord-est algérien). Elle cherche aussi à comparer ces modèles pour distinguer le meilleur modèle qui illustre fidèlement chaque trait de croissance. Durant deux saisons de reproduction (2011–2012), un total de 51 nids et 211 poussins ont été échantillonnés pour mesurer la longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse, l'envergure, et le poids corporel. Les données de croissance obtenues ont été analysées à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM), GLM mixtes (GLMM), modèles additifs généralisés (GAM), et GAM mixtes (GAMM). En utilisant des fonctions d'auto-démarrage de R, les données de croissance ont été aussi ajustées à des fonctions asymptotiques et sigmoïdes (e.g. Gompertz, logistique, Weibull, von Bertalanffy, Richards, ...) pour déterminer les différents paramètres mathématiques de ces modèles. À partir des 563 mesures établies pour chaque trait biométrique des cigogneaux, 17 modèles paramétriques, linéaires et non-linéaires à effets mixtes ont été testés et comparés avec le critère d'information d'Akaike (AIC). Les modèles avec le meilleur ajustement aux données de croissance étaient le modèle de Weibull pour la longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse et pour l'envergure et le modèle de Gompertz pour le poids corporel. Les autres modèles de croissance étudiés avaient des AICs significativement supérieures, donc leur ajustement aux données est moins pertinent. Cette étude indique que l'effet de l'identité de nid était significatif dans les modèles linéaires (GLM vs. GLMM) et non-linéaires (GAM vs. GAMM, avec et sans smooth de l'âge des poussins). Pour ces six derniers modèles, le GAMM avec smooth a révélé le meilleur ajustement aux données de croissance pour tous les traits biométriques mesurés. Les courbes des prédictions de chaque trait corporel étaient très proches l'une de l'autre à l'exception de deux courbes aberrantes, les deux extraites du modèle de Richards (modèle logistique à trois paramètres et modèle de Gompertz). Les corrélations des différentes prédictions de chaque trait biométrique étaient toutes significativement positives ($r > 0,9$; $P < 0,0001$).

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; modèle de croissance ; biométrie ; modélisation écologique ; GLM ; GLMM ; GAM ; GAMM.

Abstract

The analysis of growth data is crucial because it helps to determine the rate and shape of the growth and also the involved factors and therefore it constitutes a relevant tool in conservation decisions. Different methods such as polynomial regression, non-parametric models and nonlinear mixed effects models are used to adapt models to growth data. This study aims to fit several growth models to growth data of White stork's chicks nesting in the region of Batna (northeastern Algeria). It also seeks to compare these models to distinguish the best model that fits the data and accurately illustrates every growth trait. During two breeding seasons (2011–2012), a total of 51 nests and 211 chicks were sampled to measure beak length, head length, metatarsus length, wingspan, and body weight. Growth data were analyzed using generalized linear models (GLM), GLM with mixed effects (GLMM), generalized additive models (GAM), and GAM with mixed effects (GAMM). Using self-starting functions in R, growth data were also adjusted to asymptotic and sigmoid functions (e.g. Gompertz, logistic, Weibull, von Bertalanffy, Richards ...) to determine the various mathematical parameters of these models. Out of the 563 measurements carried out for each biometric feature of nestlings, 17 parametric, linear and non-linear mixed effects models were tested and then compared with the Akaike information criterion (AIC). The models with the best fit to the growth data were Weibull model for beak length, head length, metatarsus length and the wingspan and Gompertz model for body weight. Other growth models studied had significantly higher AICs, thus their fitting to data is less relevant. This study indicates that the effect of nest identity was significant in linear (GLM vs. GLMM) and nonlinear models (GAM vs. GAMM, with and without smooth of nestling age). For the previous six models, the GAMM with age smoothed showed the best fit to growth data for all measured biometric features. Prediction curves of each body feature were very close to one another with the exception of two outlier curves, that both were extracted from Richards model (3-parameters logistic model and Gompertz model). Correlations between different predictions of each biometric feature were all significantly positive ($r > 0.9$, $P < 0.0001$).

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; growth model; biometrics; ecological modeling; GLM; GLMM; GAM; GAMM.

1. Introduction

L'analyse des données de croissance est le noyau vif des recherches actuelles dans de nombreuses disciplines, car elle permet de déterminer comment les choses grandissent, à quelle vitesse elles grandissent, quels sont les facteurs intrinsèques ou extrinsèques tels que les facteurs écologiques ou d'autres variables influencent sur la croissance (Paine *et al.*, 2012 ; Rodriguez-Brenes *et al.*, 2013 ; Bukhman *et al.*, 2015 ; Higgins *et al.*, 2015). Ainsi, les résultats de l'analyse

de la croissance constituent la base fondamentale des décisions à prendre en vue d'établir un changement prédit dans le domaine médical, économique, de gestion, social ou politiques (Crawley, 2013 ; Panik, 2014).

Différentes méthodes telles que les modèles non-linéaires à effets mixtes, les modèles non-paramétriques univariés et multivariés, et les régressions polynomiales ont été utilisées pour adapter les modèles aux données de croissance (Huin & Prince, 2000 ; Paine *et al.*, 2012 ; Crawley, 2013 ; Panik, 2014). Dans le passé, diverses procédures graphiques ont été mises au point pour identifier une forme commune fonctionnelle pour différentes courbes de croissance (Ricklefs, 1967). Toutefois, ces méthodes graphiques présentent deux problèmes majeurs : la subjectivité dans les comparaisons visuelles des différentes courbes ; et elles ne peuvent pas distinguer toutes les formes courbes telles que la courbe logistique de celle de Gompertz et la courbe exponentielle de la courbe parabolique logarithmique (Akamine, 2009). Au cours des dernières années, les modèles non-linéaires à effets mixtes sont devenus un outil important pour les modèles de croissance (Hall & Clutter, 2004 ; Zuur *et al.*, 2009 ; Sofaer *et al.*, 2013). En outre, les équations non-linéaires manquent généralement des solutions analytiques, car elles comprennent des produits ou des divisions parmi leurs paramètres, et donc sont généralement résolues numériquement (Paine *et al.*, 2012 ; Sofaer *et al.*, 2013). De telles approches d'estimation itératives nécessitent une spécification *a priori* des valeurs de démarrage pour tous les paramètres qui sont affinés au cours du processus d'ajustement jusqu'à ce que à la précision de l'estimation réponde les critères de convergence spécifiés. La sélection des valeurs de démarrage est souvent difficile et, par conséquent, les fonctions d'auto-démarrage [`selfStart()`] sont disponibles pour de nombreuses courbes (Pinheiro & Bates 2000 ; Zuur *et al.*, 2009 ; Crawley, 2013).

La prédiction des modèles de croissance est largement étudiée chez les oiseaux, y compris les volailles domestiques (Kuhi *et al.*, 2010 ; Ricklefs, 1979, 2010). La croissance comprend l'hyperplasie, l'hypertrophie, la division cellulaire et l'apoptose, cependant, ces processus peuvent également être affectés par les fluctuations environnementales, les conditions trophiques, les maladies et d'autres événements aléatoires (Lui & Baron, 2011 ; Kentie *et al.*, 2013 ; Rodriguez-Brenes *et al.*, 2013). Chez les oiseaux, la croissance du corps des poussins (*e.g.* taille des ailes, longueur du bec, poids, ...) à l'émancipation ou à la maturité sexuelle est cruciale pour la survie des individus. Mais vue la différence dans les modèles de croissance, la détermination des traits du corps à différent âges aide à comprendre le cycle de vie des espèces et leur bioécologie ce qui permet une gestion et conservation plus efficace. Plusieurs équations mathématiques ont été utilisées pour modéliser les caractéristiques de croissance *e.g.* Gompertz, logistique, Weibull, von Bertalanffy, Richards, etc. Les paramètres de croissance résultant de

ces équations mathématiques ajustent et adoucissent les fluctuations d'un trait donné du corps et utilisent des mesures précédentes pour prédire les valeurs de ce trait selon l'âge (Ricklefs, 2010 ; Crawley, 2013 ; Panik, 2014).

En ornithologie, de nombreuses études ont implémentées différents modèles de croissance pour (i) estimer le taux de croissance et de développement chez différentes espèces sauvages ou domestiquées ; (ii) avec une nombreuse variantes (sexe, type d'habitats, conditions d'alimentation, investissement parental, éclosion asynchrone, compétition des poussins, ...) ; (iii) pour suivre le métabolisme et la croissance des embryons ; (iv) évaluer les énergétiques ; (v) suivre les tendances des migrations saisonnières ; (vi) monitorer les dynamiques des populations lors des invasions ou extinctions (Ricklefs, 1968 ; Ricklefs, 1973 ; Ricklefs, 2010 ; Kentie *et al.*, 2103 ; Aagaard & Lockwood, 2014 ; Bendjoudi *et al.*, 2015 ; Goymann *et al.*, 2016).

La Cigogne blanche est un oiseau longévif qui utilise le même nid pour la reproduction à plusieurs reprises. Après l'arrivée, les couples défendent le nid contre des concurrents, au sein d'une colonie ou dans des nids solitaires. Les couples occupent les nids longtemps avant que la femelle ponde le premier œuf. La taille de la couvée varie de 2–6, mais surtout 3–5 œufs sont pondus. Les deux parents couvent et l'incubation dure 22–24 jours. Les poussins éclosent asynchrones. Quant aux parents, ils commencent l'incubation dès que le 1^{er} œuf est pondu. La différence de temps entre la ponte de deux œufs successifs est de 1–3 jours, en moyenne 2 jours. Les poussins quittent le nid à l'âge de 8–10 semaines (Cramp & Simmons, 1977 ; Tryjanowski *et al.*, 2004 ; Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Fulin *et al.*, 2009 ; Benharzallah *et al.*, 2015). En Algérie, la période de reproduction de cet échassier commence au plus tôt en Février et se termine en Juillet. La cigogne blanche utilise différents types de supports pour la construction de son nid ; elle utilise surtout différentes espèces d'arbres comme supports naturels tandis qu'elle niche plus fréquemment sur les poteaux d'électricité de différents types (métallique, en béton ou en bois, de basse et de haute tension, ...) mais aussi sur les minarets des mosquées, les pylônes de télécommunications, les réservoirs d'eau et les toits (métallique, en dalle ou en tuile) des bâtisses (Djeddou & Bada, 2006 ; Djerdali, 2010 ; Baidi & Toureche, 2012).

L'objectif de cette étude était d'utiliser plusieurs modèles de croissance pour déterminer plusieurs phases de croissance et la croissance asymptotique des poussins de la Cigogne blanche, et également comparer ces modèles suivant le meilleur ajustement pour les traits de croissance de la longueur de la tête, la longueur du bec, l'envergure, la longueur du tarsométatarse et le poids du corps. À l'aide des paramètres de ces modèles mathématiques, les prédictions de ces traits biométriques seront comparées les unes avec les autres afin de valider les résultats de la modélisation.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Présentations de la zone et des colonies de l'étude

Les colonies de cigognes blanches étudiées dans cette étude sont localisées dans la Wilaya de Batna. Les colonies concernées sont la Ferme Riche (Commune d'El Madher), Markouna (Tazoult), Chemora, N'gaous, Draa Boulouf (Commune d'Ain Yaghout), Ouled Fadel, K'seur Belezma, et Seriana (cf. Chapitre 5 : Fig. 1).

L'importance des effectifs abrités par les colonies susmentionnées, qui représentent les plus larges colonies des cigognes à Batna (Hamane & Hamane, 2011 ; Baidi & Toureche, 2012) ainsi que l'accessibilité de la majorité des nids représentent les principaux critères ayant motivé le choix de ces sites.

2.2. Échantillonnage des nids et des poussins

L'étude a été réalisée au cours de deux saisons consécutives de reproduction (janvier–juillet) en 2011 et en 2012. En 2011, les huit colonies des cigognes ont été prospectées, tandis que en 2012, seule la colonie de la Ferme Riche a été étudiée. Durant chaque saison de reproduction, les nids de chaque colonie étudiée ont été suivis régulièrement dès l'arrivée du premier partenaire jusqu'à l'émancipation du dernier poussin. Au total, 32 nids ont été suivis avec succès en 2011 et 19 nids en 2012 ; totalisant 211 poussins, avec respectivement 131 et 80 poussins échantillonnés, bagués et mesurés en 2011 et 2012.

Les nids étudiés sont construits sur différents types de supports (maisons, arbres, minarets et poteaux électriques de faible tension). Chaque nid occupé et accessible a été numéroté par un code d'identification. Afin de distinguer entre les différents poussins du même nid au cours des mensurations, chaque poussin a été bagué par un fil métallique coloré. Après éclosion des œufs, la date d'éclosion de chaque poussin est notée, ensuite les paramètres biométriques suivants ont été réalisés :

- Longueur du bec, appelée le culmen, mesurée à l'aide d'un pied à coulisse [$\pm 0,01$ mm] comme la longueur entre la pointe du bec jusqu'à les premières plumes du front de la tête.
- Longueur totale de la tête, référée ici comme la longueur de l'ensemble du crâne et du bec [mm].
- Envergure, mesurée à l'aide d'un mètre ruban [± 1 mm], référant à la longueur des deux ailes étendues y compris les rémiges primaires.
- Longueur du tarsométatarse, qui est la partie de la patte située entre l'articulation du talon et les doigts [mm].
- Poids corporel, mesuré à l'aide d'une balance électrique avec une précision de 1g.

2.3. Analyses statistiques et modélisation des données de croissance

Les données de croissance des oisillons du même âge de tous les nids et saisons de reproduction ont été regroupées pour calculer la moyenne pour les différents jours de croissance afin d'analyser la tendance des changements de croissance selon les cinq variables mesurées (culmen, tête, envergure, tarsométatars, poids). Le package `{ggplot2}` fonctionnant sous R (Chang, 2013) a été utilisé pour résumer graphiquement les mesures des poussins durant le même jour de croissance.

2.3.1. Modèles linéaires généralisés et modèles linéaires généralisés mixtes

Premièrement, les données de croissance ont été testées pour la tendance linéaire suivant des modèles linéaires généralisés (GLM) avec une distribution Gaussienne et un lien 'identity' (Zuur *et al.*, 2009 ; Myers *et al.*, 2012). Mais puisque les données de mesure sont dépendantes (les poussins de chaque nid ont été mesurés plusieurs fois), des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM) ont été utilisés sous le package `{nlme}` dans la version 3.2 du R (R Core Team, 2016). Les traits de croissance ont été évalués en utilisant le nid comme effet aléatoire afin de tenir compte de la configuration spécifique de dépendance. Ainsi, les différents paramètres biométriques ont été considérés comme des variables dépendantes, alors que l'âge des poussins a été utilisé comme effet fixe (Sofaer *et al.*, 2013).

2.3.2. Modèles additifs généralisés et modèles additifs généralisés mixtes

En second lieu, comme les patrons de croissance chez les oiseaux en général (Ricklefs, 1968 ; Ricklefs, 1973) et chez la Cigogne blanche en particulier (Tsachalidis *et al.*, 2005 ; Benharzallah *et al.*, 2015) ont été prouvés être non-linéaires, les traits biométriques mesurés dans cette étude ont été modélisés suivant des modèles additifs généralisés (GAM) en utilisant le package `{mgcv}`. Par ailleurs et afin de tenir en compte les pseudo-répliques (mesures répétées des poussins dans chaque nid), le nid a été considéré comme un effet aléatoire dans des modèles additifs généralisés mixtes (GAMM) où l'âge était considéré comme effet fixe avec une distribution Gaussienne. Dans les modèles GAMs et GAMMs, les traits biométriques étaient considérés comme étant des variables dépendantes suivant l'effet de l'âge qui a été entré avec ou sans lissage "smooth" afin de détecter le modèle avec le meilleur ajustement.

En comparant les valeurs du critère d'information d'Akaike (AIC) entre les modèles précédents (*cf.* sections 2.3.1. et 2.3.2.), l'effet de l'identité du nid a été testée (GLM vs. GLMM et GAM vs. GAMM). L'effet de l'identité du nid a été considéré significatif sur les variables dépendantes de la croissance lorsque la différence des valeurs d'AIC entre deux modèles est supérieure à 2 points (Zuur *et al.*, 2009 ; Crawley, 2013 ; Sofaer *et al.*, 2013).

2.3.3. Régressions non-linéaires avec des self-starting fonctions

Les relations non-monotones surgissent dans plusieurs contextes écologiques, y compris la croissance chez les oiseaux, les poissons, les mammifères et les plantes ; les migrations saisonnières ou les changements saisonniers de la couverture végétale (e.g. Huin & Prince, 2000 ; Oswald *et al.*, 2012 ; Paine *et al.*, 2012). Dans ce contexte, ici, la modélisation des variables de croissance de la Cigogne blanche a été effectuée en utilisant la fonction `nls` (qui signifie ‘Non-linear Least Squares’), qui correspond à un modèle de régression non-linéaire par le biais des moindres carrés, estimant des paramètres d'une fonction non-linéaire déterminée.

Afin de répondre à l'objectif principal de ce chapitre qui consiste à paramétrer différents modèles de croissance des poussins de la Cigogne blanche et les comparer pour faire ressortir le modèle avec le meilleur ajustement pour chaque trait de croissance, les modèles non-linéaires détaillés ci-après ont été appliqués. Ces modèles sont regroupés en deux catégories, des fonctions asymptotiques et des fonctions sigmoïdes en forme de S ‘S-shaped functions’. Chaque modèle donne une estimation de Y_t qui est la longueur [en mm] ou la masse corporelle [en g] mesurée à l'âge t [en jour] du poussin, $Y_t = f(t)$.

Une des choses les plus probables d'induire en erreur lors de la modélisation des croissances avec les moindres carrés non-linéaires est que le modèle échoue parce que les estimations initiales pour les valeurs des paramètres de départ étaient non appropriées. La solution la plus simple est d'utiliser l'un des modèles "auto-démarrage" de R en combinaison avec la fonction `nls` (Oswald *et al.*, 2012 ; Crawley, 2013). Ces derniers donnent automatiquement les valeurs de départ pour le modèle choisi. Le Tableau 1 donne les fonctions d'auto-démarrage utilisés pour les modèles non-linéaires.

2.3.3.1. Fonctions asymptotiques

- **Modèle de Michaelis-Menten**, appelé aussi l'équation de disque de Holling, appliqué à l'aide de la fonction [`SSmicmen`], $Y_t = At / (1 + Bt)$, avec : A = la valeur asymptotique de Y_t , B = l'âge t (en jour) pour lequel la moitié de la masse ou longueur des poussins maximale, $A/2$, est obtenue.
- **Modèle de régression asymptotique passant par l'origine**, appliqué à l'aide de la fonction [`SSasymOrig`], $Y_t = A (1 - \exp(-\exp(B) t))$, avec : A = l'asymptote horizontale, B = le logarithme naturel de la constante de vitesse.

Tableau 1. Fonctions d'auto-démarrage 'self-starting' des différents modèles non-linéaires utilisés pour modéliser la croissance des poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna, Nord-est algérien

Self-starting fonction	Nom du modèle non-linéaire	Nbr. Paramètres
SSmicmen	Modèle de Michaelis-Menten	2*
SSasymptOrig	Régression asymptotique passant par l'origine	2*
SSasympt	Modèle d'une régression asymptotique	3*
SSasymptOff	Régression asymptotique avec un décalage	3*
SSlogis	Modèle logistique	3*
SSgompertz	Modèle de croissance de Gompertz	3*
SSfpl	Régression logistique à quatre paramètres	4*
SSweibull	Modèle de la courbe de croissance Weibull	4*
SSposnegRichards (D = 1)	Modèle logistique à trois paramètres	3**
SSposnegRichards (D = 0,1)	Modèle de Gompertz	3**
SSposnegRichards (D = -0,3)	Modèle de von Bertalanffy	3**

* voir Crawley (2013) pour plus de détails,

** : Modèle simplifié à partir du modèle 'double-Richards' qui est donné par la fonction d'auto-démarrage (SSposnegRichards) du modèle positif-négatif de Richards (Oswald *et al.*, 2012).

• **Modèle de régression asymptotique**, appliqué à l'aide de la self-starting fonction [SSasympt], $Y_t = A - B \exp(-\exp(C) t)$, avec : A = l'asymptote horizontale sur le côté droit de la courbe, $B = Y_0 - A$ où Y_0 est l'interception (*i.e.* la valeur Y_0 à l'âge $t = 0$), C = la constante de vitesse (le logarithme naturel de la constante de vitesse).

• **Modèle de régression asymptotique avec un décalage (D)**, appliqué à l'aide de la fonction [SSasymptOff], $Y_t = A (1 - \exp(-\exp(B) (t - C)))$, où : A = l'asymptote horizontale sur le côté droit (à des valeurs élevées de t , à l'âge de l'émancipation). B = logarithme naturel de la constante de vitesse, C = l'âge t pour lequel $Y_t = 0$.

2.3.3.2. Fonctions en forme de S 'S-shaped functions'

Comme modèles traitant des fonctions sigmoïdes, les modèles suivant ont été appliqués pour les traits biométriques des cigogneaux dans la région de Batna :

• **Modèle logistique**, appliqué à l'aide de la fonction [SSlogis], $Y_t = A / (1 + \exp((B - t) / C))$, avec : A = la valeur asymptotique, B = valeur médiane de l'âge t lorsque Y_t égale $A/2$, C = est l'échelle sur l'axe t .

- **Modèle de Gompertz** appliqué à l'aide de la fonction d'auto-démarrage [SSgompertz] : $Y_t = A \exp(-BC^t)$, où : A = l'asymptote de Y_t , B = la valeur de la fonction à $t = 0$ (Y_0), C = l'échelle numérique sur l'axe t .
- **Modèle logistique à 4 paramètres**, appliqué à l'aide de la fonction [SSfp1], $Y_t = A + (B - A)/(1 + \exp((C-t)/D))$, avec : A = l'asymptote horizontale sur la gauche (pour les faibles valeurs de t), B = l'asymptote horizontale à droite (pour les valeurs élevées de t), C = l'échelle numérique sur l'axe t , D = est la valeur de t au point d'inflexion de la courbe (représentée par $t_{\text{médian}}$ dans notre modèle pour les données des poussins).
- **Modèle de Weibull**, appliqué à l'aide de la fonction auto-démarrage [SSweibull], $Y_t = A - (B \exp(-\exp(C) t^D))$, avec : A = l'asymptote horizontale sur le côté droit de la courbe, B = la différence entre A et l'intercepte de Y_t (valeur de Y_0 à $t = 0$), C = le logarithme naturel de la constante de vitesse, D = la puissance à laquelle t est soulevée.

Par ailleurs, le package R {FlexParamCurve} (Oswald *et al.*, 2012) est utilisé pour modéliser les courbes Richards individuelles. Bien que le package permet d'obtenir une série de fonctions d'auto-démarrage pour les courbes biphasiques et individuelles du modèle de Richards, il n'est utilisé dans cette étude que pour modéliser les formes sigmoïdes à trois paramètres, entre autres la courbe logistique, Gompertz et von Bertalanffy. Le package {FlexParamCurve} utilise la self-starting fonction SSposnegRichards() qui combine les deux courbes de Richards. Le modèle complet comprend huit paramètres :

$$Y_t = A / ([1 + M \exp(-B(t - C))]^{1/M}) + A' / ([1 + M' \exp(-B'(t - C'))]^{1/M'})$$

Avec : A , B , C et D sont, respectivement, le paramètre asymptote, paramètre de vitesse, point d'inflexion et la forme de la première courbe de Richards ; et A' , B' , C' et D' sont les paramètres correspondants pour la deuxième courbe.

Le modèle n° 32 de ce modèle diphasique permet le montage de courbes monotones (individuelles) en personnalisant le paramètre D (M dans Oswald *et al.*, 2012). Ainsi le modèle monophasique : $Y_t = A / ([1 + D \exp(-B(t - C))]^{1/D})$, appliqué à l'aide de la fonction [SSposnegRichards], devient une courbe logistique à trois paramètres si $D = 1$, modèle de Gompertz si $D \approx 0$ ($D = 0,1$) ou devient le modèle de von Bertalanffy si $D = -0,3$.

La valeur d'AIC a été calculée pour chaque modèle en utilisant la fonction `AIC()`. Cette valeur est utilisée pour sélectionner le modèle avec le meilleur ajustement. Le modèle avec la plus faible valeur de AIC est sélectionné comme le modèle le mieux ajusté.

2.3.4. Prédiction de la croissance des traits biométriques

La fonction `predict()` a été utilisée pour prédire la croissance des traits biométriques suivant l'âge pour chaque régression non-linéaire modélisée avec les onze fonctions self-starting. Les valeurs prédites ont été générées tous les 0,2 jours de l'âge 0 jusqu'à 62 jours (au total 311 valeurs prédites). En plus de ces onze modèles, la prédiction des traits de croissance a été faite pour le GLM qui représente la régression linéaire de la croissance. Ainsi les prédictions des douze modèles ont été représentées dans le même graphique afin de visualiser les différentes tendances de croissance de chaque trait biométrique (Ricklefs, 1967 ; Akamine, 2009).

En outre, De plus, pour tester les relations entre les différentes prédictions de chaque trait biométrique des cigogneaux, des tests de corrélation de Pearson ont été appliqués. La matrice de corrélation a été obtenue en utilisant la fonction (`rcorr.adjust`) sous le package `{Rcmdr}`. Cette fonction a permis le calcul de la matrice des corrélations de Pearson avec les valeurs des probabilité (P) par paires entre les prédictions des modèles. Les valeurs P ont été corrigées pour des inférences multiples en utilisant la méthode de Holm (R Core Team, 2016).

Les différents codes utilisés sous le logiciel R pour le dessin des illustrations et pour la réalisation des tests statistiques, des modélisations des croissances et des prédictions de ce chapitre sont reportés dans l'Annexe 1.

3. Résultats

3.1. Comparaisons des modèles de croissance

Les mesures biométriques établies sur 211 poussins de la Cigogne blanche (131 en 2011 et 80 en 2012) ont permis d'enregistrer 563 valeurs mesurées pour chaque trait biométrique. Les poussins étudiés ont été échantillonnés à partir d'un total de 57 nids (38 en 2011 et 19 en 2012).

La modélisation des traits biométriques de croissance des poussins a été testée et comparée à l'aide de 11 régressions non-linéaires utilisant des fonctions d'auto-démarrage, et 8 modèles (avec et sans effet mixte). La simplification de chaque modèle pour chaque trait biométrique a été donnée par le critère d'information d'Akaike (Tableau 2). Selon les AICs, le modèle de Weibull détient les valeurs les plus faibles pour les longueurs du bec, de la tête, du tarsométatarse et l'envergure. Ceci indique que ce modèle reflète le meilleur ajustement aux données de croissance observées pour ces quatre caractéristiques du corps des cigogneaux. De même pour le modèle de Gompertz (AIC = 405,8) par rapport aux données de croissance du poids corporel. Ce modèle est

suivi respectivement par les modèle de von Bertalanffy, logistique et de Weibull qui ont tous des AICs supérieurs de 2 points à celui du meilleur modèle. Pour la croissance du culmen, la régression asymptotique et la régression asymptotique avec un décalage présentent les mêmes valeurs d'AIC que le modèle de Weibull. Pour la croissance de la tête, ce dernier modèle n'est pas différent des modèles de von Bertalanffy et de Gompertz qui avaient des AICs avec une différence inférieure à 2 points du meilleur modèle. Pour l'envergure et le tarsométatarse, les modèles logistiques à trois paramètres et à quatre paramètres et le modèle de Gompertz respectivement suivent Weibull mais avec des AICs élevés ($\Delta AIC > 2$).

Tableau 2. Modélisation à l'aide de modèles asymptotiques et sigmoïdes de la croissance des traits biométriques (longueur du bec, de la tête, du tarsométatarse, envergure, et poids corporel) des poussins de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna, Nord-est algérien

Modèles asymptotiques et sigmoïdes	Critère d'information d'Akaike (AIC)				
	Culmen	Tête	Envergure	Tarse	Poids
Modèle de Michaelis-Menten	3528,7	5048,5	4566,1	4949,4	558,3
Régression asymptotique passant par l'origine	3557,1	5095,9	4565,5	4943,0	556,9
Modèle d'une régression asymptotique	3342,9	4711,9	4567,5	4927,6	508,2
Régression asymptotique avec un décalage	3342,9	4711,9	4567,5	4927,6	508,2
Modèle logistique	3399,3	4714,9	4521,8	4950,6	413,2
Modèle de croissance de Gompertz	3366,6	4704,4	4409,6	4822,6	405,8
Régression logistique à quatre paramètres	–	4707,9	4395,5	4806,4	422,3
Modèle de la courbe de croissance de Weibull	3342,2	4703,7	4383,3	4798,8	413,8
Modèle logistique à trois paramètres	3399,3	4714,9	4394,9	4804,4	449,1
Modèle de Gompertz (Richards)	3369,7	4704,8	4402,8	4817,4	407,3
Modèle de von Bertalanffy	3357,9	4704,4	4439,9	4843,9	409,5

Les valeurs en gras, les plus basses AICs, indiquent le modèle avec le meilleur ajustement

De même, Les comparaison des modèles GLM et GAM avec leurs semblables de modèles ayant des effets mixtes (GLMM et GAMM) a montré des différences significatives dans les valeurs de AICs ($\Delta AIC > 2$). Pour ces comparaisons, les modèles avec effets mixtes possédaient toujours les AICs les plus faibles. Donc, l'intégration de l'identité du nid comme effet aléatoire a amélioré significativement la qualité de chaque modèle. Ce qui permet de constater que l'effet de l'identité du nid est significatif sur les modèles de croissance (Tableau 3).

Tableau 3. Test de l'effet de l'identité de nid sur les modèles linéaires et non-linéaires testant la croissance des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna, Nord-est algérien

Modèle	Identité du nid	Critère d'information d'Akaike (AIC)				
		Culmen	Tête	Envergure	Tarsométatarse	Poids du corps
GLM	Non	3377,3	4773,3	4575,2	5017,1	583,7
GLMM	Oui	3289,8	4658,5	4512,3	4965,3	574,3
GAM	Non	3377,3	4773,3	4575,2	5017,1	583,7
GAMM	Oui	3286,2	4656,7	4509,6	4964,2	557,3
GAM avec smooth	Non	3326,6	4684,0	4368,7	4788,4	384,0
GAMM avec smooth	Oui	3243,4	4569,2	4277,0	4719,7	356,2

Les valeurs en gras, les plus basses AICs, indiquent le modèle avec le meilleur ajustement

3.2. Croissance du culmen

La croissance de la longueur du bec des cigogneaux en fonction de leur âge semble avoir une régression linéaire (Fig. 1). Toutefois, les modèles testés ont révélé une croissance non-linéaire bien expliquée avec le modèle de Weibull (Tableau 2, 4). Les résumés des différents modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation de la croissance du culmen (longueur du bec) sont récapitulés dans l'Annexe 2.

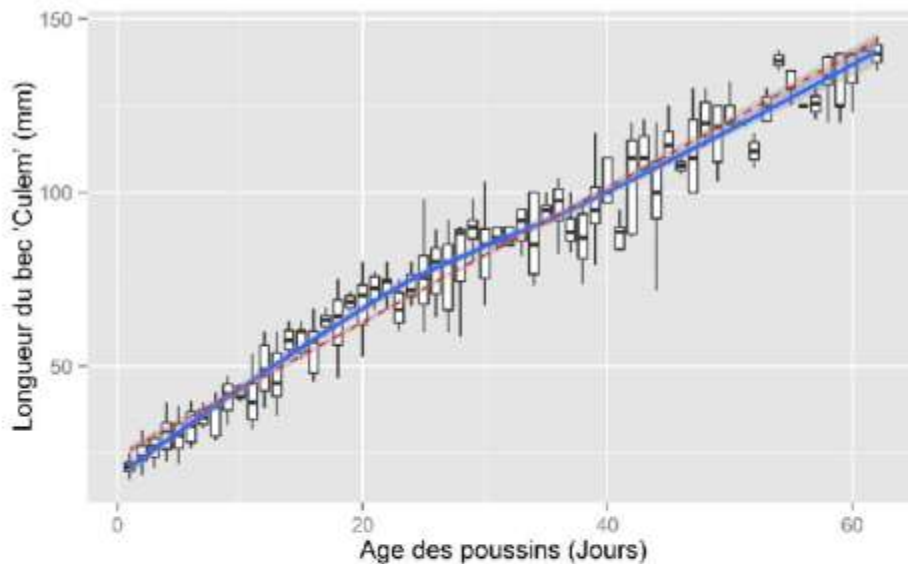


Figure 1. Croissance journalière de la longueur du bec des cigogneaux dans la région de Batna. Les box plots verticaux décrivent la distribution des données de croissance des poussins durant le même âge. La ligne continue représente une courbe lissée LOESS (locally weighted polynomial) ajustée à un GAM (modèle additif généralisé) avec la région de 95% de confiance en gris clair. La ligne en pointillés est une régression linéaire avec un ajustement GLM avec la région de confiance de 95% en gris clair.

Selon le résumé des paramètres du modèle de Weibull (Tableau 4), les deux asymptotes supérieure et inférieure (paramètres A et B, respectivement) ainsi que la constante de vitesse de croissance (paramètre C) étaient significativement non différents de zéro ($P > 0,05$). Tandis que le paramètre D (la puissance à laquelle l'âge est élevé) était significatif (t -value = 5,95 ; $P < 0,001$). Les paramètres du modèle de Weibull expliquant la courbe de croissance du culmen suivant l'âge (en jours) peuvent être écrits comme :

$$\text{Culmen (mm)} = 1945,813 - (1930,027 \exp(-\exp(-6,095) \text{âge}^{0,815}))$$

Tableau 4. Résumés et paramètres des modèles de Weibull et Gompertz ayant le meilleur ajustement pour les traits de la croissance des poussins de cigognes blanches nichant dans la région de Batna, Nord-est algérien

Paramètre	Valeur	SE	t -value	P	Sig.
Culmen	Modèle de Weibull (AIC = 3342,2)				
A	1945,813	12324,65	0,16	0,875	ns
B	1930,027	12327,20	0,16	0,876	ns
C	-6,095	6,02	-1,01	0,312	ns
D	0,815	0,14	5,95	<0,001	***
Tête	Modèle de Weibull (AIC = 4703,8)				
A	272,512	18,92	14,40	<0,001	***
B	222,678	20,45	10,89	<0,001	***
C	-4,804	0,22	-22,13	<0,001	***
D	1,291	0,09	14,21	<0,001	***
Envergure	Modèle de Weibull (AIC = 4383,3)				
A	196,221	3,63	54,02	<0,001	***
B	180,846	4,17	43,38	<0,001	***
C	-7,179	0,22	-33,03	<0,001	***
D	2,037	0,07	29,23	<0,001	***
Tarsométatarse	Modèle de Weibull (AIC = 4798,8)				
A	245,711	4,16	59,03	<0,001	***
B	216,007	5,09	42,47	<0,001	***
C	-6,407	0,23	-27,57	<0,001	***
D	1,889	0,08	25,08	<0,001	***
Poids corporel	Modèle de Gompertz (AIC = 405,8)				
A	4,132	0,07	59,74	<0,001	***
B	4,174	0,16	25,45	<0,001	***
C	0,929	0,00	377,24	<0,001	***

A, B, C, D : paramètres des modèles de Weibull et Gompertz, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, t -value : valeur de t statistics ; P : probabilité, Sig. : codes de signification, *** ; $P < 0,0001$; ns : $P > 0,05$.

3.3. Croissance de la longueur de la tête

Selon la Figure 2, la croissance de la longueur de la tête des cigogneaux en fonction de leur âge semble suivre aussi une régression linéaire. Toutefois, les modèles testés ont révélé une croissance non-linéaire bien expliquée avec le modèle de Weibull (Tableau 2, 4). Les résumés des différents modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation de la croissance de la longueur de la tête sont récapitulés dans l'Annexe 3.

Selon le résumé des paramètres du modèle de Weibull (Tableau 4), les deux asymptotes supérieure et inférieure (paramètres A et B, respectivement), la constante de vitesse de croissance (paramètre C), et la puissance à laquelle l'âge est élevé (paramètre D) étaient significativement différents de zéro ($P < 0,001$). Selon les valeurs des paramètres du modèle de Weibull, la courbe de croissance de la longueur de la tête suivant l'âge (en jours) peut être écrite comme :

$$\text{Longueur de la tête (mm)} = 272,512 - (222,678 \exp(-\exp(-4,804) \text{âge}^{1,291}))$$

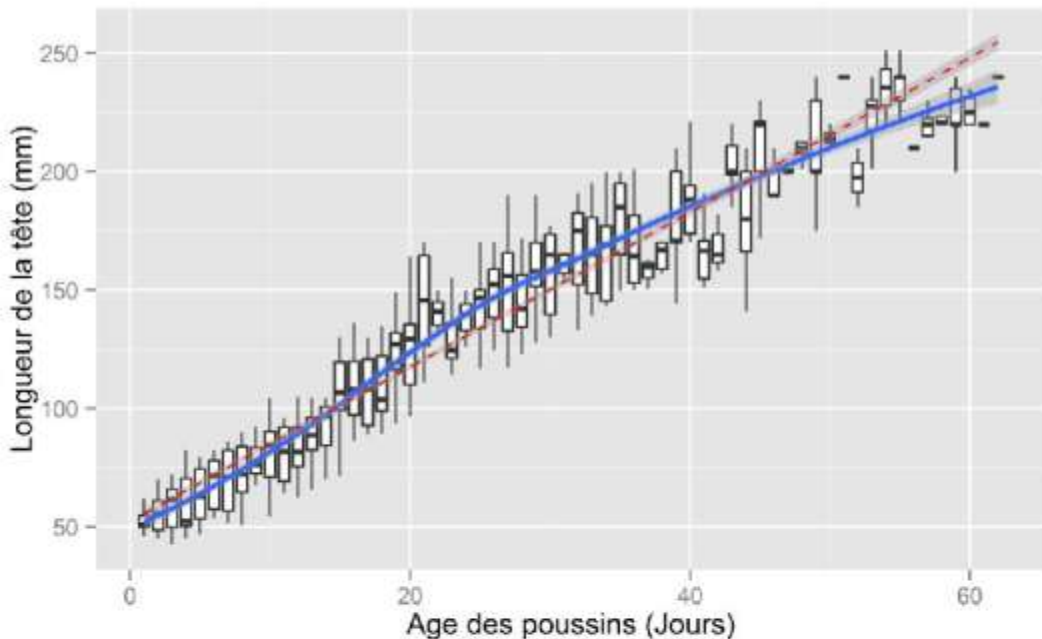


Figure 2. Croissance journalière de la longueur de la tête des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. Les box plots verticaux décrivent la distribution des données de croissance des poussins durant le même âge. La ligne continue représente une courbe lissée LOESS (locally weighted polynomial) ajustée à un GAM (modèle additif généralisé) avec la région de 95% de confiance en gris clair. La ligne en pointillés est une régression linéaire selon un ajustement GLM avec la région de confiance de 95% en gris clair.

3.4. Croissance de l'envergure

La courbe de croissance de l'envergure des cigogneaux en fonction de leur âge semble avoir une forme de S (s-shaped) (Fig. 3). Les modèles testés pour modéliser les données de cette croissance ont montré une croissance non-linéaire bien ajustée avec le modèle de Weibull (Tableau 2, 4). Les résumés des différents modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation de la croissance de l'envergure sont récapitulés dans l'Annexe 4.

Selon le résumé des paramètres du modèle de Weibull (Tableau 4), les deux asymptotes supérieure et inférieure (paramètres A et B, respectivement), la constante de vitesse de croissance (paramètre C), et la puissance à laquelle l'âge est élevé (paramètre D) étaient très significativement différents de zéro ($P < 0,001$). Les valeurs des paramètres du modèle de Weibull expliquant la courbe de croissance de l'envergure suivant l'âge (en jours) peuvent être écrites comme : $\text{Envergure (cm)} = 196,221 - (180,846 \exp(-\exp(-7,179) \text{ âge}^{2,037}))$

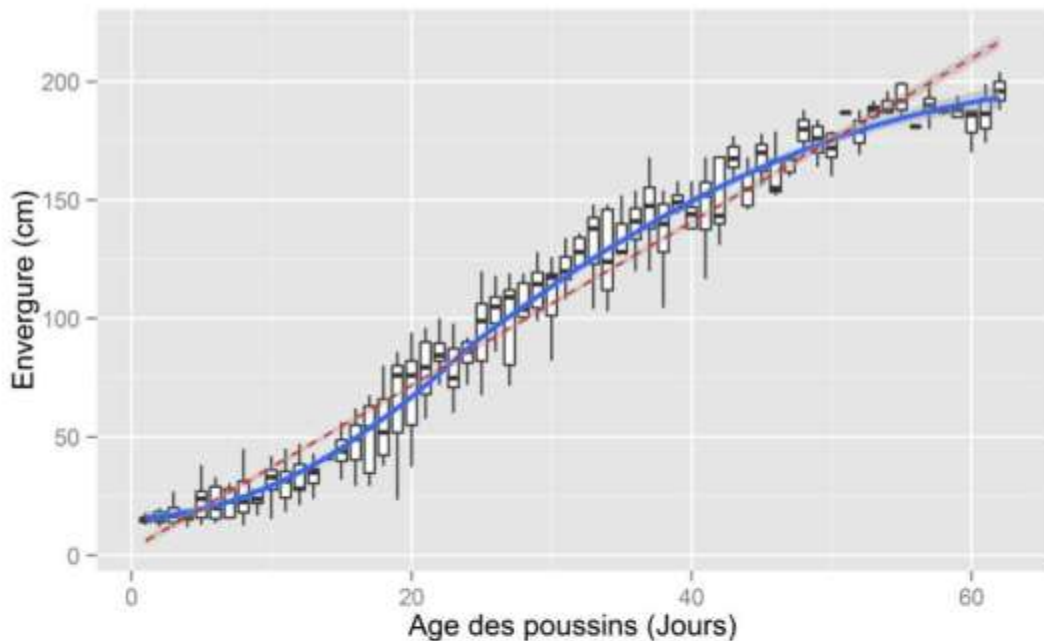


Figure 3. Croissance journalière de l'envergure des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. Les box plots verticaux décrivent la distribution des données de croissance des poussins durant le même âge. La ligne continue représente une courbe lissée LOESS (locally weighted polynomial) ajustée à un GAM (modèle additif généralisé) avec la région de confiance en gris clair. La ligne en pointillés est une régression linéaire selon un ajustement GLM avec la région de confiance de 95% en gris clair.

3.5. Croissance de la longueur du tarsométatarse

La visualisation graphique de la croissance de la longueur du tarsométatarse des cigogneaux en fonction de leur âge indique plutôt une régression sigmoïde que linéaire (Fig. 4). Évidemment, les modèles de croissance testés ont révélé une croissance non-linéaire expliquée avec le modèle de Weibull (Tableau 2, 4). Les résumés des différents modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation de la croissance de la longueur du tarsométatarse sont récapitulés dans l'Annexe 5.

D'après le résumé des paramètres du modèle de Weibull (Tableau 4), les deux asymptotes supérieure et inférieure (paramètres A et B, respectivement), la constante de vitesse de croissance (paramètre C), et la puissance à laquelle l'âge est élevé (paramètre D) étaient très significativement différents de zéro ($P < 0,001$). Selon les valeurs des paramètres du modèle de Weibull, la courbe de croissance de la longueur du tarsométatarse suivant l'âge (en jours) peut être écrite comme :

$$\text{Longueur du tarsométatarse (mm)} = 245,711 - (216,007 \exp(-\exp(-6,407) \text{âge}^{1,889}))$$

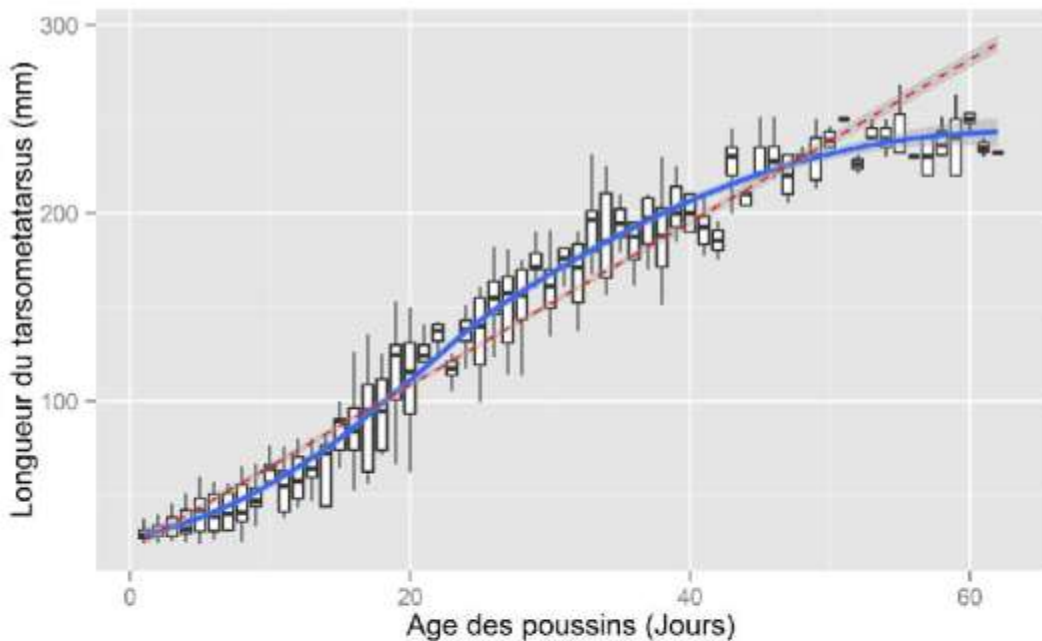


Figure 4. Croissance journalière de la longueur du tarsométatarse des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. Les box plots verticaux décrivent la distribution des données de croissance des poussins durant le même âge. La ligne continue représente une courbe lissée LOESS (locally weighted polynomial) ajustée à un GAM (modèle additif généralisé) avec la région de 95% de confiance en gris clair. La ligne en pointillés est une régression linéaire selon un ajustement GLM avec la région de confiance de 95% en gris clair.

3.6. Croissance du poids corporel

La représentation graphique de la croissance du poids corporel des cigogneaux en fonction de leur âge indique clairement une régression non-linéaire de type sigmoïde (Fig. 5). En effet, les modèles testés précisent que cette croissance non-linéaire est bien ajustée avec le modèle de Gompertz (Tableau 2, 4). Les résumés des différents modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation de la croissance du poids corporel sont récapitulés dans l'Annexe 6.

Selon le résumé des paramètres du modèle de Gompertz (Tableau 4), l'asymptote inférieure (paramètre A) ainsi que les taux de croissance instantanés (B et C) étaient significativement différents de zéro ($P < 0,001$). Les paramètres du modèle de Gompertz expliquant la courbe de croissance du poids corporel suivant l'âge (en jours) peuvent être écrits comme :

$$\text{Poids corporel (kg)} = 4,132 \times \exp(-4,174 \times 0,929^{\text{âge}})$$

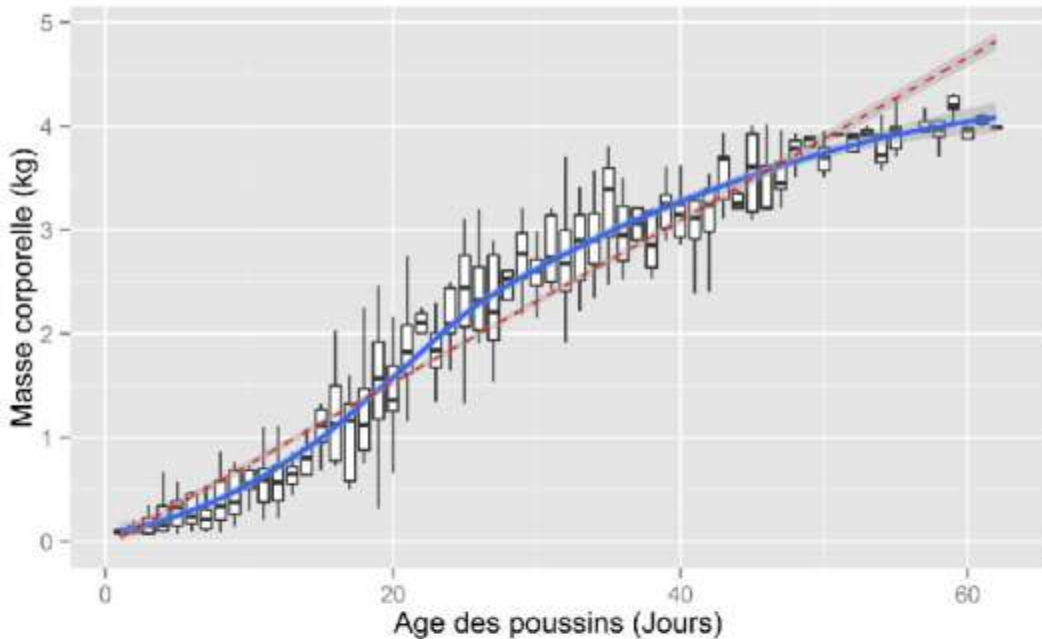


Figure 5. Croissance journalière du poids corporel des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. Les box plots verticaux décrivent la distribution des données de croissance des poussins durant le même âge. La ligne continue représente une courbe lissée LOESS (locally weighted polynomial) ajustée à un GAM (modèle additif généralisé) avec la région de 95% de confiance en gris clair. La ligne en pointillés est une régression linéaire selon un ajustement GLM avec la région de confiance de 95% en gris clair.

3.7. Prédiction des traits biométriques

La prédiction des valeurs de croissance des cinq traits biométriques étudiés en utilisant les onze modèles non-linéaires (avec les fonctions self-starting) et le GLM a permis de tracer les courbes des prédictions dans le même graphique ce qui a permis de visualiser et comparer les différentes tendances des croissances prédictives (Fig. 6). Pour chaque trait biométrique, les courbes des prédictions étaient très proches l'une de l'autre à l'exception de deux courbes aberrantes liées aux modèles de Richards, l'une concerne le modèle logistique à trois paramètres et l'autre le modèle de Gompertz.

Les traits biométriques dont les prédictions se ressemblent le plus étaient le culmen et la longueur de la tête. En plus de l'aberrance des deux précédents modèles dans ces deux traits, le modèle de Michaelis-Menten et la régression asymptotique passant par l'origine présentaient aussi la même tendance qui différaient légèrement des autres modèles. Pour chaque trait biométrique, les courbes des prédictions semblent avoir une allure plus linéaire que non-linéaire, sauf pour le modèle logistique et Gompertz produits du modèle de Richards, qui ont démontré une forme sigmoïde sous forme de S (S-shaped) (Fig. 6).

Les relations testées par les corrélations de Pearson entre les différentes prédictions (différents modèles) de chaque trait biométrique étaient toutes positives avec des coefficients de corrélation très élevés. Toutes les corrélations observées dans les cinq traits biométriques étaient très hautement significatives ($P < 0,0001$) où la majorité des corrélations avaient des coefficients (r) supérieurs à +0,9 (Fig. 7).

Les matrices des corrélations du culmen et de la longueur de la tête étaient très similaires. Tandis que, celles de l'envergure, de la longueur du tarsométatarse et du poids corporel avaient une allure semblable. Dans ces trois dernières matrices, toutes les corrélations des prédictions établies par les différents modèles avaient des coefficients de Pearson qui dépassaient 0,9, sauf pour les corrélations des prédictions du modèle logistique établi selon le modèle de Richards (M9 dans Fig. 7). Ces corrélations avaient des valeurs positives moyennes mais qui étaient toutes significatives ($P < 0,0001$).

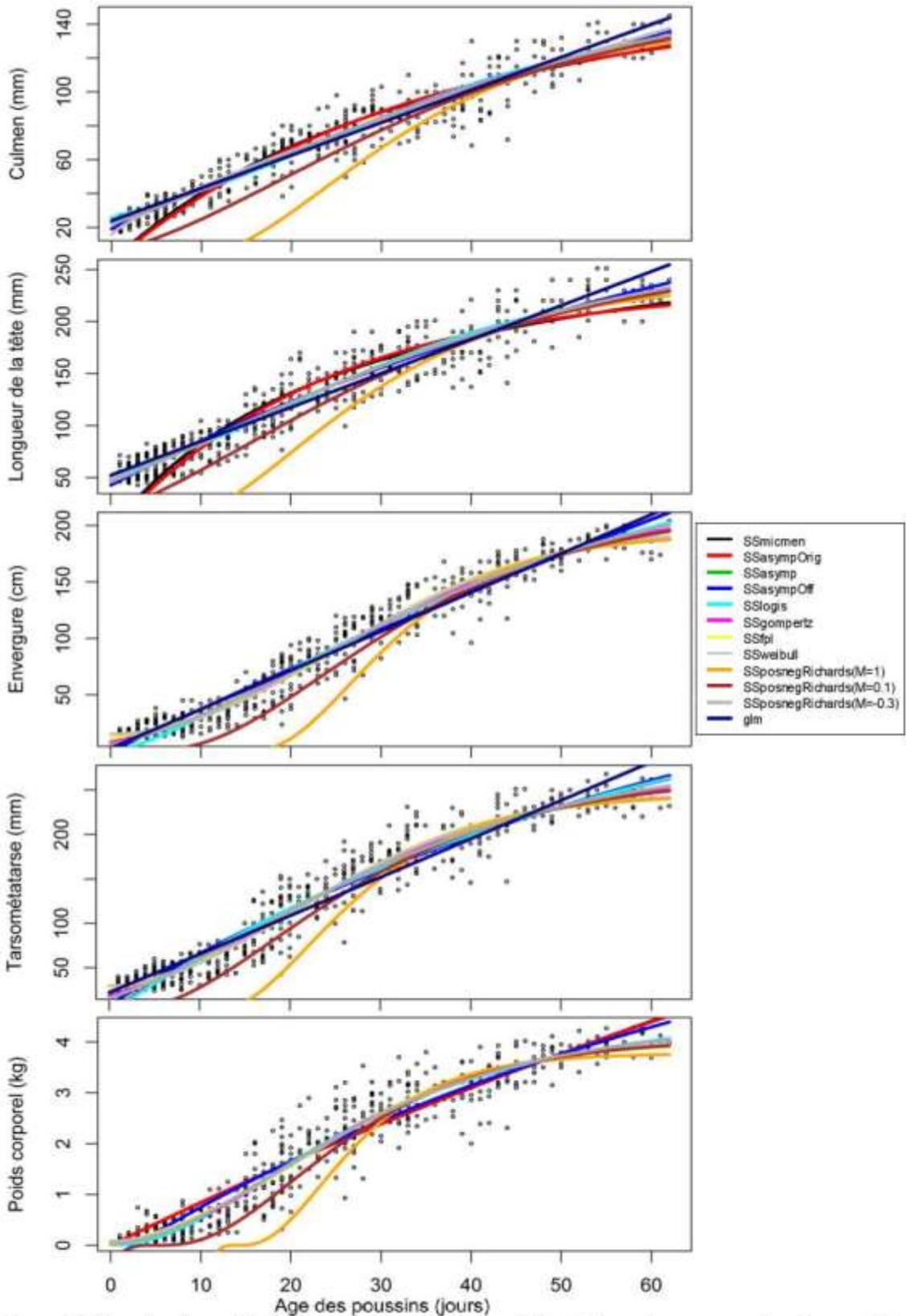


Figure 6. Courbes de prédiction tracées à partir des modèles de la croissance appliqués aux traits biométriques des poussins de cigognes blanches dans la région de Batna. Chaque modèle est codé par sa fonction d'auto-démarrage. Le nuage de points représente les valeurs observées.

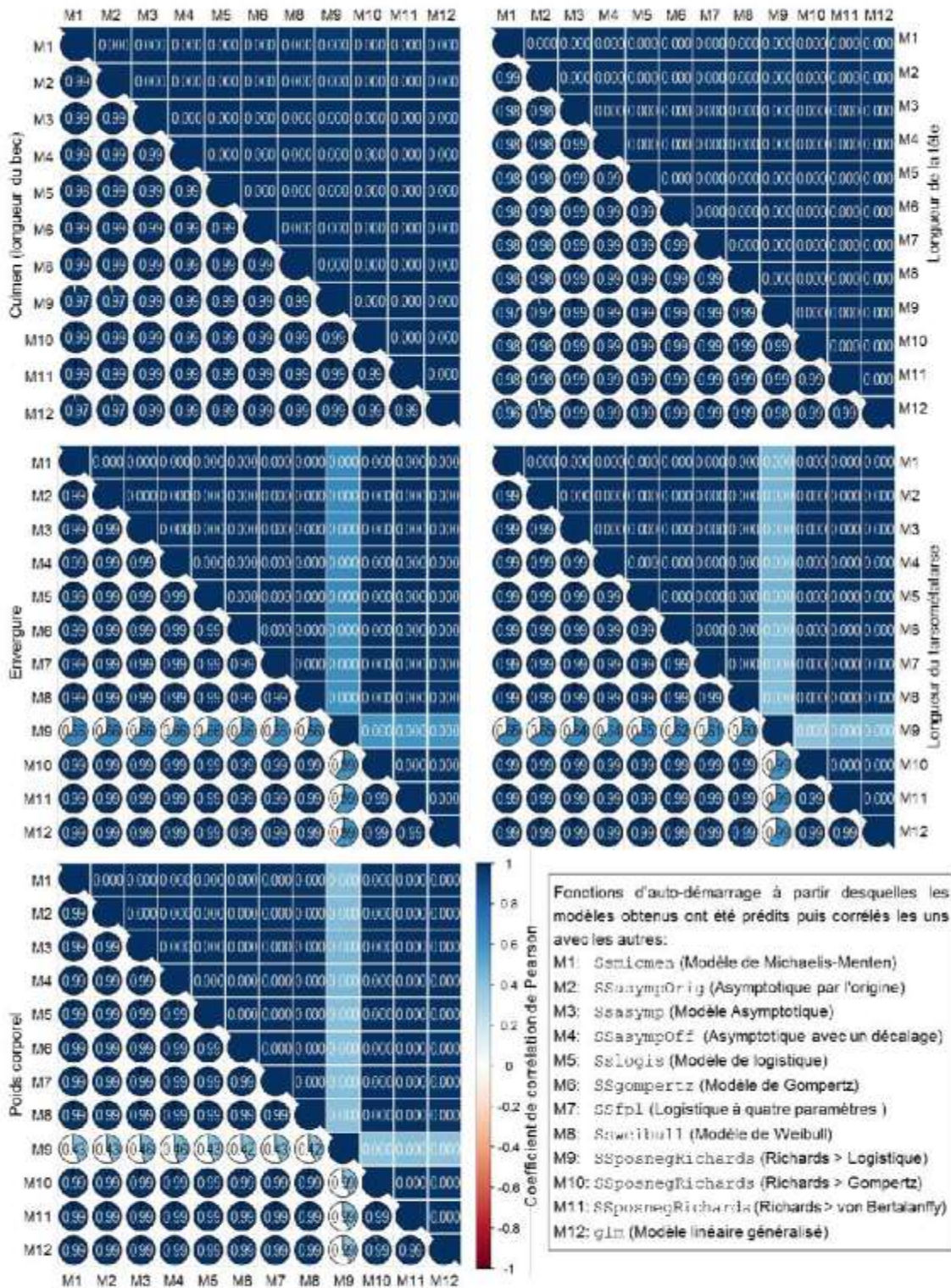


Figure 7. Matrices de corrélations appliquées entre les valeurs prédites de chaque trait biométrique des cigogneaux dans la région de Batna suivant les modèles de croissance non-linéaires (M1–M11) et un modèle linéaire (M12). Les valeurs des tests de corrélation de Pearson sont représentées par les coefficients de corrélation (valeurs au-dessous de la diagonale, représentées également par la couleur et l'intensité de l'ombrage dans les diagrammes circulaires et carrés) et les valeurs de probabilité *P* (au-dessus de la diagonale)

4. Discussion

À partir des divers modèles de croissance étudiés (asymptotiques et sigmoïdes), les modèles de Weibull et Gompertz fournissent de bons ajustements pour les variables de croissance (traits biométriques du corps). Dans cette étude, la combinaison de modèles qui fournissent les asymptotes (supérieure et inférieure), une estimation du temps nécessaire pour atteindre le point d'inflexion, et des taux de croissance instantanée, a été utilisée pour décrire la croissance des caractéristiques du corps de la Cigogne blanche. Certains modèles ne peuvent pas être ajustés pour toutes les caractéristiques du corps des cigogneaux. En outre, les estimations des paramètres de certains modèles ne sont pas faciles à interpréter.

Dans cette étude, l'effet de l'identité du nid est significatif sur les modèles de croissance et les valeurs des paramètres de ces modèles, alors que l'effet de l'identité du nid a été trouvé non significatif dans l'étude de Benharzallah *et al.* (2015).

Selon Ricklefs (1973), le modèle de Gompertz est une approximation raisonnable des paramètres et des patrons de croissance chez les oiseaux. Benharzallah *et al.* (2015) ont montré que le modèle Gompertz n'a pas fourni de bons ajustements aux croissances des poussins de la Cigogne blanche contrairement au modèle logistique. Il est vrai que ces deux modèles sont fréquemment utilisés dans les études biologiques investiguant les courbes de croissance et la dynamique des populations (Kumar, 1998 ; Rodriguez-Brenes *et al.*, 2013 ; Bukhman *et al.*, 2015 ; Higgins *et al.*, 2015). Toutefois, dans la présente étude, ces deux modèles implémentés avec la self-starting fonction `SSposnegRichards()` du package `{FlexParamCurve}` (Oswald *et al.*, 2012) présentent un mauvais ajustement pour les traits biométriques des cigogneaux. Au contraire, la self-starting fonction du modèle de Gompertz implémenté dans R (package `{stats}`) a donné le meilleur ajustement pour le poids corporel des cigogneaux élevés dans la région de Batna.

Les données de croissance de la Cigogne blanche ont été analysées dans des études précédentes en utilisant une approche non paramétrique pour l'ajustement des courbes de croissance (Tsachalidis *et al.* 2005 ; Benharzallah *et al.*, 2015). Il a été affirmé que les modèles logistiques et Gompertz fournissent de bons ajustements. Toutefois, dans la présente étude, le modèle de Weibull était le plus ajusté aux données liées aux différentes longueurs du corps des poussins de la Cigogne blanche, tandis que le modèle de Gompertz était mieux ajusté au poids corporel. En outre, dans cette étude, les modèles non-linéaires à effets mixtes, notamment ceux avec un lissage des variables explicatives (*i.e.* GAMM avec `smooth` de l'âge), sont avérés les meilleurs pour paramétrer les fonctions de croissance. En général, les modèles testés, à savoir le

modèle de Gompertz et logistique ont donné des résultats assez proches (asymptotes inférieurs et supérieurs) à ceux obtenus par les mêmes modèles dans d'autres études (Tsachalidis *et al.* 2005 ; Benharzallah *et al.*, 2015). Il est à noter que plusieurs modèles testés dans cette étude ont donné des courbes de prédictions de la croissance des traits du corps des cigogneaux avec des formes très similaires et très proches l'une de l'autre. Toutefois, l'utilisation de l'AIC permet la distinction entre ces modèles (Zuur *et al.*, 2009 ; Crawley, 2013) et de choisir ainsi les plus pertinents afin de caractériser et paramétrer les différents traits biométriques.

5. Conclusion

Cette étude a porté sur l'ajustement et paramétrisation des courbes de croissance des données de croissance des poussins de la Cigogne blanche en utilisant des approches paramétriques de modélisation basées sur des fonctions d'auto-démarrage et d'autres basées sur des effets linéaires et non-linéaires mixtes. Les modèles de Weibull et de Gompertz ont donné une bonne description de la croissance des traits biométriques des cigogneaux par rapport aux autres modèles de croissance étudiés dans cette étude. Le modèle de Weibull s'est révélé le mieux ajusté pour la croissance du culmen, l'envergure, la longueur de la tête et celle du tarsométatarse, tandis que le modèle de Gompertz a permis de mieux expliquer la tendance de croissance du poids corporel.

Les poussins des cigognes blanches, comme plusieurs autres espèces aviennes, n'atteignent pas la taille adulte du corps à l'émancipation. En fait, ils continuent de grandir après envol du nid durant la période post-émancipation dans leur aire de reproduction et même pendant la période d'hivernage dans leur aire de migration. Il est présumé que la croissance corporelle climacique est celle atteinte à la maturité sexuelle, mais les individus de plusieurs espèces arrivent à la croissance d'un adulte bien avant qu'ils soient matures sexuellement (Ricklefs, 1968, 1973, 1979). Par conséquent, il est recommandé d'étaler l'étude de la croissance des caractéristiques du corps de la Cigogne blanche pendant toute la période d'élevage des poussins et de continuer les mesures après leur envol des nids. Il serait intéressant aussi d'approfondir le travail sur les caractéristiques de croissance par une étude sur la dynamique de croissance relative chez les poussins de deux types de colonies : l'une utilise majoritairement des habitats de gagnage naturels, et l'autre est majoritairement inféodée aux décharges 'habitats artificiels'. Ceci permettrait de suivre et d'évaluer l'effet des différents modes de gagnage sur la croissance et la physiologie des individus et par conséquent étendre cet effet sur le succès de reproduction et la démographie des colonies.

Chapitre 3

“ *Variation du succès de reproduction sur
les pylônes électriques et téléphoniques* ”

Chapitre 3 – Variation du succès de reproduction sur les pylônes électriques et téléphoniques

Résumé

La Cigogne blanche semble être influencée par les activités humaines, notamment dans sa nidification en utilisant des structures artificielles comme support des nids et par conséquent sur sa biologie de reproduction. L'objectif de ce chapitre est d'investiguer la variation de productivité en poussins par nid selon le type des pylônes utilisés dans la nidification et selon la position de nidification. Les caractéristiques des nids et leurs contenus ont été suivis dans la wilaya de Batna durant trois saisons de reproduction 2011-2013. Le nombre des cigogneaux émancipés par nid a été modelé avec un modèle linéaire généralisé mixte de la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCglmm) en incluant le type de la structure de nidification, les caractéristiques du nid et du site de nidification ainsi que la taille de la colonie. Un total de 1198 nids actifs contenant 2362 poussins a été suivi. En moyenne, la Cigogne blanche produit $1,97 \pm 1,18$ poussins/nid dans la région de Batna, avec $1,79 \pm 1,10$ sur les poteaux de haut voltage, $1,96 \pm 1,19$ sur les poteaux de faible voltage, et $2,09 \pm 1,15$ sur les antennes téléphoniques. Le MCMCglmm révèle des effets significatifs des années d'étude, structures artificielles, surface et longueur du nid, taille de la colonie, et distance à l'agglomération et à la route sur le nombre de poussins par nid. La position vis-à-vis de la zone d'agglomération ainsi que la hauteur de la structure n'ont aucun effet. La hauteur de nidification influence le succès de reproduction des nids bâtis sur les poteaux de haut voltage et les antennes téléphoniques. La productivité de la Cigogne blanche est influencée par le types de la structure artificielle mais pas par la position vis-à-vis les zones d'agglomérations. Cette étude met en évidence les effets de chaque type de structure sur la reproduction ce qui permet de mieux guider les actions de conservation.

Mots-clés : sélection du site de nidification ; succès de reproduction ; structure de l'habitat du nid ; caractéristiques des nids ; pylônes électriques.

Abstract

The White Stork seems to be influenced by human activities, particularly in its nesting ecology when it uses artificial structures as nest support and consequently its reproductive biology is affected. The study current aims to investigate the change in chicks' productivity per nest according to the type of the nesting pylons and the nesting position. The characteristics of

nests and their contents were monitored in the wilaya of Batna during three breeding seasons 2011-2013. The number of fledged chicks per nest was modelled using a Markov Chain Monte Carlo generalized linear mixed model (MCMCglmm) including the type of nesting structure, characteristics of the nest and nest site and colony size. A total of 1198 active nests with 2362 chicks was monitored. On average, the White Stork produced 1.97 ± 1.18 chicks per nest in the region of Batna, with 1.79 ± 1.10 on high voltage electricity pylons, 1.96 ± 1.19 on the low voltage electricity poles, and 2.09 ± 1.15 on telephone masts. The MCMCglmm revealed significant effects of study years, artificial nesting structures, surface and length of the nest, colony size, and closest distance to the agglomeration and to the road on the number of fledged chicks per nest. The position of the nest towards the agglomerating zone and the height of the structure had no effect. The nesting height influenced the reproductive success of nests built on high voltage pylon and telephone masts. The productivity of the White Stork is influenced by the types of artificial structures but not by nest position within urban areas. This study highlights the effects of each type of nesting structure on its reproduction which will help in guiding conservation actions.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; bird protection; nest site selection; breeding success; nest habitat structure; nest characteristics; power pylons.

1. Introduction

Depuis l'existence de l'être humain, il n'a pas cessé de changer l'environnement qui l'entoure que ce soit pour sa demeure, son agriculture et alimentation ou pour ses diverses autres activités. L'urbanisation est la forme la plus durable des changements humains de l'environnement à l'échelle mondiale avec laquelle d'autres structures sont associées et dont leurs conséquences sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes sont irréversibles (McKinney, 2006 ; Ellis & Ramankutty, 2008). Les modifications des paysages associées à l'urbanisation ne concernent pas seulement les constructions des agglomérations mais aussi les édifices et structures artificielles associées, comme les voies de transport ferré ou routier, les structures d'alimentation en électricité, les ponts, les pylônes des télécommunications, les pipes en métal, les diverses barrières et clôtures etc. (Mainwaring, 2015). En tant qu'utilisateurs de la couche inférieure de l'espace aérien, les oiseaux sont directement concernés par ces structures artificielles, particulièrement celles du réseau électrique et téléphonique (Ferrer & Janss, 1999 ; Tryjanowski *et al.*, 2014 ; Maricato *et al.*, 2016).

Parmi les avantages de ces structures artificielles est qu'elles offrent de sites de nidification dans des zones limitées de ces sites de nidification. Donc elles permettent aux espèces de s'y installer

dans des zones proches à leur zones gagnage et de reproduction favorables (Infante & Peris, 2003 ; Mainwaring, 2015). Aussi, ces structures offrent des gîtes plus sécurisés contre les prédateurs, surtout si la structure de nidification est liée aux activités journalières de l'homme ou sa présence qui repoussent ces prédateurs (Møller, 2010). Cependant, ces structures présentent des effets négatifs comme l'électrocution, la collision et les pollutions électromagnétique et sonore (Janss & Ferrer, 2001 ; Halfwerk *et al.*, 2011 ; Mainwaring, 2015 ; Balmori, 2016).

Les pylônes d'électricité de haut voltage sont le plus souvent aménagés en dehors des zones bâties, alors que celles de faible voltage sont installés au sein des agglomérations. Ceci impose des exigences particulières en matière de planification et de pondération minutieuse des intérêts (Kaluga *et al.*, 2011 ; Tryjanowski *et al.*, 2014). Par ailleurs, les nids des oiseaux qui nichent abondamment sur les pylônes d'électricité peuvent entraîner des pannes graves dans les réseaux électriques conduisant à un service d'alimentation de mauvaise qualité (Araújo *et al.*, 2013).

Les principaux dangers des pylônes et poteaux des réseaux électrique ou téléphonique sur les oiseaux résident dans le risque d'électrocution, la collision, la pollution électromagnétique et la modification de l'habitat (Infante & Peris, 2003 ; Lasch *et al.*, 2010 ; Martin, 2011). Ces dangers peuvent avoir pour résultat une perte des fonctions de l'habitat avec des conséquences drastiques sur la biologie de reproduction des espèces sauvages (Balmori & Hallberg, 2007 ; Everaert & Bauwens, 2007 ; Kaluga *et al.*, 2011 ; Vaitkuvienė & Dagys, 2014). Les oiseaux sont singulièrement affectés négativement par les champs électromagnétiques (Balmori, 2005). Ce qui se traduit à long terme par des impacts néfastes sur la reproduction et la croissance dues à des changements dans le comportement et la physiologie endocrinienne et immunitaire (Fernie & Reynolds, 2005 ; Janiszewski *et al.*, 2015). Toutefois, un effet positif des lignes et pylônes d'électricité est noté chez certains groupes écologiques d'oiseaux qui utilisent ces structures non seulement pour nidification, mais aussi pour percher/chasser, chanter ou se reposer (Tryjanowski *et al.*, 2014).

Comme la Cigogne blanche est une espèce synanthropique et en manque de structures pour la nidification à proximité des zones urbaines, elle est confrontée à utiliser des structures artificielles disponibles comme sites de nidification (Janiszewski *et al.*, 2015). Parmi ces structures qui ne sont pas intentionnellement fournies pour la nidification des oiseaux : les maisons, les bâtiments inhabités comme les granges et les usines, et les pylônes de diverses formes et utilisations (électricité, télécommunication, signalisation...). L'utilisation de ces diverses structures pour la nidification renseigne sur la plasticité écologique de l'espèce qui lui a permis de garder une croissance régulière dans les effectifs de ses populations, surtout dans les colonies nord africaines (Moali-Grine, 2007, 2012), et même récemment dans le continent européen (Itonaga *et al.*, 2011 ; Vaitkuvienė & Dagys, 2015 ; Cuadrado *et al.*, 2016).

Les causes explicatives des augmentations dans les tailles des populations de la Cigogne blanche ont été attribuées principalement à (i) taux élevé de la survie des jeunes "nouveaux recrutements", (ii) amélioration des conditions d'hivernage (Moali-Grine, 2007), (iii) changement dans les habitudes de gagnage en exploitant de nouvelles ressources, notamment les décharges (Sanz-Aguilar *et al.*, 2015 ; Djerdali *et al.*, 2016 ; cf. Chapitre 5), et (iv) modification dans les habitudes de migration, dont certains oiseaux ne migrent pas aux sites d'hivernage (Massemin-Challet *et al.*, 2006 ; Sanz-Aguilar *et al.*, 2015 ; Cuadrado *et al.*, 2016). Les études investiguant les facteurs environnementaux affectant le choix du site de nidification et le succès reproductif sont assez nombreuses (Janss & Sanchez, 1997 ; Vergara *et al.*, 2010 ; Onmuş *et al.*, 2012 ; Bourriach *et al.*, 2015). Toutefois, les aspects liés à l'écologie de nidification et l'effet des structures artificielles et du site de nidification sur la reproduction et la dynamique des populations ont été largement négligés.

Ainsi, l'objectif de cette étude est d'investiguer le succès de reproduction de la Cigogne blanche nichant sous des conditions arides et semi-arides de l'Afrique du nord en relation avec des structures artificielles de nidification (pylônes d'électricité et de téléphone) et les caractéristiques du site de nidification, notamment la localisation de la colonie au sein ou en dehors des agglomérations. Donc on teste si le type de la structure de nidification affecte la productivité de la Cigogne blanche. Si le type de structure de nidification affecte le succès de reproduction, nous prédisons un taux de productivité plus bas dans les nids bâtis sur des structures ayant un risque élevé d'électrocution/collision (pylônes d'électricité de haut voltage) ou d'électromagnétisme (pylônes téléphoniques). En plus, en assumant que la prédation aérienne décroît dans le centre des agglomérations par rapport à la périphérie (Jokimäki *et al.*, 2005), on s'attend à une augmentation dans le succès de reproduction dans les nids des colonies situées au centre des villes/villages contre celle de la périphérie.

Si le succès reproductif est affecté selon les deux précédents variables, la productivité en poussins est attendue plus élevée chez les couples ayant construit leurs nids plus haut au sein de la structure. La position élevée de nidification offre des conditions de vols plus favorables pour accéder aux habitats de gagnage avec moins d'effort énergétique. Aussi, la nidification plus haut semble avoir des effets profitables pour la Cigogne blanche afin de surmonter les difficultés liées à la taille large de la Cigogne blanche et sa mauvaise manœuvrabilité au vol (Tryjanowski *et al.*, 2006). Par ailleurs, on a testé "est-ce que le succès de reproduction est dépendant de la densité de la colonie ?". Finalement, nous avons analysé les relations entre le succès de reproduction et les paramètres du nid, à savoir la longueur verticale du nid, sa surface, la distance à l'immeuble le plus proche, et la distance à la route.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

L'étude a été menée dans le Nord-est algérien, dans la wilaya de Batna qui comprend 1,3 M habitants sur une surface de 12039 km² (Fig. 1). La surface totale des terres agricoles est estimée à 8484,1 km² avec 49,5% des terres utiles et 40,6% des parcours de pâturage. Le climat est méditerranéen semi-aride avec deux périodes par année ; période humide s'étendant sur 8 mois (octobre-mai) et période sèche (juin-septembre) caractérisée par de très faibles précipitations et une température moyenne de 27 °C.

Les paysages dominants sont les montagnes et les plaines, où on rencontre une végétation forestière dominée par le chêne vert (*Quercus ilex*), le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*). Les plaines sont occupées par soit des cultures céréalières (principalement blé dur *Triticum durum* et de l'orge *Hordeum vulgare*) ou par une végétation spontanée (*Artemisia herba-alba* et *Atriplex halimus*) sous formes de d'écosystèmes steppiques utilisés comme des parcours de pâturage des ovins, des caprins et des bovins.

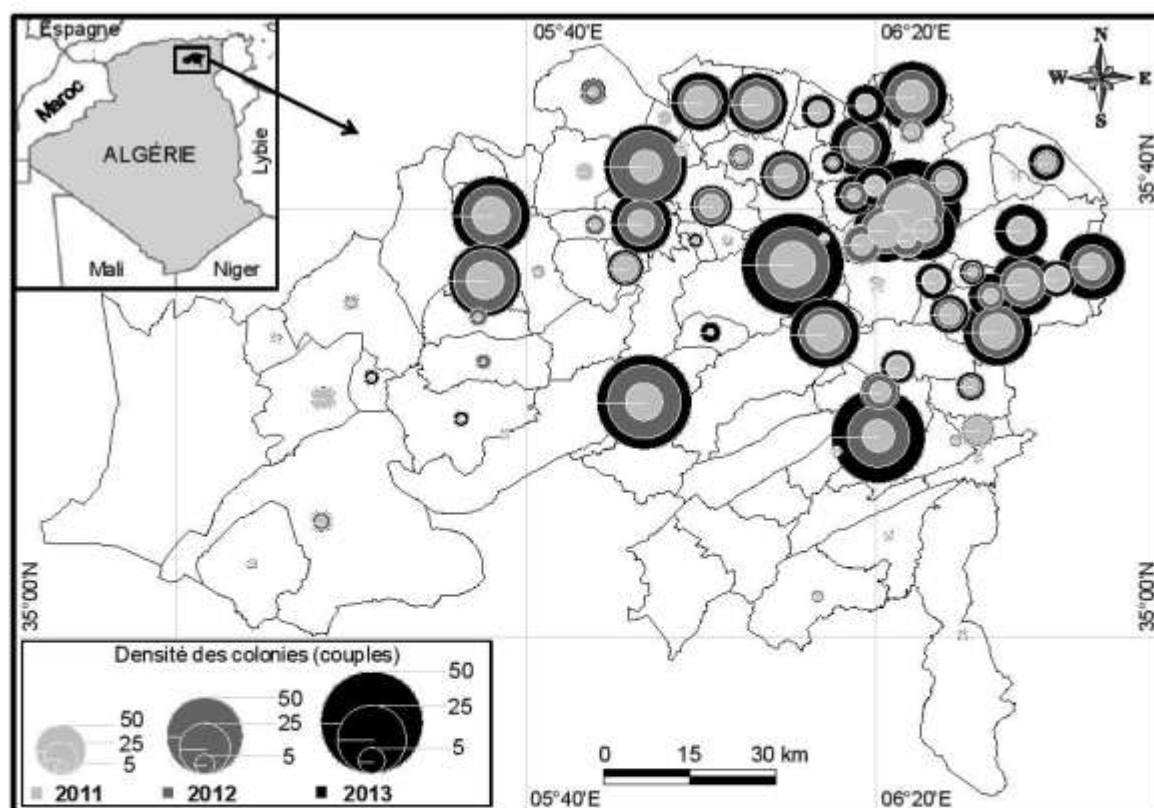


Figure 1. Localisation de la wilaya de Batna, en Algérie, avec les résultats des recensements des colonies de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) pour la période 2011-2013

2.2. Recensement des nids

Les nids des cigognes blanches ont été recensés dans toutes les colonies de la wilaya de Batna au cours de trois années consécutives 2011–2013. Durant chaque année, les recensements des nids et des couples reproducteurs ont été effectués pendant 10–15 jours durant le mois de juin. Cette période de l'année a été sélectionnée afin d'estimer le nombre des poussins qui survivront fort probablement jusqu'à l'âge de l'émancipation du nid. Les recensements sont déroulés durant toute la journée de 07:00 jusqu'à 18:00. Presque la totalité du territoire de la wilaya a été couverte lors de ces recensements qui ont été réalisés à l'aide d'un véhicule 4x4. Durant les trois années d'étude, les comptages des nids des cigognes ont été réalisés avec un effort d'échantillonnage assez homogène. Le plus souvent, deux à trois personnes, au minimum, accompagnées du conducteur du véhicule, observent et comptent le contenu des nids de la Cigogne blanche.

2.3. Collecte des données

Pour chaque nid de la Cigogne blanche observé, les paramètres suivants ont été prélevés pour le site du nid, la colonie, l'assise sur laquelle le nid est construit, les dimensions du nid, et son contenu :

1. La localisation géographique et administrative du nid et de la colonie,
2. La localisation du nid par rapport à la zone d'agglomération, (i) nid localisé au centre de l'agglomération, ou (ii) nid installé à la périphérie ou en dehors de l'agglomération,
3. Le type de support du nid, dont on a pris en considération trois types artificiels (1 : poteau d'électricité de faible voltage, 2 : pylônes d'électricité de haut voltage, 3 : pylônes de téléphone et télécommunication). La Cigogne blanche utilise aussi différentes espèces d'arbres (vivants ou morts) et les toits de différents types d'édifices comme supports de nid, mais ces derniers n'ont pas été inclus dans la présente étude,
4. La distance approximative entre le nid et l'édifice la plus proche (en m, ± 10 m),
5. La distance approximative entre le nid et la route la plus proche (en m, ± 10 m),
6. La hauteur de la structure supportant le nid, estimée comme la hauteur verticale entre la surface du sol et le point le plus élevé de la structure, en m $\pm 0,5$ m),
7. La hauteur de nidification, représente la hauteur verticale entre le sol et l'emplacement du nid, $\pm 0,5$ m),
8. Les dimensions du nid, à savoir : (i) la longueur verticale ou la hauteur du nid, et (ii) la surface du nid : estimée à partir de largeur du nid à l'aide de la formule : surface = $\pi \times \text{largeur}^2$.
9. Occupation (ou non) du nid par des adultes. L'occupation du nid est confirmée par la présence d'un adulte mâle et/ou femelle ou au moins un poussin dans le nid. Les nids non occupés ont été exclus des analyses statistiques,

10. Le nombre des poussins dans chaque nid. Ce paramètre est utilisé pour déterminer le succès de reproduction des nids recensés. Lors des recensements, l'âge des poussins est dans les environs de 6–9 semaines, ainsi le nombre de poussins présents à cet âge est considéré comme les poussins à émanciper. Les poussins sont facilement distinguables des adultes par la couleur noire de leurs becs et pattes, alors qu'elle est rouge chez les parents.

2.4. Analyse statistique

En utilisant les données des années 2011–2013, les influences des paramètres du site de nidification et les caractéristiques des nids sur la production de poussins de la Cigogne blanche ont été étudiées en utilisant un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM). Les effets de toutes les variables liées au site de nidification et les paramètres du nid sur le nombre de poussins par nid ont été simultanément testés à l'aide d'un modèle MCMCglmm. Un MCMCglmm est un échantillonneur Monte Carlo par chaîne de Markov pour les GLMMs multivariées avec un accent particulier sur les effets aléatoires corrélés. Le modèle est basé sur une MCMC (Markov Chain Monte Carlo) bayésienne au lieu du maximum de vraisemblance (ML : maximum likelihood) ou maximum de vraisemblance restreint (REML : restricted maximum likelihood) (Hadfield, 2010 ; Hadfield & Nakagawa, 2010).

Le MCMCglmm construit comprend les années d'étude, les types de structures de nidification, et l'emplacement des sites de nidification comme facteurs explicatifs ; tandis que la hauteur de nidification, la hauteur de la structure de nidification, la surface du nid, la longueur du nid, la taille des colonies, la distance aux agglomérations et la distance à la route ont été incluses comme variables prédictives continues. Pour tester notre hypothèse et les suppositions (voir Introduction), les interactions suivantes ont été incluses dans le modèle : Structure de nidification \times emplacement du site du nid, Structure de nidification \times hauteur de nidification, Emplacement du site du nid \times hauteur de nidification.

Pour le nombre de poussins par nid 'données de comptage', la famille "Poisson" a été utilisée dans MCMCglmm, ceci permet de prendre en considération la surdispersion des données (Hadfield, 2010). Outre le processus de Poisson, la plupart des plus de la surdispersion a été capturée en ajustant "colonie" comme un effet aléatoire dans le modèle. Les colonies de Cigogne blanche ont été considérées comme pseudoreplications, où les recensements ont été régulièrement menés (Bolker *et al.*, 2009). La modélisation statistique a été réalisée en utilisant le package {MCMCglmm} (Hadfield, 2010), alors que le package {ggplot2} (Chang, 2013) a facilité l'établissement des graphiques. Toutes les analyses ont été réalisées avec le logiciel R version 3.2 (R Core Team, 2016).

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des nids et des sites de nidification

Dans la présente étude, la hauteur moyenne (\pm SD) des structures de nidification était de $41,8 \pm 10,2$ m pour les pylônes de haut voltage, $9,4 \pm 1,8$ m pour les poteaux d'électricité de faible voltage et $22,7 \pm 12$ m pour les antennes de téléphone. En général, la hauteur de nidification varie de 3 à 50 m avec une moyenne de $13,5 \pm 7,9$ m. La surface du nid construits en périphérie était $1,5 \pm 0,8$ m² et celle des nids centraux était $1,9 \pm 0,9$ m². La taille des colonies était plus large dans le centre des agglomérations avec $21,2 \pm 12,5$ couples par rapport à la périphérie ($24,9 \pm 14,1$ couples). En moyenne, les colonies étudiées dans la région de Batna renferment $23,7 \pm 13,8$ couples. La distance du nid à l'agglomération la plus proche est estimée à $16,7 \pm 37,7$ m. Tandis que la distance des nids suivis à la route la plus proche était de $39,1 \pm 79,2$ m. Le détail des caractéristiques des nids est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des nids et des sites de nidification des colonies de la Cigogne blanche surveillées dans la wilaya de Batna (Nord-est algérien). Les valeurs sont données en moyenne \pm écart-type avec l'étendue entre des crochets.

Paramètres	Localisation du site du nid					Total
	Position vis-à-vis la zone urbaine		Structure de nidification			
	Périphérie	Centre	Pylône de haut voltage	Pylône de bas voltage	Pylône téléphonique	
Hauteur de la structure de nidification [m]	11,4 \pm 4,3 [3 – 35]	16,0 \pm 10,5 [3 – 70]	41,8 \pm 10,2 [10 – 50]	9,4 \pm 1,8 [5 – 30]	22,7 \pm 12,0 [6 – 70]	14,5 \pm 9,2 [3 – 70]
Hauteur de nidification [m]	11,1 \pm 4,0 [3 – 35]	14,7 \pm 9,0 [3 – 50]	37,0 \pm 11,2 [10 – 50]	9,4 \pm 1,7 [5 – 30]	20,0 \pm 8,6 [6 – 50]	13,5 \pm 7,9 [3 – 50]
Surface du nid [m ²]	1,5 \pm 0,8 [0,3 – 4,2]	1,9 \pm 0,9 [0,3 – 5,7]	1,8 \pm 1,1 [0,3 – 4,9]	1,6 \pm 0,8 [0,3 – 4,9]	1,5 \pm 0,9 [0,3 – 3,8]	1,8 \pm 0,9 [0,3–5,7]
Longueur du nid [cm]	71,8 \pm 20,7 [10 – 150]	72,7 \pm 24,1 [10 – 180]	69,8 \pm 19,0 [15 – 110]	74,1 \pm 22,3 [10 – 180]	67,4 \pm 25,4 [10 – 160]	72,3 \pm 22,8 [10–180]
Taille de la colonie [couples]	21,2 \pm 12,5 [1 – 50]	24,9 \pm 14,1 [1 – 50]	43,5 \pm 9,2 [2 – 50]	18,3 \pm 10,4 [1 – 50]	19,6 \pm 14,4 [1 – 50]	23,7 \pm 13,8 [1 – 50]
Distance à l'agglomération la plus proche [m]	21,2 \pm 43,0 [0 – 500]	14,6 \pm 34,7 [0 – 500]	34,0 \pm 30,3 [2 – 150]	19,7 \pm 40,2 [0 – 500]	10,0 \pm 25,0 [0 – 170]	16,7 \pm 37,7 [0 – 500]
Distance à la route la plus proche [m]	56,7 \pm 101,9 [0 – 1000]	30,7 \pm 64,2 [0 – 800]	49,6 \pm 49,7 [5 – 200]	58,4 \pm 106,1 [0 – 1000]	11,3 \pm 22,2 [0 – 200]	39,1 \pm 79,2 [0–1000]

Au cours de la période d'étude s'étendant entre 2011–2013, un total de 1198 tentatives de reproduction réussies a été suivi, avec 404 en 2011, 387 en 2012 et 407 en 2013. Selon la position du nid en relation avec la zone urbaine, un total de 718 des nids est construit au centre des zones

d'agglomération, tandis que 480 des nids sont observés en périphérique. Dans l'ensemble, nous avons étudié 843 nids construits sur des poteaux électriques de faible voltage, 112 nids sur les pylônes d'électricité de haut voltage et 243 nids sur des pylônes téléphoniques (Fig. 2).

Le nombre total des poussins émancipés durant la période d'étude était 2362 poussins dont 502 poussins en 2011, 994 en 2012 et 866 en 2013. La majorité de ces poussins ($n = 1654$) était produit sur les poteaux de faible voltage, tandis que 200 poussins sont élevés sur les poteaux de haut voltage et 508 sur les pylônes téléphoniques. Du point de vue localisation des nids vis-à-vis les agglomérations, 1457 poussins ont été émancipés à partir de nids situés au centre des agglomérations et 905 poussins en périphérie.

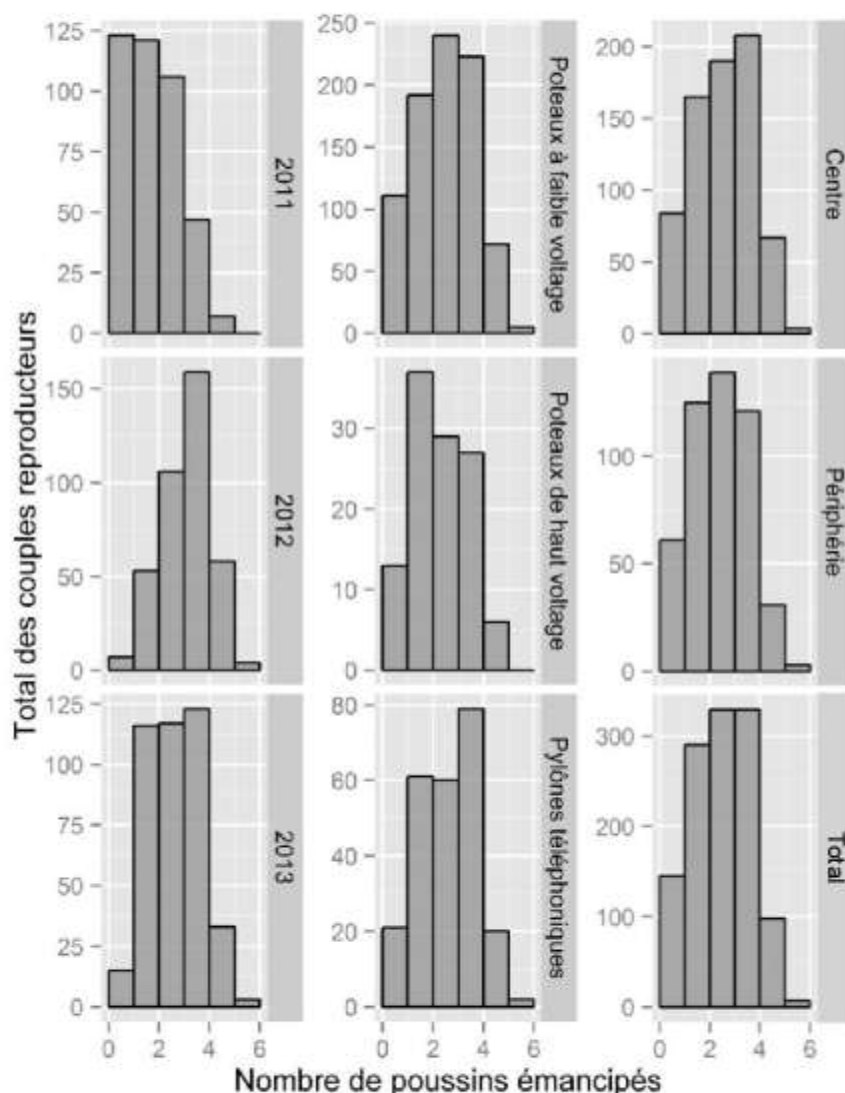


Figure 2. Variation du nombre des poussins émancipés par nid actif selon les années d'étude, le type des structures artificielles de nidification et la position du nid vis-à-vis la zone urbaine dans la wilaya de Batna (Nord-est algérien)

La distribution des couples reproducteurs selon la taille des nichées (Fig. 2) révèle une dominance des nids actifs avec deux et trois poussins avec 329 couples chacun. En 2011, il y a une dominance des nids avec zéro ($n = 123$ nids) et un poussins ($n = 121$). Alors qu'en 2012 et 2013, les nids avec trois poussins sont prépondérants avec respectivement 159 et 123 nids. Sur les poteaux de haut voltage, les couples ayant un poussin émancipé dominant. Tandis que les nids bâtis sur les poteaux de faible voltage produisent fréquemment deux poussins ($n = 240$ nids) ou trois poussins ($n = 223$ nids).

La majorité des couples établis sur les antennes téléphoniques ($n = 79$) ont réussi à produire trois poussins. En ce qui concerne la position du nid vis-à-vis la zone d'agglomération, les nids avec 1 à 3 poussins dominant dans le centre et la périphérie (Fig. 2).

3.2. Modélisation du succès de reproduction

D'après les paramètres du modèle linéaire généralisé mixte établi suivant la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov "MCMCglmm", la productivité de la Cigogne blanche diffère significativement entre les années d'étude et les structures artificielles de nidification. Toutefois, elle ne varie pas entre les deux positions du site de nidification vis-à-vis la zone d'agglomération (Tableau 2).

Dans la région de Batna, la Cigogne blanche a une production moyenne de $1,97 \pm 1,18$ poussins par nid sur les structures artificielles de nidification. La reproduction en 2011 a été beaucoup plus faible (moyenne de $1,24 \pm 1,06$ poussins) par rapport à 2012 ($2,57 \pm 1$ poussins) et 2013 ($2,13 \pm 1,05$ poussins) qui avaient significativement des productivités supérieures ($P < 0,001$). Selon la structure de nidification, les pylônes de haut voltage présentaient une productivité significativement inférieure ($P < 0,001$) avec $1,79 \pm 1,10$ poussins par rapport à celle observée sur les poteaux de faible voltage ($1,96 \pm 1,19$ poussins). Cette dernière ne différait pas statistiquement ($P = 0,692$) de celle observée sur les antennes téléphoniques ($2,09 \pm 1,15$ poussins) (Tableau 2, Fig. 3).

Concernant la variation du nombre des poussins suivant la position des nids vis-à-vis les agglomérations, le modèle prouve que la reproduction observée sur des nids localisés au centre des zones urbaines ($2,03 \pm 1,19$ poussins) ne différait pas ($P = 0,764$) de celle des nids périphériques ($1,89 \pm 1,15$ poussins) (Tableau 2, Fig. 3).

Tableau 2. Paramètres du modèle linéaire généralisé mixte selon la méthode Monte Carlo par Chaîne de Markov (MCMCglmm) testant la variation du nombre des poussins par nid de la Cigogne blanche nichant sur des structures artificielles dans la région de Batna (Nord-est algérien)

Paramètres	post.mean	l-95% CI	u-95% CI	eff.samp	P	Sig.
Intercept	-0,084	-0,317	0,153	2,100	0,422	^{ns}
Année [2012]	0,573	0,496	0,626	2,124	<0,001	***
Année [2013]	0,639	0,583	0,702	3,999	<0,001	***
Structures de nidification [pylône de haut voltage]	-1,023	-1,308	-0,494	3,151	<0,001	***
Structures de nidification [Pylônes téléphoniques]	-0,065	-0,208	0,082	5,668	0,692	^{ns}
Position du site du nid [Périphérie]	0,009	-0,101	0,232	3,840	0,764	^{ns}
Pylônes de haut voltage × Périphérie	0,047	-0,210	0,392	8,414	0,956	^{ns}
Pylônes téléphoniques × Périphérie	-0,034	-0,144	0,119	4,961	0,688	^{ns}
Hauteur de la structure de nidification	0,000	-0,007	0,004	5,250	0,924	^{ns}
Hauteur de nidification	-0,013	-0,037	0,007	1,840	0,568	^{ns}
Pylônes de haut voltage × Hauteur de nidification	0,035	0,014	0,058	2,402	<0,001	***
Pylônes téléphoniques × Hauteur de nidification	0,016	0,001	0,035	2,200	0,024	*
Position [Périphérie] × Hauteur de nidification	-0,002	-0,022	0,010	3,845	0,870	^{ns}
Surface du nid	0,170	0,147	0,198	3,101	<0,001	***
Longueur du nid	0,002	0,002	0,003	12,235	<0,001	***
Taille de la colonie	-0,002	-0,004	-0,001	5,801	<0,001	***
Distance à l'agglomération la plus proche	-0,002	-0,002	-0,001	8,721	<0,001	***
Distance à la route la plus proche	-0,001	-0,000	-0,001	2,541	<0,001	***

(post.mean : moyenne de la distribution postérieure, l-95%CI : borne inférieure de 95% d'intervalle de confiance, u-95%CI : borne supérieure de 95% d'intervalle de confiance, eff.samp : échantillonnage effectif, P : probabilité de MCMCglmm, Sig. : codes de signification ; *** : $P < 0,001$, ** : $P < 0,01$, * : $P < 0,05$, ^{ns} : $P > 0,05$)

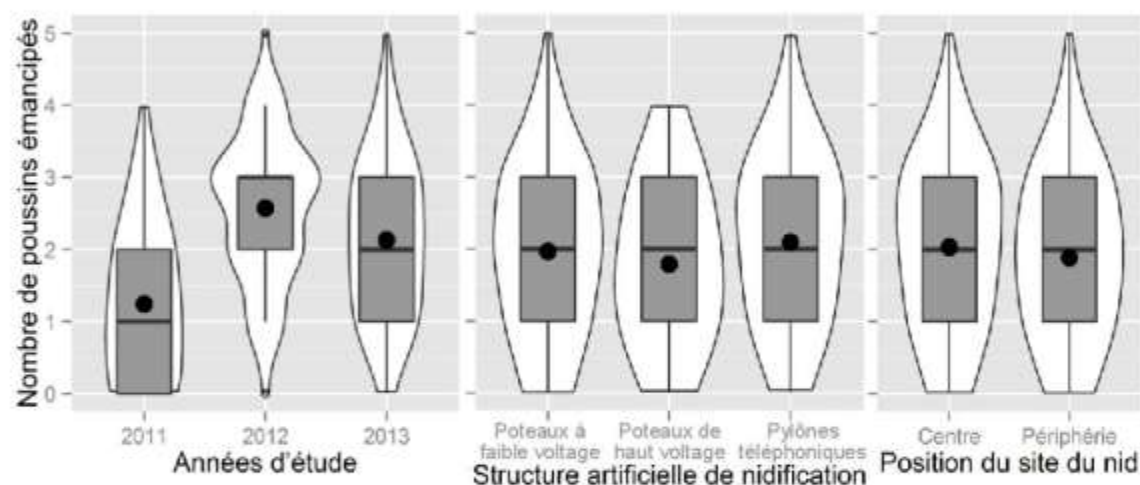


Figure 3. Boxplots superposés sur des violinplots représentant la distribution du nombre des poussins émancipés par année d'étude, structures de nidification artificielles et suivant l'emplacement des sites de nidification dans la région de Batna. Les cercles pleins marquent les valeurs moyennes

3.3. Interaction entre la structure de nidification et la position du nid

La productivité de la Cigogne blanche ne varie pas significativement selon l'interaction des structures de nidification et la position du nid au centre/périphérie de la zone urbaine. Généralement, le nombre de poussins était légèrement supérieur sur les nids périphériques construits sur les pylônes de haut voltage ($2,33 \pm 1,15$ poussins) et les antennes téléphoniques ($2,11 \pm 1,33$ poussins), en comparaison avec les nids centraux ($1,77 \pm 1,10$ et $2,09 \pm 1,12$ poussins, respectivement). Tandis que les nids bâtis sur les pylônes de faible voltage ont une productivité supérieure dans le centre des agglomérations ($2,07 \pm 1,24$ poussins) par rapport à la périphérie ($1,86 \pm 1,14$ poussins) (Fig. 4).

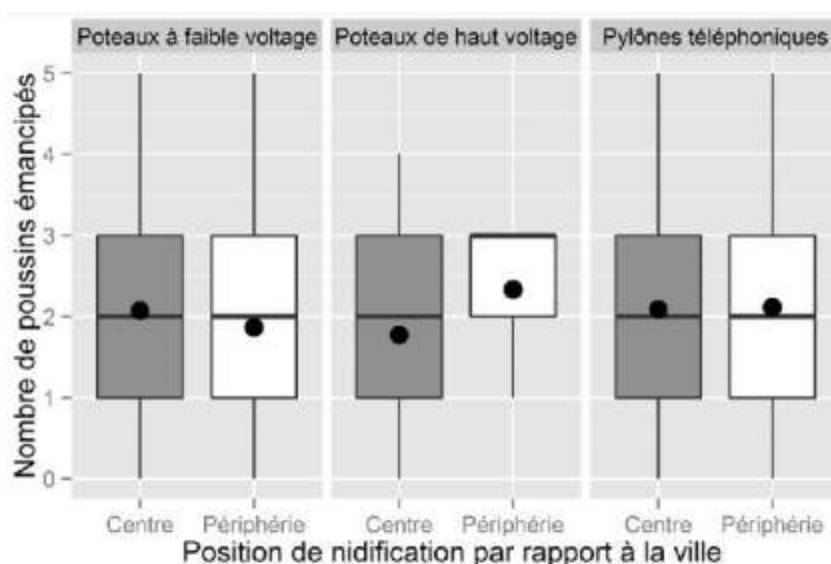


Figure 4. Box plots représentant la variation du nombre de poussins émancipés par nid de la Cigogne blanche selon les structures artificielles de nidification et la position du nid vis-à-vis la zone urbaine dans la région de Batna. Les cercles noirs indiquent la moyenne.

3.4. Effet de la hauteur de nidification

Bien que la hauteur de la structure de nidification et la hauteur de nidification, chacune prise seule, n'ont aucun effet sur la production de la Cigogne blanche, la hauteur de nidification semble influencer positivement le nombre de poussins notamment pour les nids bâtis sur les pylônes de haut voltage ($P < 0,001$) et les antennes téléphoniques ($P = 0,024$). Concernant l'interaction de la position du site du nid avec la hauteur de nidification, le modèle a indiqué une relation négative mais qui n'est pas significative ($P = 0,870$) (Tableau 2, Fig. 5).

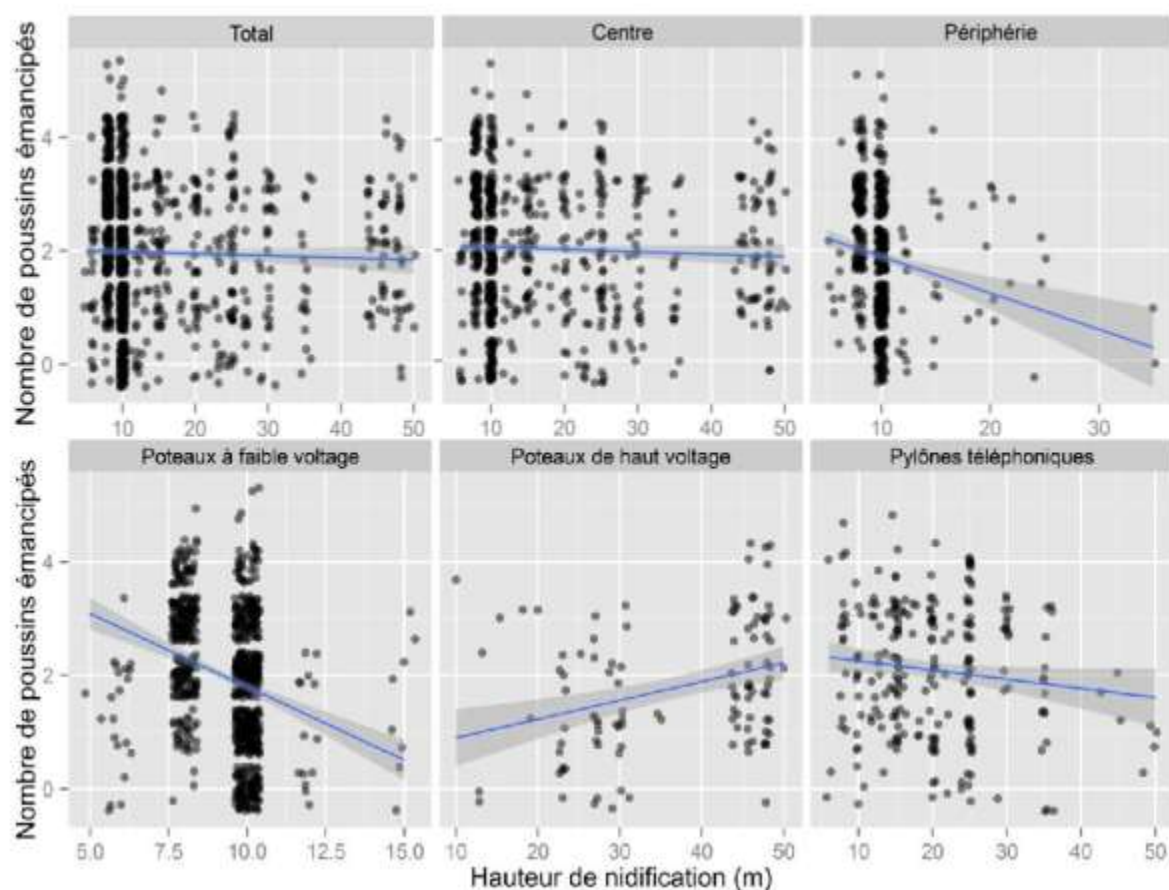


Figure 5. Relation entre le nombre de cigogneaux émancipés par nid et la hauteur de nidification sur trois types de structures artificielles et selon la position de nidification vis-à-vis la zone d'agglomération dans la région de Batna. Les lignes représentent la régression linéaire suivant un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec 95% de la région de confiance en gris clair

3.5. Effet des caractéristiques du nid, de la colonie et du site de nidification

En outre, le MCMCglmm indique que les dimensions des nids (surface et longueur du nid) ont des effets significativement positifs ($P < 0,001$) sur l'augmentation du nombre de poussins émancipés par nid. La hauteur de la structure de nidification ($P = 0,924$) ainsi que la hauteur de nidification ($P = 0,568$) n'ont aucune influence sur la variation du nombre de poussins émancipés (Tableau 2, Fig. 6).

Par ailleurs, la taille de la colonie, la distance du nid à l'agglomération la plus proche et à la route la plus proche ont montré des effets significativement négatifs ($P < 0,001$) sur la productivité de la Cigogne blanche dans la région de Batna (Tableau 2, Fig. 6).

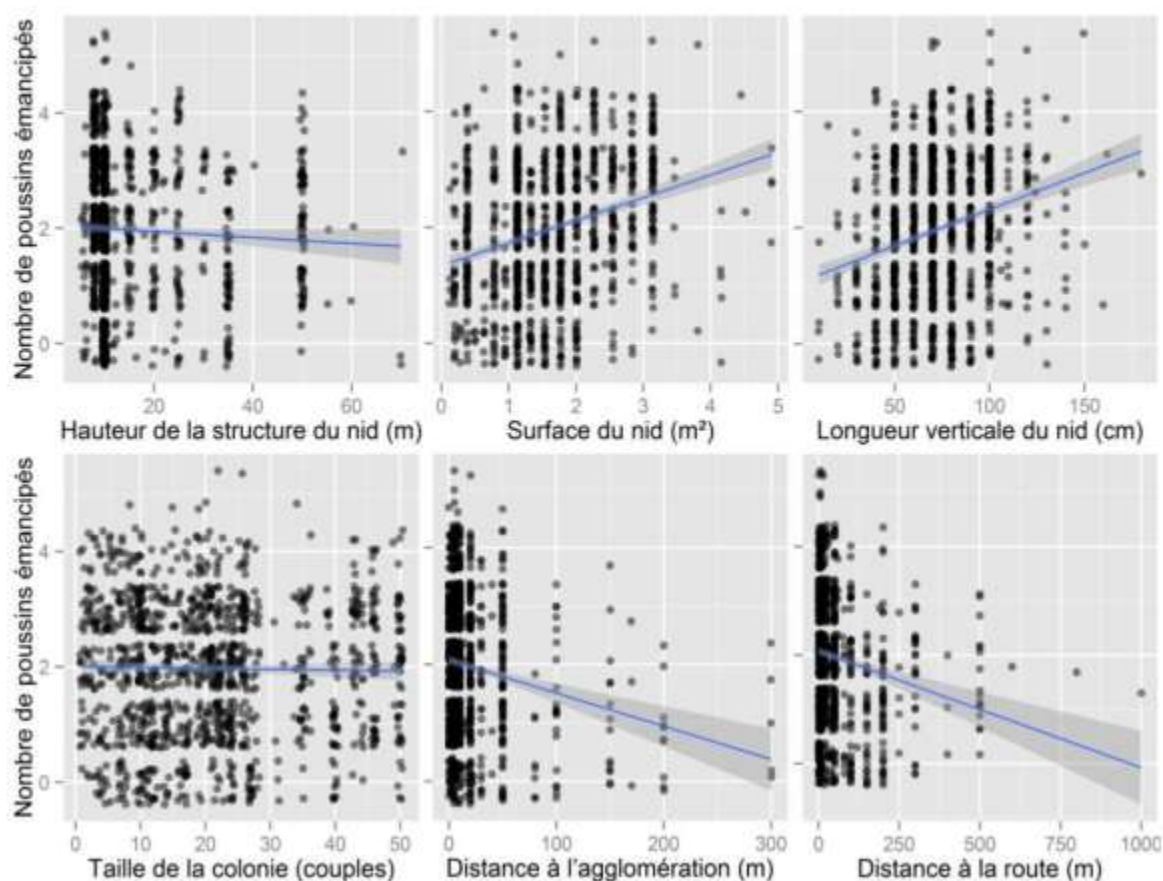


Figure 6. Variation du nombre des poussins émancipés par nid de la Cigogne blanche suivant la hauteur de la structure de nidification, la surface et la longueur du nid, la taille de la colonie, la distance la plus proche à l'agglomération et à la route dans la région de Batna (Nord-est algérien). Les lignes représentent la régression linéaire suivant un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec 95% de la région de confiance en gris clair.

4. Discussion

La Cigogne blanche nicheuse en Algérie est affectée significativement par le type de la structure artificielle des nids. Ceci est dû à l'effet combiné des paramètres de la structure de nidification elle-même et les caractéristiques du site de nidification ainsi que l'habitat de reproduction. Ainsi la modalité des changements dans le succès de reproduction de la Cigogne blanche est dépendante des conditions offertes par les structures de nidification. Les résultats de cette étude confirment que la production des poussins sur les pylônes de haut voltage est significativement inférieure que sur les pylônes de faible voltage ou les pylônes téléphoniques. Ceci s'expliquerait par l'emplacement des pylônes de haut voltage qui sont installés dans des

zones écologiquement de faible qualité (terres peu productives). À cela s'ajoute un risque plus élevé d'électrocution et de collision des parents, ce qui signifie échec total de nidification si ceci se déroule en stade précoce de la reproduction, et/ou des jeunes poussins émancipés, ce qui va se répercuter sur les recrutements de la colonie pour la prochaine année. En effet, la Cigogne blanche occupe une place non négligeable dans les cas d'électrocution et de collision des oiseaux par les pylônes d'électricité (Janss & Ferrer, 2001 ; Martin, 2011).

Le succès de reproduction élevé sur les pylônes de faible voltage et les poteaux téléphoniques revient à la localisation habituelle de ces structures vis-à-vis les habitats d'alimentation. Le plus souvent ces structures sont installées près des communautés humaines qui leur sont associées les habitats de gagnage favorables à la Cigogne blanche comme les terres agricoles irriguées et les prairies. Par conséquent, les nids installés sur ces structures ont un accès rapide aux différents habitats de gagnage très proches, y compris, particulièrement, les décharges dont les ressources alimentaires fournies par ce type d'habitat sont fonction de la densité de la population humaine. En outre, le risque de prédation aérienne des poussins dans les nids situés sur ces structures dans le centre des agglomérations est plus faible dans les zones urbaines en comparaison avec des colonies établies en périphérie des villes ou dans les zones rurales (Jokimäki *et al.*, 2005). Puisque la majorité des rapaces accèdent peu au centre des zones urbaines en comparaison avec leurs parties périphériques composées d'une mosaïque d'habitats où la prédation est plus forte (Picman *et al.*, 2002). Le risque de prédation est élevé dans les zones fréquentées par les prédateurs, puisque les prédateurs des nids ont une mémoire à long terme pour les sites des nids avec récompense (Sonerud & Fjeld, 1987). L'installation de la Cigogne blanche sur des structures localisées au sein des agglomérations est peut-être liée à sa mémoire spatiale d'installation et d'exploitation de son habitat ; ce qui reflète une stratégie pour l'évitement des prédateurs qui esquivent les habitats urbains trop peuplés par l'homme (Møller, 2010 ; Fagan *et al.*, 2013).

Probablement, les nids de la Cigogne blanche construits sur les pylônes d'électricité de faible voltage ne sont pas affectés par les champs électromagnétiques produits par les câbles électriques en comparaison avec les pylônes téléphoniques (Dell'Omo *et al.*, 2009). L'étude des effets des antennes GSM sur les oiseaux est mise en évidence de façon remarquable chez les moineaux domestiques (*Passer domesticus*). Toutes les études révèlent que nombre de moineaux reproducteurs est affecté négativement par le champ électromagnétique émanant des antennes GSM. Parce que les moineaux sont sédentaires et ne s'éloignent généralement pas de leur colonie en dehors d'un périmètre d'un kilomètre (Balmori & Hallberg, 2007 ; Everaert & Bauwens, 2007).

Cette étude suggère que la variation du succès de reproduction chez la Cigogne blanche est due à un choix minutieux des structures de nidification et des sites de reproduction. Ce choix est fondé sur les critères suivants : (i) la localisation proche vis-à-vis des habitats les plus productifs et favorables (Janiszewski *et al.*, 2014; Janiszewski *et al.*, 2015) ; (ii) avec une structure mosaïque et hétérogène des habitats limitrophes pour le gagnage (Kosicki, 2010; Janiszewski *et al.*, 2014) ; (iii) sites proches des agglomération (Si Bachir *et al.*, 2013 ; Tobolka *et al.*, 2013) ; (iv) sites plus sécurisés contre la prédation aérienne et terrestre (Møller, 2010 ; Tryjanowski *et al.*, 2006) ; (v) sites ouvrants aux décharges publiques pour fourrager sur les ordures ménagères (Si Bachir *et al.*, 2013 ; Chenchouni *et al.*, 2015 ; cf. Chapitre 5) ; (vi) intégration dans des colonies larges et denses (Vergara & Aguirre, 2006 ; Si Bachir *et al.*, 2013) qui sont contrôlées principalement par la fidélité au site de nidification (Vergara *et al.*, 2006), mais aussi pour accroître le succès de reproduction puisque dans les grandes colonies, la taille de la colonie diminue le risque de prédation et augmente le taux de survie (Serrano *et al.*, 2005). Cependant, avec une rétroaction négative si la taille des colonies dépasse un seuil tolérable, à partir duquel le succès de reproduction diminue (Serrano *et al.*, 2005) ce qui force les jeunes cigognes de changer leur site de nidification (Itonaga *et al.*, 2011).

Cependant, cette étude a révélé que la taille des colonies des Cigognes blanches affecte négativement le succès de reproduction. Ceci peut être expliqué par le taux élevé de prédation dans les colonies denses par rapport à celle de faible densité. En effet, les impacts de la prédation dans les grandes colonies de nidification sont connus pour affecter négativement les nids ayant une position centrale au sein de la colonie que ceux de la périphérie (Brunton, 1997). En outre, le succès de la reproduction chez la Cigogne blanche peut devenir dépendant de la densité en colonies avec une densité très élevée où les compétitions intraspécifiques pour les sites de nidification et les milieux d'alimentation deviennent plus élevées, ce qui détermine ainsi les survies des adultes et des poussins ainsi que la dispersion spatiale des individus (Serrano *et al.*, 2005 ; Chernetsov *et al.*, 2006 ; Itonaga *et al.*, 2011).

Pour des fins techniques, les pylônes téléphoniques sont installés au centre-ville ou près des agglomérations pour assurer une bonne couverture téléphonique, ceci offre aux nids une bonne localisation vis-à-vis les habitats de bonne qualité pour le gagnage (Infante & Peris, 2003 ; Mainwaring, 2015). Ainsi une bonne alimentation des parents et des poussins signifie un succès de reproduction plus élevé, et par conséquent une colonie plus dense. En ce qui concerne l'habitat, la plupart des colonies denses de cigognes blanches dans la zone d'étude sont établies à proximité des décharges (Si Bachir *et al.*, 2013), où la nourriture est abondamment disponible pour les oiseaux tout au long de la saison de reproduction (Chenchouni *et al.*, 2015).

La faible production des poussins de cigognes blanches sur les pylônes de haut voltage et la haute production sur les pylônes de téléphone et d'électricité de faible voltage peuvent être expliquées par une forte prédation dans le premier type de structure où les nids sont concentrés dans un seul endroit. En général, les nids de cigognes blanches installés sur les pylônes de haut voltage sont situés dans les stations de la distribution d'électricité à proximité de l'homme, donc la prédation est probablement plus élevée dans ces colonies denses (Brunton, 1997) ; tandis que les nids construits sur des pylônes de téléphone et les poteaux de faible voltage sont dispersés dans les agglomérations.

Par ailleurs, le succès de reproduction est relativement plus élevé dans les poteaux d'électricité de faible voltage puisque les cigognes sont probablement moins affectées par les champs magnétiques. Ceci revient au fait que les champs magnétiques produits par les lignes électriques n'affectent pas sérieusement la croissance et le succès d'envol chez les oiseaux (Ferrer & Janss, 1999 ; Dell'Omo *et al.*, 2009). Par contre, plusieurs sont les études qui argumentent les effets négatifs des champs électromagnétiques générés par les pylônes téléphoniques sur la biologie de reproduction des oiseaux (Balmori, 2005 ; Balmori & Hallberg, 2007 ; Everaert & Bauwens, 2007 ; Vaitkuvienė & Dagys, 2014 ; Balmori, 2016).

En Afrique du Nord, l'utilisation des téléphones GSM est relativement récente puisqu'elle date de la fin des années 1990. Ainsi les nids de la Cigogne blanche bâtis sur les pylônes téléphoniques connaissent une croissance remarquable au cours de la dernière décade où ces pylônes ont envahi tous les paysages. Le processus de transition à nicher sur des pylônes téléphoniques chez la Cigogne blanche semble être lié plutôt à la diminution de la disponibilité des sites de nidification naturels dans les zones de reproduction favorable. Mais d'après Janiszewski *et al.* (2015), ce même processus n'est pas facilité par des avantages directs de la reproduction. Car il semble que le succès de reproduction dépend plus de la qualité des paysages agricoles où se trouvent les nids. En d'autres termes, la biologie de reproduction peut être influencée négativement si les habitats de gagnage où le nid est établi sont de mauvaise qualité. Ceci peut aussi être considéré comme un des inconvénients des structures artificielles pour la nidification des oiseaux. Puisque ces structures agissent parfois comme des pièges écologiques lorsqu'elles attirent les oiseaux à nicher dans des habitats non favorables qui réduisent finalement leur succès de reproduction (Mainwaring, 2015).

Les données à long terme de la Serbie (Tucakov, 2006) et la Pologne (Tryjanowski *et al.*, 2009b ; Janiszewski *et al.*, 2015) ont révélé le même schéma de sélection pour les sites de nidification chez la Cigogne blanche, où une transition de nicher sur les arbres à des poteaux

d'électricité a été observée au cours des dernières décennies. En outre, de nombreuses populations européennes de cigognes blanches ont presque complètement abandonné la paille et des balles de foin comme sites de nidification depuis les années 1980. Alors que le nombre d'arbres utilisés pour la nidification a considérablement diminué (Tryjanowski *et al.*, 2006).

Au Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie), les cigognes ne semblent pas être importunées par la présence d'antennes GSM puisqu'elles nichent même dans leur proximité immédiate. L'exposition n'a pas été mesurée, mais devrait quand même être considérable, que ce soit chez les adultes ou les juvéniles. La capacité reproductive et le succès de reproduction ne semble pas avoir été perturbée, du moins pas à court terme, vue les bonnes conditions dans les habitats de gagnage. Il va de soi que les résultats de cette étude montrent seulement que les cigognes semblent ne pas être perturbées par leur exposition mais n'exclut en aucun cas que des effets soient possibles, surtout à long terme, vue que cette espèce a une longue longévité (Doligez *et al.*, 2004). Balmori (2005), a montré que les champs électromagnétiques radiofréquences influencent négativement sur la reproduction des cigognes et cela déjà à de très faibles expositions continues.

Avec la croissance des populations de cigognes blanches, nous spéculons que la nidification de la Cigogne blanche sur les pylônes d'électricité et récemment sur les pylônes téléphoniques, est liée à un manque dans la disponibilité des sites de nidification naturels, par saturation ou par déficit. Ceci est fort probable dans les colonies denses où les sites favorables de nidification dans les arbres sont occupés par les anciens nicheurs (Vergara *et al.*, 2006). Comme les forêts des pays du Maghreb poussent typiquement dans les montagnes, surtout dans les zones semi-arides et subhumides, uniquement quelques vestiges de forêts se trouvent près des zones urbaines. Ainsi les quelques arbres favorables des espèces utilisées par la Cigogne blanche pour nidification se trouvent saturés et ne peuvent plus supporter de nouveaux nids. Les jeunes cigognes, ou voire même les adultes dont leurs nids ont été détruits, se trouvent obligés de s'installer ailleurs (Tryjanowski *et al.*, 2009b), mais juste à proximité car la Cigogne blanche est très fidèle à son site de nidification (Chernetsov *et al.*, 2006 ; Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Vergara *et al.*, 2006).

Toutefois, en cas de surdensité, la fidélité au même site de nidification décroît suite à l'augmentation de la compétition intraspécifique (Itonaga *et al.*, 2011). Par ailleurs, la Cigogne blanche semble préférer les pylônes téléphoniques que ceux d'électricité, vue leur forme de construction qui permet de construire les nids plus facilement et solidement que les pylônes d'électricité. D'autre part, le risque de collision et d'électrocution est complètement absent avec le pylône téléphonique en comparaison avec les pylônes d'électricité dont les câbles constituent une gêne avérée lors des vols (landing and take-off) (Vaitkuviene & Dagys, 2014 ; Maricato *et al.*, 2016).

Il est à noter que la Cigogne blanche nidifie parfois sur des structures artificielles malgré la disponibilité des arbres. Ceci revient à ses exigences écologiques spécifiques dues à sa mauvaise maniabilité en vol et sa grande taille, ainsi les arbres de nidification doivent être localisés près des zones urbaines, et être vieux et de grande taille avec une couronne clairsemée et partiellement flétrie (Tryjanowski *et al.*, 2006). D'autre part, l'accroissement des populations du Héron garde-bœufs (Si Bachir *et al.*, 2011) a engendré une compétition avec la Cigogne blanche pour les sites de reproduction puisque les deux espèces ont deux niches écologiques très proches. La pression exercée par les colonies denses des Héron garde-bœufs lorsqu'ils occupent les arbres pour nicher (Sbiki *et al.*, 2015) serait probablement parmi les principales causes qui incitent la Cigogne blanche à faire transiter sa nidification des arbres vers les pylônes téléphoniques et électriques.

5. Conclusion

Les pylônes d'électricité de haut voltage posent un problème sur la nidification et le succès de reproduction de la Cigogne blanche. Ainsi, il est recommandé d'implémenter une législation qui permet de construire uniquement des poteaux électriques sécurisés pour la Cigogne blanche dans un rayon de 2 km de la colonie, et aussi de réorganiser ou de changer les pylônes électriques non sécurisés, notamment dans les colonies denses.

D'un point de vue conservateur, il est fortement indiqué de construire des plateformes spéciales pour la nidification de la Cigogne blanche. Ces plateformes doivent (répondre) être installées suivant certains critères afin d'assurer une bonne production : (i) couvrir les zones avec des habitats de gagnage de bonne qualité, (ii) changer les nids bâtis sur les poteaux électriques afin de réduire les pannes d'alimentation électrique et aussi le risque d'électrocution, (iii) toucher les zones limitrophes de colonies denses, afin d'inciter les jeunes ou adultes d'y installer et réduire ainsi la densité dans la colonie-mère, et (iv) favoriser le changement des nids trop volumineux/anciens puisqu'ils présentent le risque d'endommager à la fois la structure supportant le nid et son contenu.

Chapitre 4

“ *Niche trophique au cours des différents stades de la reproduction* ”

Chapitre 4 – Niche trophique au cours des différents stades de la reproduction

Résumé

L'évaluation des conditions d'alimentation et les variations de la composition du régime alimentaire au cours de la saison de reproduction est d'une grande aide pour comprendre la niche écologique des oiseaux. Pour satisfaire cet objectif, le régime alimentaire de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) a été étudié par l'analyse de 87 pelotes de régurgitation recueillies de la région de Batna (Nord-est algérien). Un total de 2138 individus de proies a été identifié et classé en 61 espèces-proies différentes appartenant à 7 classes, 13 ordres, 29 familles et 51 genres. La Cigogne blanche a un régime alimentaire diversifié (étendue de la niche trophique 'FNB' = 14,5 ; indice de Shannon $H' = 4,4$), composé principalement des arthropodes, dont 94% des individus sont des insectes qui représentent 8% de la biomasse totale des proies. La Cigogne blanche constamment s'alimente des restes de volaille fourragés des décharges (biomasse = 68,74%) et des petits mammifères (biomasse = 14,41%) puisque ces catégories-proies constituent une source d'énergie élevée, en particulier pendant la période de l'élevage des poussins. Les GLMs appliqués pour les caractéristiques du régime alimentaire ont révélé une variation significative pour le nombre d'individus des proies entre les stades phénologiques de reproduction. Bien que la phénologie de reproduction n'influence pas statistiquement les variations d'autres paramètres du régime alimentaire (biomasse, richesse en espèces-proies, FNB, H' , H'_{max} et équitabilité). Toutefois, les caractéristiques du régime alimentaire étaient significativement corrélées avec la période d'élevage des poussins, qui est la période-clé pour le succès de reproduction ; suggérant une augmentation de l'investissement parental et l'effort d'approvisionnement. Les résultats suggèrent que la Cigogne blanche effectue un équilibre afin de satisfaire ses besoins alimentaires en compensant réciproquement entre l'apport du nombre des proies et de leur biomasse quel que soit le stade phénologique.

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; composition du régime alimentaire ; écologie trophique ; phénologie reproduction.

Abstract

Assessing feeding conditions and variations of diet composition over the breeding season is of great help in the understanding of the ecological niche of species. In meeting this aim, the White Stork's (*Ciconia ciconia*) diet was studied based on the analysis of 87 regurgitation pellets collected from Batna (Northeast Algeria). A set of 2138 prey-items were identified and classified into 61 different prey-species belonging to 7 classes, 13 orders, 29 families and 51 genera. The

White Stork has a diverse diet (Food Niche Breadth ' FNB ' = 14.5, Shannon index H' = 4.4 bits), mainly composed of arthropods, of which 94% of prey-items are insects that represent 8% of total prey biomass. The White Stork constantly fed on the remains of chicken foraged from rubbish dumps (Biomass = 68.74%) and small mammals (Biomass = 14.41%) as these prey categories constitute a source of high energy, particularly during the period of chick rearing. GLMs applied for diet characteristics revealed a significant variation in numbers of prey individuals between breeding phenological stages. While variations of other diet parameters (biomass, species richness, FNB , H' , H'_{max} and Evenness) were not statistically influenced by breeding phenology. All diet characteristics were significantly correlated with the period of chick development, which is the key period for breeding success; suggesting an increase in parental investment and feeding effort. Our findings suggest that the White Stork performs a balance in order to satisfy its food requirements by compensating reciprocally between intake of prey numbers and their biomass regardless of the phenological stage.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*, diet composition, feeding ecology, breeding phenology

1. Introduction

L'approvisionnement en aliment est un des facteurs écologiques qui influence les traits du cycle de vie, la taille des populations et la structure de la communauté des oiseaux (Martin, 1987). En effet, la compréhension de la continuité écologique des espèces animales et leurs niches écologiques sont largement tributaires de la restriction en aliment et de ses variations en qualité et en quantité (Van den Burg, 2009). Les écologistes étudient les niches trophiques des espèces animales afin de déterminer précisément leur place réelle et fonctionnelle dans les réseaux trophiques et de comprendre ainsi la spécialisation trophique et de la dynamique de la population (Svanbäck & Persson, 2004 ; Nielsen *et al.*, 2010). En fait, d'innombrables niveaux de perception, tels que la quantité de nourriture, la disponibilité de la nourriture, l'approvisionnement en biomasse et en calories, et les variations d'alimentation dans le temps et dans l'espace, sont utilisés pour étudier les niches trophiques (Brasher *et al.*, 2007 ; Nielsen *et al.*, 2010 ; Crampton *et al.*, 2011).

Les adaptations du régime alimentaire et l'approvisionnement proportionné et synchronisé avec les besoins alimentaires durant chaque phase du cycle de reproduction sont cruciaux pour le succès de la reproduction et par conséquent pour la survie de l'espèce. Indéniablement, le fitness parental et les coûts de recherche de nourriture déterminent les relations entre l'approvisionnement alimentaire et la demande de la reproduction au cours des stades phénologiques. En particulier, suivant le scénario du changement climatique qui induit un décalage entre le moment de la productivité locale de nourriture et les énergétiques d'élevage, qui poussent les parents à augmenter les coûts d'alimentation soit au cours de l'élevage des jeunes "forte demande" ou

lorsque les ressources alimentaires dans les habitats de gagnage diminuent "faiblesse de l'offre" (Thomas *et al.*, 2001 ; Durant *et al.*, 2007 ; Van der Jeugd *et al.*, 2009). En outre, la qualité et la quantité de la nourriture au cours de chaque stade de reproduction jouent un rôle clé dans la détermination de la santé et le fitness des parents en affectant la performance de leurs traits physiologiques (Reynolds *et al.*, 2003 ; Van den Burg, 2009). Par conséquent, les caractéristiques de la nourriture et du régime alimentaire ont un effet avéré sur la performance et le succès de reproduction, en particulier chez les espèces sauvages (Byholm & Kekkonen, 2008).

Le régime alimentaire global de la Cigogne blanche est bien connu sur son aire de distribution de reproduction (Mužinić & Rašajski, 1992 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Kosicki *et al.*, 2006). Toutefois, les informations sur son régime alimentaire en Algérie sont généralement rares, et majoritairement soulignent la plasticité du bol alimentaire et son rôle facilitateur dans l'expansion actuelle de l'espèce dans le pays (Boukhemza, 2001 ; Moali-Grine, 2007 ; Djerdali, 2010). Plusieurs études dans le paléarctique ont examiné la variation du régime alimentaire de l'espèce en fonction de variables environnementales telles que les conditions climatiques (Jovani & Tella, 2004 ; Tryjanowski *et al.*, 2009a ; cf. Chapitre 5), les habitudes alimentaires (Mužinić & Rašajski, 1992 ; Boukhemza *et al.*, 2006), l'âge des poussins (Djerdali *et al.*, 2008a), le type d'habitat (Tsachalidis & Goutner, 2002), les saisons et la sélection de l'habitat de gagnage (Alonso *et al.*, 1991). Par ailleurs, les résultats des principales études sur le spectacle trophique de la Cigogne blanche indiquent que l'espèce est essentiellement insectivore opportuniste (Vrezec, 2009). L'espèce est en mesure d'élargir sa niche écologique, en exploitant différentes ressources alimentaires et en fourrageant dans différents habitats (Kruszyk & Ciach, 2010). Cependant, un manque dans la compréhension de la variation de la composition du régime alimentaire entre les stades phénologiques de la reproduction de l'espèce est présent, surtout dans les zones où l'espèce est en expansion, comme cela est le cas dans le paléarctique occidental (Barbraud *et al.*, 1999), et en particulier dans l'Afrique du Nord (Moali-Grine, 2007).

En outre, la Cigogne blanche tente d'équilibrer la consommation d'aliments riches en biomasse avec des aliments riches en énergie (Kosicki *et al.*, 2006), ce qui explique sa sélection d'hétérogènes habitats productifs pour le gagnage et l'approvisionnement (Boukhemza *et al.*, 2006). D'autres études ont mis en évidence l'impact du climat et la variabilité de la nourriture sur des paramètres de la reproduction (Tortosa *et al.*, 2003 ; Tryjanowski *et al.*, 2005 ; Denac, 2006 ; Kosicki, 2012 ; Si Bachir *et al.*, 2013).

Puisque la qualité, l'abondance et la disponibilité de la nourriture sont généralement spécifiques à chaque habitat (Tryjanowski & Kuzniak, 2002 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Tortosa *et al.*, 2003 ; Massemin-Challet *et al.*, 2006 ; Kosicki *et al.*, 2006) et sachant que ces paramètres alimentaires sont soumis à des variations temporelles, cette étude s'intéresse à comprendre de quoi la Cigogne blanche se nourrit au cours des différents stades phénologiques

de la reproduction dans une zone semi-aride, où l'espèce est actuellement en expansion continue (Moali-Grine, 2007 ; Si Bachir *et al.*, 2013).

L'absence d'études portant sur des aspects similaires justifie les objectifs de la présente étude, qui sont multiples et tournent autour de la description du spectre alimentaire des Cigognes blanches nicheuses dans une zone semi-aride à aride dans l'Est algérien. Aussi, la composition et la diversité des espèces-proies consommées feront l'objet d'une évaluation quantitative. Bien que, l'objectif principal de cette étude est d'étudier la variation du régime alimentaire de la Cigogne blanche entre les stades phénologiques de la reproduction. Cela permettra de comprendre la niche écologique de l'espèce dans cette région peu explorée, en investiguant spécifiquement ses stratégies trophiques durant les différents stades de reproduction et d'identifier ainsi les phases critiques servant de points de repère pour certains sujets de conservation.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude et colonies échantillonnées

L'étude a été réalisée dans la wilaya de Batna qui est située dans le Nord-Algérie (35° à 36° N, 4° à 7° E). La région est une mosaïque de paysages, comprenant des montagnes boisées et des plaines caractérisées par une variété de terres cultivées avec des cultures saisonnières de céréales (blé dur *Triticum durum* et orge *Hordeum vulgare*), des oliveraies (*Olea europaea*), des terres incultes et des steppes du sud-ouest. Le climat est généralement semi-aride, mais l'effet de l'élévation crée un gradient de méso-climats variant entre un climat subhumide froid en haute altitude et un climat aride frais dans les zones situées près du désert du Sahara (Chenchouni *et al.*, 2010). Mais, la majorité des terres sont soumises à une ambiance climatique semi-aride à hiver frais. La population locale est principalement impliquée dans des activités agricoles traitant les céréales, l'élevage extensif (ovins, caprins et bovins) et de l'aviculture intensive.

Huit colonies de la Cigogne blanche ont été sélectionnées pour la collecte des pelotes de rejection. Le choix de ces colonies a été principalement dicté par l'objectif d'avoir un échantillon aussi représentatif que possible pour chaque phase de reproduction en combinant des colonies de paysages ruraux (colonies de Bouachaoume, K'sar Belezma, et El Madher), des colonies de paysages suburbains (colonies de Seriana et Oued El Ma) et des colonies de paysages urbains (colonies de Chemora, Merouana, et N'Gouas) (Fig. 1). Ces colonies échantillonnées se composent d'un échantillon représentatif de tous les types d'habitats de gagnage, y compris des habitats naturels et artificiels.

2.2. Collecte et analyse des pelotes

Durant la mi-janvier et juste avant l'arrivée des cigognes blanches, les vieilles pelotes ont été retirées des sites de nidification de chaque colonie étudiée. Les collections des pelotes de rejection

ont eu lieu toutes les deux semaines à intervalles réguliers tout au long de la saison de reproduction qui s'étale de la fin janvier 2011 au début août 2011. Cette période correspond à la saison de reproduction habituelle de la cigogne blanche dans la région de Batna (Si Bachir *et al.*, 2013). Environ 60 nids ont été visités et les mêmes nids ont été revisités à chaque fois pour recueillir des pelotes. Seules les pelotes d'adultes, qui se distinguent par leur grande taille (Mužinić & Rašajski, 1992) ont été prélevées à partir des nids bâtis sur différents types de support (toits des maisons, arbre, pylônes d'électricité de faible voltage).

Quatre ensemble d'environ 15–35 pelotes ont été définis en fonction des principaux stades phénologiques de reproduction de la Cigogne blanche : (i) Pré-reproduction (de début février à la mi-mars) commence de l'arrivée des premières cigognes jusqu'à l'observation du premier œuf (n = 12 pelotes) ; (ii) incubation (de la mi-mars à la mi-avril) comprend des périodes de ponte et d'incubation (n = 17 pelotes) ; (iii) élevage et développement des poussins (de la mi-avril à la mi-juin) comprend l'élevage des nouveau-nés et la croissance des poussins jusqu'à leur émancipation (n = 44 pelotes) ; et (iv) post-reproduction (de la mi-juin au début août) se réfère à la période post-envol des poussins jusqu'à la migration au sites d'hivernage (n = 14 pelotes).

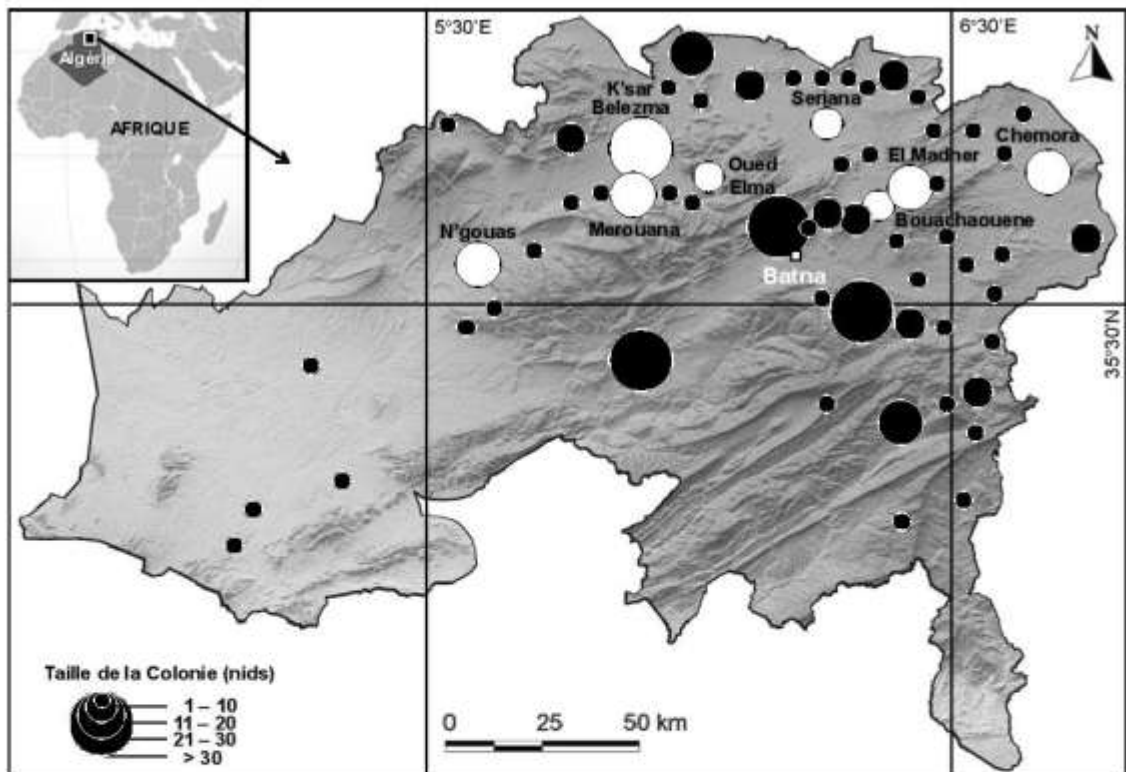


Figure 1. Localisation géographique de la wilaya de Batna (Nord-est algérien), avec les emplacements et les densités des colonies de la Cigogne blanche (recensement de 2008, selon Si Bachir *et al.*, 2013). Les cercles blancs indiquent l'emplacement et la densité des huit colonies échantillonnées.

La longueur '*LG*' et la largeur '*WD*' des pelotes collectées ont été mesurées avec un pied à coulisse ($\pm 0,01$ mm). Puis le volume des pelotes '*PV*' a été estimé comme une forme d'œuf-globuleuse en appliquant la formule : ($PV = 0,5 WD^2 LG + 1,12$) (Bogucki & Ożgo, 1999). Le poids sec a été estimé à l'aide d'une balance électrique ($\pm 0,1$ g) après 24 h de déshydratation à 120 °C dans l'étuve. Après cela, toutes les pelotes ont été décortiquées en utilisant les méthodes standards d'analyse des pelotes par voie humide (Duffy & Jackson, 1986 ; Rosenberg & Cooper, 1990).

En utilisant une loupe binoculaire, l'identification des proies est faite par Prof. Si Bachir A. (Univ. Batna 2) et a été poussée jusqu'au niveau du genre et/ou l'espèce. L'énumération des items des proies consommées par la Cigogne blanche est basée sur le nombre de fragments récupérés à partir de pelotes. Les restes des têtes, élytres, thorax, pattes et des pinces pour les Dermaptera ont été utilisés pour identifier les insectes-proies. Les arachnides ont été identifiés à travers les restes des chélicères (pédipalpes et aiguillon pour les scorpions), alors que les gastéropodes, à travers les restes de la columelle. Les proies vertébrées ont été identifiées en se basant sur les os et les crânes, en plus des plumes et des becs pour les oiseaux et des poils pour les petits mammifères (Chenchouni, 2014).

2.3. Analyses de données du régime alimentaire

Le nombre d'individus '*ni*' a été évalué pour chaque espèce-proie (et/ou taxon de proie indéterminée) rencontrée dans un échantillon donné du régime alimentaire (pellets). Par la suite, le pourcentage de la fréquence des proies '*PF*' a été déterminé comme la proportion de l'espèce-proie *i* vis-à-vis le nombre total d'individus '*N*' (par pelote ou par ensemble de pelotes d'un stade phénologique). Les données ont été présentées par ordre taxonomique des proies pour permettre des comparaisons entre les études (Duffy & Jackson, 1986 ; Chenchouni, 2014). La richesse en espèces '*S*' est déterminée par le nombre total d'espèces-proies (ou taxons) identifiées dans chaque pelote. La moyenne de *N* par pelote '*Nm*' et la moyenne de *S* par pelote '*Sm*' ont été calculées comme la moyenne des individus et des espèces-proies, respectivement, observés dans l'ensemble des pelotes correspondant à chaque stade phénologique de reproduction. En outre, la biomasse des espèces-proies (ou des taxons) '*B*' a été évaluée comme la proportion du poids humide des individus des proies / le poids humide total de toutes les espèces-proies (Vivien, 1973). De même, les biomasses spécifiques ont été additionnées afin de déterminer la biomasse des ordres des proies.

La fréquence d'occurrence '*Occ*' de chaque ordre des proies a été calculée par le nombre de pelotes où l'ordre était présent / le nombre total de pelotes analysées. Quatre groupes ont été définis en fonction de la fréquence d'occurrence (Neffar *et al.*, 2016) : groupe très accidentel (VA) avec une occurrence de moins de 12,5%, groupe accidentel (AC) dont l'occurrence varie entre 12,5 et 25%, groupe commun (CM) est présent dans 25–50% de pelotes, et groupe constant (CN), présent dans 50% ou plus des pelotes.

En outre, l'indice de diversité de Shannon ($H' = -\sum(p_i \times \log_2 p_i)$) et l'équitabilité ($E = H'/H_{\max}$), avec $H_{\max} = \log_2 S$) ont été appliqués pour la mesure de la diversité et l'organisation du régime alimentaire par ensemble de pelotes des stades de reproduction (Magurran, 2004). La niche trophique a été appréciée par l'étendue de la niche trophique 'FNB' ($FNB = 1/\sum p_i^2$), où p_i est la proportion de l'espèce-proie i dans l'alimentaire de la Cigogne blanche. Les valeurs de cet indice fluctuent de 1 à S (nombre total d'espèces-proies dans un échantillon du régime alimentaire), avec les valeurs plus élevées indiquant une plus large dimension de la niche trophique (Levins, 1968).

2.4. Procédures des analyses statistiques

Avant d'effectuer des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis (K^2), la normalité des traits morphométriques des pelotes et des paramètres du régime alimentaire a été vérifiée avec le test de Shapiro-Wilk en utilisant la fonction (`shapiro.test`) sous le logiciel R (R Core Team, 2016). Ainsi, les tests de Kruskal-Wallis ont été appliqués en utilisant la fonction (`kruskal.test`) pour tester la significativité des différences dans les paramètres du régime alimentaire (N , B , FNB , S , ratio FNB/S , H' , H_{\max} , E) entre les stades phénologiques de la reproduction. Chaque test est suivi par le test post hoc de Tukey, à l'aide de la fonction (`TukeyHSD`). Les données utilisées sont celles mesurées à l'échelle de la pelote.

Pour tester l'hypothèse nulle qu'il n'y a pas de dépendance entre les valeurs des paramètres du régime (N , B , S) enregistrées au niveau des ordres-proies et les phases phénologiques de reproduction, des tests du Chi carré de Pearson (χ^2) ont été réalisés sur la base des tableaux de contingence de ces paramètres.

Par ailleurs, des modèles linéaires généralisés (GLM) ont été utilisés pour modéliser les effets individuels de chaque stade phénologique (pré-reproduction, incubation, élevage des poussins, post-reproduction) sur les paramètres du régime alimentaire (N , B , FNB , S , ratio FNB/S , H' , H_{\max} , E). Les GLMs ont été calculés en utilisant la fonction (`glm`) de R avec une distribution Poisson et lien log pour les données de comptage (N et S), alors que pour B , FNB , H' , E les modèles ont été ajustés avec une distribution gaussienne et un lien identité (Myers *et al.*, 2012). Ensuite, des tests de likelihood-ratio ont été calculés pour chaque modèle (chaque paramètre) pour déterminer l'effet du facteur "Phénologie" en se basant sur les valeurs de P et du Chi-carré ou F -statistics. Les simplifications des modèles sont faites à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC).

En outre, un GLM a été employé pour chaque ordre-proie afin de tester des différences significatives dans le nombre individus ' N ', la biomasse ' B ', la richesse en espèces ' S ', et l'occurrence ' Occ ' de chaque ordre-proie par pelote selon la "Phénologie". Pour l'occurrence de chaque ordre-proie au sein de chaque pelote, une distribution binomiale et un lien logit ont été sélectionnés. Pour

le nombre d'individus des proies '*N*' et pour les espèces-proies '*S*', une distribution Poisson avec un lien log a été choisi, tandis que une distribution gaussienne (normale) avec une fonction de lien identité a été utilisée pour la biomasse des proies '*B*'. Subséquemment, l'effet de la phénologie a été évalué en utilisant la fonction (`summary`) dont les sorties sont données comme une analyse de *type II* de la table de la déviance (tests χ^2 ou *F* avec la valeur *P*). L'analyse de *type II* est mieux ajustée pour des données asymétriques (obéit à la marginalité) puisque le nombre de pelotes collectées diffère entre stades phénologiques (Fox, 2008). L'unité de mesure était la pelote dans tous les tests et modèles statistiques qui ont été effectués en utilisant le logiciel R (R Core Team, 2016).

3. Résultats

3.1. Caractéristiques des pelotes et de la niche trophique

Dans la région de Batna, les pelotes de la Cigogne blanche mesurent en moyenne $53,7 \pm 11,0$ mm de longueur et $35,5 \pm 8,2$ mm de largeur avec un poids sec moyen de $11,8 \pm 6,5$ g et un volume approximatif de $37,2 \pm 22,8$ cm³. Les tests de Kruskal-Wallis n'ont révélé aucune différence significative pour les valeurs des caractéristiques morphométriques des pelotes entre les stades de reproduction à l'exception du poids sec de pelotes ($K^2 = 14,11$, $P = 0,003$). Pour ce paramètre, le test de Tukey a indiqué que les pelotes collectées au cours de la période d'incubation étaient statistiquement plus lourdes que les pelotes des autres stades phénologiques (Tableau 1).

En moyenne, le nombre de proies compté par pelote variait entre $4,2 \pm 7,7$ individus au cours de la période de pré-reproduction, et $18,0 \pm 36,7$ individus pendant la phase de développement des poussins où le nombre maximum de proie a été enregistré (1099 individus dans toutes pelotes de la période, $PF = 51\%$). En outre, la valeur la plus élevée de de la richesse en espèces-proies a été enregistrée au cours de la même période avec 53 espèces-proies ($Sm = 6,0 \pm 8,0$ espèces-proies par pelote), suivie par 43 espèces-proies signalées durant le stade d'incubation ($Sm = 2,2 \pm 2,6$ espèces-proies par pelote). Les proies consommées au cours de la phase d'élevage et développement des poussins détiennent plus de la moitié de la biomasse totale du régime alimentaire de la Cigogne blanche ($B = 53,23\%$), tandis que la biomasse des proies consommées pendant les autres stades phénologiques varie entre 10 à 17%.

Les valeurs les plus élevées de la diversité des proies ont été enregistrées durant la phase de pré-reproduction avec $H' = 4,4$ bits et $FNB = 14$). Cependant, les populations-proies pendant les périodes pré-reproduction ($E = 0,83$) et post-reproduction ($E = 0,79$) ont une répartition un peu plus équitable que les autres stades phénologiques. En outre, le test de Kruskal-Wallis a indiqué qu'aucun des paramètres du régime alimentaire variaient significativement entre les stades phénologiques de la reproduction (Tableau 1).

Tableau 1. Traits morphométriques (longueur, largeur, poids sec, et volume) des pelotes de rejection et variation temporelle des paramètres du régime alimentaire (nombre d'individus des espèces-proies, fréquence des proies, richesse spécifique, étendue de la niche trophique, indice de diversité de Shannon, et équitabilité) de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna (Nord-est algérien)

Traits des pelotes et du régime alimentaire	Phénologies (stades de reproduction)				Total		Kruskal-Wallis
	Pré-reproduction	Incubation	Élevage	Post-reproduction	K ²	P	
PELOTES							
Longueur (mm)	54,7 ± 8,7 ^a	58,2 ± 14,5 ^a	51,1 ± 8,7 ^a	54,6 ± 13,8 ^a	53,7 ± 11,0	2,00	0,571
Largeur (mm)	37,7 ± 7,1 ^a	39,5 ± 12,7 ^a	33,2 ± 5,0 ^a	35,2 ± 9,1 ^a	35,5 ± 8,2	3,07	0,381
Poids sec (g)	9,6 ± 3,2 ^a	15,8 ± 10,3 ^b	10,2 ± 4,9 ^a	14,3 ± 3,8 ^{ab}	11,8 ± 6,5	14,11	0,003
Volume (cm ³)	42,6 ± 20,8 ^{ab}	49,6 ± 35,9 ^b	29,8 ± 11,7 ^a	38 ± 24,5 ^{ab}	37,2 ± 22,8	3,40	0,334
RÉGIME ALIMENTAIRE							
Nombre d'individus 'N'	254 ^a	369 ^a	1099 ^a	416 ^a	2138	2,85	0,415
Fréquence des proies 'PF' (%)	11,88	17,26	51,40	19,46	100	–	–
Moyenne N par pelote 'Nm'	4,2 ± 7,7	6,0 ± 13,4	18,0 ± 36,7	6,8 ± 15,0	35,0 ± 63,7	–	–
Richesse spécifique 'S'	40 ^a	43 ^a	53 ^a	34 ^a	61	2,74	0,434
Moyenne S par pelote 'Sm'	1,4 ± 1,6	2,2 ± 2,6	6,0 ± 8,0	2,1 ± 2,8	11,7 ± 13,3	–	–
Biomasse (%)	10,67 ^a	18,74 ^a	53,23 ^a	17,36 ^a	100	4,61	0,203
Étendue de la niche trophique	14,00 ^a	10,43 ^a	12,03 ^a	10,64 ^a	14,35	2,03	0,566
Indice de Shannon (H')	4,44 ^a	4,17 ^a	4,24 ^a	4,00 ^a	4,55	2,77	0,428
H _{max}	5,32 ^a	5,43 ^a	5,73 ^a	5,09 ^a	5,93	2,74	0,434
Équitabilité 'E'	0,83 ^a	0,77 ^a	0,74 ^a	0,79 ^a	0,77	1,40	0,706

(Les valeurs avec les mêmes lettres en exposant sont significativement non différentes suivant le test de Tukey)

3.2. Variation temporelle de la composition du régime alimentaire

L'analyse des pelotes de rejection fait ressortir que l'alimentation de la Cigogne blanche est composée de 61 espèces-proie appartenant à 7 classes, 13 ordres, 29 familles et 51 genres (Annexe 7). Les principales proies consommées étaient des invertébrés avec 94,75% de toutes les espèces-proies, alors que les vertébrés ne représentaient que 5,25%. En outre, les coléoptères représentaient 85% de tous les invertébrés et 80% du total des proies, mais ils étaient présents seulement dans 16,26% des pelotes étudiées. Les autres proies invertébrées (15%) étaient faiblement représentées et ne sont rencontrées qu'occasionnellement dans des pelotes (occurrence < 12,5%) (Tableau 2).

Tableau 2. Variation de l'abondance totale (nombre d'individus), richesse des espèces-proies, biomasse et l'occurrence de catégories-proies rencontrées dans des pelotes de rejection de la Cigogne blanche nicheuse à Batna (Nord-est algérien)

Ordres	Abondance (richesse spécifique) [Biomasse en %]					PF (%)	Occ (%)	Éch.
	Pré-reproduction	Incubation	Élevage	Post-reproduction	Total			
Stylommatophora	–	–	1 (1) [0,29]	4 (1) [1,15]	5 (1) [1,43]	0,23	5,75	VA
Araneae	4 (1) [<0,01]	–	5 (1) [<0,01]	2 (1) [<0,01]	11 (1) [0,01]	0,51	12,64	AC
Scorpiones	–	–	2 (1) [0,86]	3 (1) [1,29]	5 (1) [2,15]	0,23	3,45	VA
Dermaptera	18 (4) [0,01]	20 (4) [0,01]	108 (4) [0,07]	42 (3) [0,03]	188 (5) [0,12]	8,79	11,26	VA
Blattodea	–	2 (1) [<0,01]	–	–	2 (1) [<0,01]	0,09	1,15	VA
Orthoptera	21 (3) [0,99]	7 (4) [0,18]	20 (4) [0,80]	25 (2) [1,05]	73 (5) [3,03]	3,41	6,67	VA
Heteroptera	–	1 (1) [<0,01]	6 (1) [<0,01]	–	7 (1) [<0,01]	0,33	2,30	VA
Coleoptera	198 (25) [0,93]	314 (25) [1,6]	896 (31) [4,06]	320 (19) [1,1]	1728 (35) [7,7]	80,8	16,26	AC
Hymenoptera	1 (1) [<0,01]	1 (1) [<0,01]	3 (1) [<0,01]	2 (1) [<0,01]	7 (1) [<0,01]	0,33	6,90	VA
Anura	–	1 (1) [0,39]	2 (1) [0,77]	1 (1) [0,39]	4 (1) [1,55]	0,19	4,60	VA
Testudines	–	–	1 (1) [0,86]	–	1 (1) [0,86]	0,05	1,15	VA
Rodentia	6 (5) [1,86]	12 (5) [3,95]	21 (6) [6,56]	8 (4) [2,04]	47 (7) [14,41]	2,20	7,72	VA
Restes de volailles	6 (1) [6,87]	11 (1) [12,6]	34 (1) [38,95]	9 (1) [10,31]	60 (1) [68,74]	2,81	68,97	CN
Total	254 (40) [10,67]	369 (43) [18,74]	1099 (53) [53,22]	416 (34) [17,35]	2138 (61) [100]			

(– : Absence de proies-catégorie, Occ : occurrence ; Éch. : échelle d'occurrence, AC : accidentel, CN : constant, VA : très accidentel)

Le spectre de la nourriture de la Cigogne blanche est essentiellement composé de treize catégories de proies. La plupart d'entre elles sont consommées au cours de la période d'élevage et développement des poussins et après leur émancipation (stade post-reproductive). Les insectes sont consommés durant toute la saison de reproduction avec une $PF = 93,75\%$ de tous les individus dénombrés. Parmi ceux-ci, les coléoptères étaient les proies les plus consommées avec 1728 individus ($PF = 80\%$) et 35 espèces-proies, suivie par les dermoptères avec 188 individus ($PF = 8,8\%$) et 5 espèces-proies et puis les orthoptères avec 73 individus ($PF = 3,4\%$). Les proies vertébrées sont principalement représentées par les restes de volailles ($PF = 2,8\%$) et les rongeurs ($N = 47$, $PF = 2,2\%$). Les restes de volailles étaient les items alimentaires qui occurred le plus fréquemment dans les pelotes, cette catégorie d'aliment était par ailleurs la plus importante en terme de biomasse ($B = 68,7\%$), suivie par des rongeurs ($B = 14,4\%$) et les coléoptères ($B = 7,7\%$) (Tableau 2).

Le test du chi-carré a révélé une différence hautement significative dans la répartition du nombre d'individus entre les ordres-proies et les stades de reproduction ($\chi^2_{36} = 90,39$; $P < 0,001$). Cependant le test n'était pas significatif pour la biomasse ($\chi^2_{36} = 11,99$; $P = 0,999$) et la richesse spécifique des ordres de proies ($\chi^2_{36} = 14$; $P = 0,999$).

3.3. Patrons du régime alimentaire selon les stades de reproduction

Les GLMs appliqués pour tous les paramètres du régime alimentaire ont révélé un lien positif significatif ($P < 0,001$) avec le stade de l'élevage et développement des poussins. Les GLMs ont révélé que seule la variation du nombre de individus est affectée par les stades phénologiques de reproduction ($\chi^2_3 = 26,27$; $P < 0,001$; $AIC = 1102,6$), où N est corrélé négativement et significativement avec les périodes de pré-reproduction et d'incubation, alors qu'une relation positive et significative est déduite lors de l'élevage des poussins et la phase de post-reproduction. Statistiquement, la variation de la biomasse, la richesse spécifique, FNB , les indices de Shannon (H' et H'_{max}), l'équitabilité des espèces-proies n'est pas significative entre les stades de reproduction. Tous les paramètres du régime alimentaire sont négativement corrélés avec les périodes de pré-reproduction et d'incubation, mais la corrélation est positive avec la phase post-reproduction (Tableau 3).

Pour les ordres-proies, globalement, c'est pendant la période d'élevage des jeunes que les caractéristiques du régime alimentaire (soit N , S ou l'occurrence) ont démontré des liens négatifs significatifs. Mais la biomasse des ordres-proies est positivement corrélée au cours de ce stade. Ceci est remarquable pour tous les ordres des proies, sauf pour la catégorie des restes de volailles qui ont été constants et n'ont démontré aucune variation dans le régime alimentaire de l'échassier. Le nombre

d'individus des ordres-proies varient significativement ($P < 0,01$) entre les stades de reproduction pour Stylommatophora, Dermaptera, Orthoptera et Coleoptera. L'occurrence de Stylommatophora et Aranea significativement varie entre les stades de reproduction (Test Chi² : $P < 0,05$).

Tableau 3. Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant la variation des paramètres du régime alimentaires (N , B , S , FNB , H' , E) entre les phases phénologiques de la reproduction des populations de cigognes blanches nicheuses dans la wilaya de Batna, Nord-est de l'Algérie

Variable	Valeur	SE	z-value	P	Valeur	SE	z-value	P
N (AIC = 1102,6)					S (AIC = 420,3)			
Pré-reproduction	-0,166	0,07	-2,38	0,017	-0,158	0,12	-1,31	0,190
Incubation	-0,140	0,06	-2,33	0,020	-0,029	0,10	-0,29	0,773
Élevage des poussins	3,218	0,03	106,68	<0,001	2,116	0,05	40,42	<0,001
Post-reproduction	0,174	0,06	3,02	0,003	0,082	0,10	0,79	0,430
Phénologie	$(\chi^2_3 = 26,27 ; P < 0,001)$				$(\chi^2_3 = 3,06 ; P = 0,382)$			
Variable	Valeur	SE	t-value	P	Valeur	SE	t-value	P
B (AIC = 142,9)					H' (AIC = 178,0)			
Pré-reproduction	-0,320	0,17	-1,85	0,068	-0,301	0,21	-1,42	0,159
Incubation	-0,108	0,15	-0,71	0,481	-0,008	0,19	-0,04	0,967
Élevage des poussins	1,210	0,08	15,10	<0,001	2,375	0,10	24,21	<0,001
Post-reproduction	0,030	0,16	0,18	0,855	0,124	0,20	0,62	0,538
Phénologie	$(F_{(3; 83)} = 1,32 ; P = 0,272)$				$(F_{(3; 83)} = 0,99 ; P = 0,401)$			
FNB (AIC = 381,4)					E (AIC = -68,3)			
Pré-reproduction	-0,705	0,68	-1,03	0,304	-0,040	0,05	-0,77	0,443
Incubation	0,313	0,60	0,52	0,602	-0,007	0,05	-0,15	0,879
Élevage des poussins	4,399	0,32	13,94	<0,001	0,792	0,02	33,25	<0,001
Post-reproduction	0,273	0,64	0,43	0,672	0,035	0,05	0,71	0,478
Phénologie	$(F_{(3; 83)} = 0,66 ; P = 0,579)$				$(F_{(3; 83)} = 0,48 ; P = 0,694)$			

La biomasse des proies de Dermaptera, Coleoptera, Rodentia et des restes de volailles est positivement corrélée avec le stade d'élevage des poussins, tandis que la biomasse des proies Stylommatophores est positivement corrélée avec la période post-reproduction et Aranea avec la phase de pré-reproduction. Les biomasses de Scorpiones, Blattodea, Heteroptera et Hymenoptera ne sont pas liées à un stade phénologique particulier dont aucune différence significative n'a été observée entre les différents stades de reproduction. En fait, ces catégories de proies sont signalées seulement occasionnellement dans le régime alimentaire. Même si les paramètres du régime alimentaire des proies vertébrés (Anura, Testudines, Rodentia et restes de volailles) sont significativement liés au stade d'élevage des jeunes, les valeurs de ces paramètres ne varient pas significativement entre les phénologies reproduction (Tableau 4).

Tableau 4. GLMs analysant la variation des paramètres des ordres-proies (nombre d'individus, biomasse, richesse spécifique, et occurrence) entre les stades de reproduction des populations nicheuses de la Cigogne blanche dans le nord-est de l'Algérie. Les tests de Likelihood-ratio (χ^2) et tests F sont de *type II* avec une distribution de Poisson et lien log pour N et S , distribution gaussienne et lien identité pour la biomasse (B), et une distribution binomiale avec un lien logit pour l'occurrence des espèces-proies

Variable	Nombre d'individus 'N'		Biomasse 'B'		Richesse spécifique 'S'		Occurrence 'Occ'	
	Valeur	z-value	Valeur	t-value	Valeur	z-value	Valeur	z-value
Stylommatophora	$(\chi^2_3 = 11; P = 0,01)$		$(F = 6,34; P < 0,01)$		$(\chi^2_3 = 11; P = 0,01)$		$(\chi^2_3 = 12; P = 0,01)$	
Pré-reproduction	-16,5	-0,00	-0,01	-0,33	-16,5	-0,00	-16,8	-0,00
Incubation	-16,5	-0,00	-0,01	-0,37	-16,5	-0,00	-16,8	-0,00
Élevage	-3,8	-3,78***	0,01	0,70	-3,8	-3,78***	-3,8	-3,72***
Post-reproduction	2,5	2,26*	0,08	3,99***	2,5	2,26*	2,8	2,43*
Aranea	$(\chi^2_3 = 7,2; P = 0,07)$		$(F = 2,50; P = 0,07)$		$(\chi^2_3 = 7,2; P = 0,07)$		$(\chi^2_3 = 8,1; P = 0,04)$	
Pré-reproduction	1,1	1,60	0,00	2,07*	1,1	1,60	1,4	1,76
Incubation	-17,1	-0,01	-0,00	-1,22	-17,1	-0,01	-16,5	-0,01
Élevage	-2,2	-4,86***	0,00	2,31*	-2,2	-4,86***	-2,1	-4,32***
Post-reproduction	0,2	0,27	0,00	0,29	0,2	0,27	0,3	0,29
Scorpiones	$(\chi^2_3 = 7,0; P = 0,07)$		$(F = 1,20; P = 0,31)$		$(\chi^2_3 = 2,6; P = 0,46)$		$(\chi^2_3 = 2,6; P = 0,45)$	
Pré-reproduction	-17,2	-0,01	-0,02	-0,40	-17,2	-0,01	-17,5	-0,01
Incubation	-17,2	-0,01	-0,02	-0,45	-17,2	-0,01	-17,5	-0,01
Élevage	-3,1	-4,37***	0,02	0,86	-3,1	-4,37***	-3,0	-4,21***
Post-reproduction	1,6	1,70	0,07	1,56	0,5	0,37	0,5	0,38
Dermoptera	$(\chi^2_3 = 17; P < 0,01)$		$(F = 0,39; P = 0,76)$		$(\chi^2_3 = 1,9; P = 0,59)$		$(\chi^2_3 = 3,5; P = 0,32)$	
Pré-reproduction	-0,5	-1,93	-0,00	-0,54	0,4	0,92	0,2	0,34
Incubation	-0,7	-3,02**	-0,00	-0,82	0,4	1,21	0,9	1,57
Élevage	0,9	9,33***	0,00	2,97**	-0,8	-3,53***	-0,6	-1,79
Post-reproduction	0,2	1,10	0,00	0,33	0,3	0,86	0,8	1,36
Blattodea	$(\chi^2_3 = 6,5; P = 0,09)$		$(F = 1,39; P = 0,25)$		$(\chi^2_3 = 3,3; P = 0,35)$		$(\chi^2_3 = 3,3; P = 0,35)$	
Pré-reproduction	0,0	0,00	-0,00	-0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Incubation	20,2	0,00	0,00	1,93	19,5	0,00	19,8	0,00
Élevage	-22,3	-0,00	-0,00	-0,00	-22,3	-0,00	-22,6	-0,00
Post-reproduction	0,0	0,00	-0,00	-0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
Orthoptera	$(\chi^2_3 = 34; P < 0,01)$		$(F = 2,30; P = 0,08)$		$(\chi^2_3 = 4,5; P = 0,22)$		$(\chi^2_3 = 3,7; P = 0,30)$	
Pré-reproduction	1,3	4,32***	0,06	1,93	0,0	0,00	0,1	0,17
Incubation	-0,1	-0,23	-0,01	-0,25	0,3	0,68	0,3	0,54
Élevage	-0,8	-3,53***	0,02	1,18	-1,4	-4,6***	-1,2	-3,4***
Post-reproduction	1,4	4,56***	0,06	1,82	0,9	2,10*	1,2	1,90
Heteroptera	$(\chi^2_3 = 5,7; P = 0,13)$		$(F = 0,24; P = 0,87)$		$(\chi^2_3 = 1,9; P = 0,60)$		$(\chi^2_3 = 1,9; P = 0,59)$	
Pré-reproduction	-17,3	-0,01	-0,00	-0,64	-17,5	-0,00	-16,8	-0,00
Incubation	-0,8	-0,78	-0,00	-0,41	1,0	0,67	1,0	0,69
Élevage	-2,0	-4,88***	0,00	1,37	-3,8	-3,78***	-3,8	-3,72***
Post-reproduction	-17,3	-0,01	-0,00	-0,67	-17,5	-0,00	-16,8	-0,00

	Valeur χ^2	z-value	Valeur F	t-value	Valeur χ^2	z-value	Valeur χ^2	z-value
Coleoptera	$(\chi^2_3 = 15; P < 0,01)$		$(F = 0,39; P = 0,76)$		$(\chi^2_3 = 3; P = 0,39)$		$(\chi^2_3 = 0,0; P = 0,99)$	
Pré-reproduction	-0,2	-2,68**	-0,01	-0,77	-0,2	-1,60	0,0	0,00
Incubation	-0,1	-1,49	0,00	0,11	-0,1	-0,85	0,0	0,00
Élevage	3,0	90,21***	0,09	10,50***	1,8	29,11***	26,6	0,00
Post-reproduction	0,1	1,77	-0,01	-0,77	0,0	-0,19	0,0	0,00
Hymenoptera	$(\chi^2_3 = 0,7; P = 0,86)$		$(F = 0,23; P = 0,88)$		$(\chi^2_3 = 0,0; P = 0,99)$		$(\chi^2_3 = 0,0; P = 0,99)$	
Pré-reproduction	0,2	0,17	0,00	0,15	0,2	0,17	0,2	0,18
Incubation	-0,1	-0,13	-0,00	-0,10	-0,1	-0,13	-0,2	-0,13
Élevage	-2,7	-4,65***	0,00	1,42	-2,7	-4,65***	-2,6	-4,37***
Post-reproduction	0,7	0,81	0,00	0,77	0,0	0,04	0,1	0,04
Anura	$(\chi^2_3 = 1,3; P = 0,72)$		$(F = 0,27; P = 0,84)$		$(\chi^2_3 = 1,3; P = 0,72)$		$(\chi^2_3 = 1,4; P = 0,71)$	
Pré-reproduction	-16,2	-0,01	-0,02	-0,65	-16,2	-0,01	-16,5	-0,01
Incubation	0,3	0,21	0,01	0,22	0,3	0,21	0,3	0,22
Élevage	-3,1	-4,37***	0,02	1,41	-3,1	-4,37***	-3,0	-4,21***
Post-reproduction	0,5	0,37	0,01	0,40	0,5	0,37	0,5	0,38
Testudines	$(\chi^2_3 = 1,4; P = 0,71)$		$(F = 0,32; P = 0,81)$		$(\chi^2_3 = 1,4; P = 0,71)$		$(\chi^2_3 = 1,4; P = 0,71)$	
Pré-reproduction	-18,5	-0,00	-0,02	-0,64	-18,5	-0,00	-17,8	-0,00
Incubation	-18,5	-0,00	-0,02	-0,73	-18,5	-0,00	-17,8	-0,00
Élevage	-3,8	-3,78***	0,02	1,39	-3,8	-3,78***	-3,8	-3,72***
Post-reproduction	-18,5	-0,00	-0,02	-0,68	-18,5	-0,00	-17,8	-0,00
Rodentia	$(\chi^2_3 = 1,2; P = 0,76)$		$(F = 1,24; P = 0,30)$		$(\chi^2_3 = 1,2; P = 0,76)$		$(\chi^2_3 = 2,8; P = 0,43)$	
Pré-reproduction	0,0	0,10	-0,31	-1,81	0,0	0,10	0,1	0,14
Incubation	0,4	1,08	-0,14	-0,95	0,4	1,08	1,0	1,58
Élevage	-0,7	-3,39***	0,89	11,06***	-0,7	-3,39***	-0,1	-0,30
Post-reproduction	0,2	0,43	-0,15	-0,91	0,2	0,43	0,4	0,61
Restes de volailles	$(\chi^2_3 = 1,2; P = 0,75)$		$(F = 0,89; P = 0,45)$		$(\chi^2_3 = 1,2; P = 0,75)$		$(\chi^2_3 = 3,6; P = 0,30)$	
Pré-reproduction	-0,4	-0,98	0,01	0,10	-0,4	-0,98	-1,2	-1,80
Incubation	-0,2	-0,51	0,08	1,55	-0,2	-0,51	-0,6	-0,99
Élevage	-0,3	-1,50	0,15	5,25***	-0,3	-1,50	1,2	3,4***
Post-reproduction	-0,2	-0,49	0,00	-0,06	-0,2	-0,49	-0,6	-0,96

(Niveau de signification : * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$; *** : $P < 0,001$)

4. Discussion

L'étude du régime alimentaire de la Cigogne blanche, basée sur l'analyse des restes des proies trouvés dans les pelotes de régurgitation, a permis la compréhension de la composition quantitative et la diversité du spectre alimentaire de l'espèce. Bien que la technique permette d'avoir des données quantitatives, la détermination de certaines espèces de proies est difficile et requiert des connaissances avancées d'identification des espèces. Cette méthode présente également l'inconvénient d'ignorer certains types de proies en raison de leur état avancé de digestion (Duffy & Jackson, 1986 ; Rosin & Kwieciński, 2011). Malgré les limites de la méthode d'analyse des pelotes pour identifier tous les items consommés, l'approche a permis d'effectuer

des comparaisons de la composition du régime alimentaire entre les phases phénologiques de reproduction de la Cigogne blanche.

Les pelotes de la Cigogne blanche collectées dans la wilaya de Batna ont des caractéristiques morphométriques comparables à celles décrites dans plusieurs régions de l'aire distributionnelle de reproduction de l'espèce, que ce soit en Algérie (Boukhemza, 2001) ou en Europe (Mužinić & Rašajski, 1992). La variabilité des dimensions des pelotes peut être liée à plusieurs facteurs tels que le nombre de proies consommées, leur nature, leur biomasse, leur digestibilité, le taux de fragments issus de la digestion des proies, et l'efficacité digestive de l'espèce (Rosin & Kwieciński, 2011).

En termes de nombre d'individus, les insectes dominent nettement toutes les catégories des proies consommées par la Cigogne blanche, dont les coléoptères sont les plus consommés et les autres catégories sont cependant peu représentées. Les résultats de cette étude sont très semblables à plusieurs travaux qui ont démontré que les invertébrés, surtout des insectes, sont les proies les plus communes dans l'alimentation de la Cigogne blanche. Ceci est valable pour plusieurs régions dans l'aire de reproduction de l'espèce, que ce soit en Algérie où par exemple Boukhemza (2001) a quantifié environ 93% des insectes dans le régime alimentaire de l'espèce à Tizi Ouzou (Nord Algérie), ou en Europe (Barbraud & Barbraud, 1998 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Milchev *et al.*, 2013) où par exemple en Grèce (Vrezec, 2009), les insectes occupent 92,6% du régime alimentaire. Selon les références mentionnées ci-dessus, la Cigogne blanche consomme aussi d'autres catégories de proies comme Crustacea, Aranea, Myriapoda, et Pisces, mais avec des quantités modérées. L'absence de certaines de ces catégories dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche nicheuse à Batna peut être liée aux caractéristiques écologiques de la région d'étude (conditions climatiques et le type des habitats de gagnage) qui diffèrent de celles du nord de l'Algérie et d'Europe. Il est aussi probable que certaines catégories de proies soient non détectées à cause de leur état de digestion très avancée.

Généralement, la Cigogne blanche a une alimentation diversifiée la classant comme une espèce opportuniste (Milchev *et al.*, 2013). Les valeurs mesurées de la diversité du régime alimentaire (S , H' , FNB , E) indiquent que la Cigogne blanche a le régime d'une espèce généraliste qui utilise généralement des ressources alimentaires de ses habitats de gagnage d'une manière complémentaire et compensatrice pour satisfaire ses besoins nutritionnels. Ces derniers sont variables suivant les différents stades de reproduction. En effet, les résultats de cette étude, à savoir la variation significative du nombre d'individus et la variation non-significative d'autres paramètres du régime alimentaire, révèlent que la Cigogne blanche tend à exercer un équilibre, au cours de chaque stade phénologique, entre le nombre d'individus des proies et leur biomasse.

Dans ce contexte, et afin de garantir la meilleure performance des fonctions vitales, les espèces animales cherchent et sélectionnent les habitats de gagnage et de reproduction qui leur offrent une alimentation adéquate avec des valeurs énergétiques élevées et en quantité suffisante, mais aussi avec moins d'effort (Tortosa *et al.*, 2002 ; Kosicki *et al.*, 2006 ; Nielsen *et al.*, 2010).

Quel que soit le type d'insectes, ils représentent la majorité des espèces-proies ingérées par la Cigogne blanche dans la région de Batna, mais ils ne représentent que 10,8% (7,7% pour Coleoptera) de la biomasse totale. Par conséquent, leur contribution est marginale dans l'apport en biomasse du régime alimentaire. Toutefois, pendant la croissance poussins, les insectes représentent une source riche ($B = 5\%$). Ce qui nous renseigne sur sa contribution au succès de reproduction au cours de cette période critique (Barbraud & Barbraud, 1998) à la fois pour oisillons et les parents qui dépensent plus d'énergie dans l'élevage des jeunes. Il est connu que la Cigogne blanche sélectionne la taille des proies en fonction de l'âge des poussins, ainsi plus les jeunes croissent plus les parents leur fournissent avec des proies plus larges (Djerdali *et al.*, 2008a). Ceci est dit pour souligner le rôle important des insectes dans le nourrissage des jeunes poussins aux cours des premiers âges de leur vie.

Il est constaté que la plus importante biomasse alimentaire prise par la Cigogne blanche dans la région de Batna est principalement composée des restes de volailles (*Gallus gallus domesticus*) et secondairement inclut les petits mammifères. En fait, les cigognes blanches se nourrissent en permanence des restes de volailles durant tous les stades de reproduction. Ni le nombre ni la biomasse de cette catégorie ne semblent varier entre les stades de reproduction. Cependant, les caractéristiques du régime alimentaire (abondance, composition et biomasse) des autres catégories des proies, principalement des invertébrés, connaissent des variations significatives entre les stades de reproduction. En fait, ces catégories de proies sont consommées comme des proies accessoires. En revanche, les proies vertébrées, représentant les principaux éléments de la biomasse du régime alimentaire, sont consommées en permanence. Car la Cigogne blanche est régulièrement à la quête d'aliments riches en énergie pour le maintien et/ou l'augmentation de son fitness et donc l'améliorer de la performance de reproduction (Byholm & Kekkonen, 2008 ; Van den Burg, 2009).

L'abondance des restes de volaille trouvés dans l'alimentation de la Cigogne blanche met en évidence le degré d'influence des activités humaines sur son comportement trophique. L'espèce trouve cette catégorie d'aliments dans les décharges situées à proximité des colonies étudiées. En effet, la Cigogne blanche utilise les décharges publiques comme habitat de gagnage très avantageux pour s'approvisionner avec des sources de nourritures supplémentaires et constantes tout au long de la période de reproduction (Tortosa *et al.*, 2002), notamment (i) lorsque les besoins nutritionnels augmentent, (ii) quand les conditions climatiques deviennent sévères, ou (iii) lorsque les proies sont

rare dans les autres habitats de gagnage (Djerdali, 2010 ; cf. Chapitre 5). Ce comportement alimentaire a également été décrit en Europe, où les décharges sont utilisées comme source de nourriture supplémentaire pour faire face à l'augmentation des besoins nutritionnels des oisillons, en particulier pendant l'été (Kruszyk & Ciach, 2010). Des observations pareilles sont faites dans les sites d'hivernage hors la saison de reproduction (Ciach & Kruszyk, 2010). Cependant, Si Bashir *et al.* (2013) a révélé que les colonies de la Cigogne blanche établies près des habitats naturels de gagnage ont un succès de reproduction plus élevé par rapport à celles liées aux zones urbaines et les décharges situées à proximité. En outre, l'alimentation dans ces habitats artificiels peut entraîner l'ingestion de substances non comestibles telles que les items en plastique et les déchets (Peris, 2003).

Le régime alimentaire de la Cigogne blanche était plus diversifié ($H' = 4,44$; $FNB = 14$) et plus uniformément réparti ($E = 0,83$) pendant le stade de pré-reproduction, bien que le nombre de proies était faible. Cela peut être dû au fait que les cigognes blanches, pendant cette période, passent la plupart de leur temps à la recherche de nourriture, qui est rare en raison des conditions post-hivernales. En effet, les oiseaux migrateurs passent généralement la plupart du temps après l'arrivée "post-migration" en engraissement et repos pour reprendre le poids perdu lors de la migration, et de se préparer pour la reproduction (Lovette & Holmes, 1995). En outre, les habitudes alimentaires et les environnements de gagnage ont un impact majeur sur le comportement de gagnage et la composition alimentaire de cigognes en cette période. Ceci explique les différences significatives détectées pour les valeurs des paramètres du régime alimentaire (en particulier N , FNB , H' et E). Mais, plus la Cigogne blanche passe du temps dans les terres de reproduction, plus elle modifie son comportement alimentaire. Cependant, elle a généralement tendance à équilibrer son alimentation du point de vue biomasse des proies. En outre, il est important de signaler que la cyclicité et la variabilité des fluctuations des espèces-proies ont un impact critique sur les patrons de la composition du régime alimentaire ainsi que sur la productivité de l'oiseau (Hušek *et al.*, 2013).

La dimension de la niche alimentaire de la Cigogne blanche (quantifié par le nombre d'individus, nombre d'espèces-proies consommées, et biomasse des proies) est plus élevée pendant la période d'élevage des poussins. Durant cette période, les parents consomment plus d'espèces-proies ($Sm = 6,0 \pm 8,0$ espèces-proies par pelote) et plus de proies ($Nm = 18,0 \pm 36,7$ individus par pelote), ce qui représente la plus grande biomasse dans le régime alimentaire ($B = 53,23\%$). Ceci revient à l'exercice des parents d'un effort d'alimentation supplémentaire pour répondre et subvenir aux besoins nutritionnels croissants de leurs poussins, en plus de leurs propres exigences nutritionnelles. En outre, il est indiqué que les parents contrôlent la quantité de nourriture et de la taille des proies suivant le degré de croissance 'taille' des poussins (Djerdali *et*

al., 2008a). Une fois que les poussins sont émancipés du nid "période de post-reproduction", les parents ne doivent plus se nourrir si intensément parce que la plupart des obligations de d'élevage et de nutrition des poussins sont levées, ce qui montre les habitudes alimentaires similaires à celles observées dans des conditions de ponte et d'incubation.

Puisque tous les changements temporels dans la composition du régime alimentaire ne peuvent pas être absolument attribués aux périodes phénologiques de reproductions des cigognes, les changements détectés entre les différents stades de reproduction pourraient être partiellement dus aux variations de la disponibilité alimentaire des habitats. Parce que l'approvisionnement en certaines sources alimentaires n'est pas constant tout au long de la période d'étude.

5. Conclusion

Quel que soit le niveau de la perception du régime alimentaire de la Cigogne blanche (global ou par ordres-proies), la biomasse des proies n'a pas révélé des variations significatives entre les stades phénologiques de reproduction. Néanmoins, ce paramètre a été trouvé être lié positivement à la période d'élevage des poussins, ce qui peut être expliqué par une augmentation de la biomasse alimentaire fournie comme et quand les poussins grandissent au cours de cette période. Par ailleurs, ceci confirme le concept que la Cigogne blanche équilibre sa nourriture entre le nombre d'individus avec le nombre d'espèces proies d'une part, et avec la quantité "biomasse" de ces proies d'autre part. Les habitudes et le comportement trophiques de la Cigogne blanche intervient dans le contrôle de la composition de son régime alimentaire et sa variation temporelle. Parce que, récemment, l'espèce fourrage plus en plus sur les décharges en général et sur les déchets de l'agriculture de la volaille en particulier, qui a un effet significatif sur le succès de la reproduction (Tortosa *et al.*, 2002 ; Djerdali, 2010). Nos conclusions sur la stratégie d'alimentation de la Cigogne blanche montrent l'opportunisme de l'espèce et sa vulnérabilité au stade d'élevage des poussins, qui peut être critique pour des mesures de conservation. Cependant, la même stratégie adaptative a également permis l'expansion de l'espèce dans la majorité de ses zones de distribution actuelles. La question qui se pose vers la fin, c'est : que devient le statut trophique et reproductif de l'espèce et comment elle va réagir une fois elle n'aura plus accès aux ressources alimentaires des décharges lorsque celles-ci sont aménagées et/ou converties ?

Chapitre 5

“
Diversité des proies consommées selon deux gradients
climatique et d'urbanisation”

Chapitre 5 – Diversité des proies consommées selon deux gradients climatique et d'urbanisation

Résumé

La composition trophique et de la stratégie d'alimentation de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) ont été étudiées en analysant les pelotes de régurgitation dans huit colonies situées dans le Nord-est de l'Algérie le long d'un gradient climatique (comprenant les climats aride, semi-aride et subhumide) et à travers trois types de paysages (rural, suburbain et urbain). Les proies vertébrées constituent 5% de 1728 individus-proies identifiés, tandis que les invertébrés représentent 95% (dont 94% des insectes), avec 81% des coléoptères renfermant 35 espèces-proies sur un total de 61 espèces-proies rencontrées dans le régime alimentaire. Les proies vertébrées incluent dix espèces, dont sept étaient des petits rongeurs. La majeure part de la biomasse consommée est représentée par les proies vertébrées (86%), dominées par les restes de poulet (67%) prélevés des décharges, et les petits mammifères (14%). Des similitudes élevées dans le régime alimentaire ont été trouvées entre les climats et les paysages étudiés, principalement entre les colonies des zones semi-arides et subhumides, ainsi que les colonies rurales et urbaines. Les courbes de raréfaction et d'extrapolation indiquent que la richesse en espèces-proies dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche est attendue à être plus élevée dans les colonies situées sous climat subhumide et dans des paysages urbains. Le régime alimentaire de la Cigogne blanche était exceptionnel dans les régions arides, malgré le faible nombre d'espèces-proies, la Cigogne blanche a démontré une large niche trophique. Ceci peut être expliqué par l'effet de l'alimentation complémentaire et l'expansion de la niche trophique pour surmonter les contraintes environnementales des habitats de gagnage, qui induisent un déficit ou la rareté des ressources alimentaires. Les modèles linéaires généralisés ont révélé que le nombre de proies variaient significativement entre les climats et les types de paysages. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée pour le reste des paramètres du régime alimentaire, y compris la biomasse des proies. Les résultats de l'étude suggèrent que, quel que soit le climat ou le paysage des colonies, la Cigogne blanche est capable d'assurer un apport alimentaire constant, en dépit des fluctuations de la biomasse spécifique des proies, en variant le nombre d'individus des proies consommées. Le gagnage dans divers habitats, y compris les décharges d'ordures, assure un équilibre suffisant dans le régime alimentaire pour répondre aux besoins nutritionnels.

Mots-clés : Cigogne blanche *Ciconia ciconia* ; régime alimentaire ; écologie trophique ; niche trophique ; habitats urbains et ruraux ; biodiversité.

Abstract

Food composition and feeding strategy of the White Stork (*Ciconia ciconia*) were studied using pellet analysis in eight colonies located in the Northeast of Algeria along a climatic gradient (including arid, semi-arid and sub-humid climates) and across three types of landscapes (rural, suburban and urban). Vertebrate prey constituted 5% of 1728 identified prey-items, while invertebrate prey accounted for 95% (94% insects), with 81% Coleopterans comprised of 35 species out of a total of 61 documented species in the diet. Vertebrates included ten species, of which seven were small rodents. Most of the biomass intake was represented by vertebrate prey (86%), dominated by chicken remains (67%) taken from rubbish dumps and small mammals (14%). High similarities in diet content were found between study climates and landscapes, mainly among colonies of semi-arid and sub-humid areas, as well as rural and urban colonies. Rarefaction and extrapolation curves indicated that prey species richness in White Stork diet was expected to be higher in colonies located under sub-humid climate and in urban landscape. White Stork diet was unusual in arid regions, despite the low prey species numbers, the White Stork has demonstrated a broad trophic niche. This may be explained by the effect of supplementary feeding and expansion of the trophic niche to overcome environmental constraints of foraging habitats, inducing a deficit or scarcity of food resources. Generalized linear models revealed that prey numbers varied significantly between climate regions and landscapes types, but no significant differences were observed for the rest of the diet parameters, including prey biomass. Findings of the study suggest that, regardless of the climate or landscapes, the White Stork is able to ensure constant food intake, despite prey biomass fluctuations, by varying the number of individuals of consumed prey. Foraging in diverse habitats, including trash dumps, ensures sufficient balance in diet to meet nutritional requirements.

Keywords: White Stork *Ciconia ciconia*; diet composition; feeding ecology; trophic niche; urban and rural habitats; biodiversity.

1. Introduction

Parmi les formes les plus durables de la modification de l'habitat dans le monde, l'urbanisation a une place importante. Cependant, les réponses des espèces d'oiseaux aux changements environnementaux significatifs de l'urbanisation varient considérablement (Chace & Walsh, 2006 ; Rebolo-Ifrán *et al.*, 2015). Bien que l'urbanisation affecte négativement les espèces d'oiseaux qui évitent les zones urbaines "urban-avoiders", les espèces adaptées à l'urbain "urban-adapted" et les espèces exploitrices de l'urbain "urban-exploiters" s'accommodent par des changements avec des effets variables sur différents traits vitaux, y compris l'écologie trophiques (Fuller *et al.*, 2012), la distribution (Fuller *et al.*, 2008), la reproduction (Máthé & Batáry, 2015),

et le comportement (Bókony *et al.*, 2012). Plusieurs études ont indiqué que la densité des oiseaux en gagnage par parcelle était significativement plus élevée en milieu urbain qu'en zones suburbaines et rurales (Lepczyk, Mertig & Liu, 2004 ; Fuller *et al.*, 2012), parce que les zones urbaines offrent des opportunités permanentes et supplémentaires pour le gagnage et la nidification (Máthé & Batáry, 2015).

Les recherches sur la composition des aliments peuvent jouer un rôle essentiel dans la détermination des conditions d'habitats de gagnage et de définir les niches trophiques des espèces à des fins de conservation (Alonso *et al.*, 1991). Les oiseaux en général et les oiseaux d'eau particulièrement, sont de bons indicateurs des conditions environnementales des écosystèmes. Ils sont considérés comme un reflet fidèle de la riche faune et la flore d'un habitat donné (Gregory & Strien, 2010 ; Tobólka *et al.*, 2012 ; Bensizerara *et al.*, 2013). L'abondance des ressources alimentaires disponibles semble être l'un des principaux facteurs limitant les densités des populations animales car elle affecte la croissance individuelle (Karasov, 1996 ; Janiszewski *et al.*, 2014). En particulier chez les oiseaux (Brasher *et al.*, 2007 ; Tryjanowski *et al.*, 2009a ; Crampton *et al.*, 2011).

Les études du régime alimentaire de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758) ont montré que l'espèce est un prédateur opportuniste (Vrezec, 2009). La plupart de ces études sont basées sur l'analyse des restes digérés trouvés dans les pelotes de régurgitation (Mužinić & Rašajski, 1992 ; Antczak *et al.*, 2002). Même si l'analyse de ces pelotes a quelques limitations, elle a été utilisée avec succès dans le passé et elle représente une technique moins invasive que les autres procédures telles que l'analyse directe du contenu du tube digestif (Chenchouni, 2014).

La cigogne blanche a été largement étudiée en Europe (Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Tryjanowski *et al.*, 2009a). Cependant, dans les aires de reproduction en Afrique du Nord, les informations sur son régime alimentaire restent rares et la plupart du temps limitées aux régions du nord de l'Algérie (Boukhemza, 2001 ; Sbiki, 2009 ; Djerdali, 2010). Cela rend les données de la distribution africaine de cette espèce très utiles sur le plan écologique, et donc nécessaires pour établir un plan global de conservation à plus grande échelle. Cependant, seules des études ponctuelles des pays d'Afrique du Nord se trouvent dans la littérature (Ciach & Kruszyk, 2010). Les études antérieures portent principalement sur (i) la composition du régime alimentaire par analyse des pelotes (par exemple Boukhemza *et al.*, 1995) ; (ii) la disponibilité et la composition des ressources alimentaires (Boukhemza *et al.*, 2004 ; Boukhemza *et al.*, 2006) ; (iii) l'utilisation des habitats de gagnage (Boukhemza *et al.*, 2006) ; et (vi) les stratégies d'alimentation pendant les différentes phases de reproduction (Chenchouni *et al.*, 2015). L'alimentation et le repos des cigognes blanches dans les décharges sont signalés en Afrique du Nord (Maroc, Égypte) ainsi que dans le Moyen-Orient et la péninsule arabique (Ciach & Kruszyk, 2010). Ce comportement est

également courant en Algérie (Djerdali, 2010 ; Chenchouni *et al.*, 2015). À ma connaissance, il n'y a aucune étude portant sur la variation des patrons du régime alimentaire de la Cigogne blanche à travers un gradient climatique, y compris les zones arides et semi-arides. Par ailleurs, l'influence de l'urbanisation sur la faune, notamment les oiseaux, reste mal étudiée à l'échelle nord-africaine. En outre, la variation du régime alimentaire de la Cigogne blanche à travers des paysages ruraux vers les zones urbaines n'a jamais été rapportée.

Puisque les conditions climatiques locales sont essentielles pour le contrôle des ressources alimentaires - qui à leur tour influent sur les performances de reproduction - les effets du climat sur le régime alimentaire et la reproduction de la Cigogne blanche ont été explorés (Jovani & Tella, 2004 ; Tryjanowski *et al.*, 2009a). Des études ont abordé l'influence des facteurs climatiques et la variabilité de la nourriture dans les habitats de gagnage/reproduction sur les patrons de la reproduction (Tortosa *et al.*, 2003 ; Tryjanowski *et al.*, 2005 ; Denac, 2006 ; Djerdali *et al.* 2008 ; Kosicki, 2012 ; Si Bachir *et al.*, 2013). En outre, Si Bachir *et al.* (2013) ont rapporté que le niveau d'urbanisation, exprimé par l'utilisation des terres et des propriétés agricoles du site de la colonie, affecte le succès de la reproduction et de la densité des populations.

Pendant que le régime alimentaire de la Cigogne blanche est bien étudié dans l'ensemble de son aire de répartition en Europe (par exemple Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Kosicki *et al.*, 2006), la variation de la composition du régime alimentaire à travers un gradient climatique dans les terres de reproduction nord-africaine entre les zones arides et semi-arides vers les régions humides du nord n'est pas bien définie, même si le régime alimentaire a été étudié au niveau local (Boukhemza *et al.*, 1995 ; Boukhemza *et al.*, 2006 ; Djerdali, 2010). Dans un scénario de réchauffement global (Durant *et al.*, 2007), des désynchronisations peuvent se produire entre les pics locaux dans l'abondance de nourriture et la période de reproduction, avec des conséquences sévères pour le succès de reproduction (Van Der Jeugd *et al.*, 2009), en particulier pour les petites espèces tels que les passereaux (Thomas *et al.*, 2001). Les conditions climatiques sont sujettes à des variations spatiales et temporelles qui affectent les ressources alimentaires et les habitats.

Cette étude examine la variation de la composition du régime alimentaire de la Cigogne blanche à la fois à travers un gradient climatique et un gradient de paysages allant des zones urbaines et suburbaines vers des zones rurales. Les cigognes blanches sont prévues pour modifier les efforts de l'alimentation pour équilibrer leur régime alimentaire afin de maintenir des niveaux élevés de consommation d'énergie et de fitness pour assurer un succès de reproduction élevé. Sous différentes conditions climatiques, la Cigogne blanche peut ajuster son apport alimentaire en fonction des caractéristiques de l'alimentation (quantité, qualité et disponibilité), par exemple, en consommant un grand 'nombre de proies' *versus* une nourriture de la biomasse élevée *versus* des aliments riches en énergie.

Le type et la structure des paysages, avec le climat, affectent la productivité et les effectifs reproducteurs des cigognes blanches, par la détermination de la disponibilité de l'eau et les conditions agricoles (Tryjanowski *et al.* 2005 ; Ramo *et al.*, 2013 ; Si Bachir *et al.*, 2013). Basé sur les rapports précédents, la Cigogne blanche sélectionne des habitats productifs hétérogènes (Pinowski *et al.*, 1991 ; Johst *et al.*, 2001 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Boukhemza *et al.*, 2006 ; Janiszewski *et al.*, 2014) qui offrent une gamme de ressources alimentaires variables selon la qualité, l'abondance et la disponibilité (Kosicki *et al.*, 2006) qui affectent son succès de reproduction (Tryjanowski & Kuźniak, 2002 ; Tortosa *et al.*, 2003 ; Massemin-Challet *et al.*, 2006). Pour mieux comprendre si l'aridité climatique et l'urbanisation des sites des colonies influencent la composition du régime alimentaire de la Cigogne blanche, il est donc essentiel de décrire la composition de son régime alimentaire à travers différents climats (subhumide, semi-aride et aride) et paysages (ruraux, suburbain et urbain). Parmi les questions soulignées dans cette étude : (i) est-ce que la biodiversité dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche baisse en milieu urbain par rapport aux habitats naturels-ruraux ? (ii) est-ce que la composition du régime alimentaire (en termes de diversité et de quantité) augmente lorsque la productivité de l'habitat s'augmente sous climat humide, mais diminue dans des conditions arides ?

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone et colonies d'étude

Le régime alimentaire des couples nicheurs de la Cigogne blanche dans les zones rurales et urbaines de Batna (Nord-est algérien), où la majeure partie des populations de la Cigogne blanche vit (Si Bachir *et al.*, 2013), a été étudié en utilisant la méthode d'analyse des pelotes de régurgitation. Huit colonies de la Cigogne blanche situées dans différentes zones climatiques (sub-humide, semi-arides et arides) ont été échantillonnées (Fig. 1) : (1) Merouana, (2) Oued El Ma, (3) Seriana, (4) K'sar Belezma qui connaissent toutes un climat subhumide à hiver froid ; (5) Ferme Riche, (6) Bouachaoune, (7) Chemora qui ont un climat semi-aride à hiver frais ; et (8) N'Gouas avec un climat aride frais. Ces différences climatiques observées dans la zone d'étude sont principalement dues à la large étendue d'altitude et l'emplacement spécifique entre la mer Méditerranée (à ~ 115 km à vol d'oiseau au nord) et le Sahara (à ~ 90 km à vol d'oiseau au sud) (Chenchouni *et al.*, 2010).

Les informations climatiques pour chaque site de la colonie sont générées sur la base des interpolations de données météorologiques à long terme des dix stations météorologiques les plus proches autour de la colonie de l'étude en question. Les interpolations sont réalisées en utilisant la méthode "nearest neighbour" du logiciel climatique New_LocClim version 1.10 (http://www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp). Bien que ces interpolations soient plus adaptées pour les zones à grande échelle, des différences climatiques ont été observées entre

certains sites étudiés de la Cigogne blanche. Les caractéristiques climatiques dans Merouana, Oued El Ma, K'sar Belezma et Seriana étaient assez similaires. Un deuxième groupe de colonies climatiquement-similaires comprend les sites de Ferme Riche, Bouachaoune et Chemora. Enfin, ces deux ensembles de colonies présentent des caractéristiques climatiques différentes de celles de la colonie de N'Gouas. L'indice de rayonnement de sécheresse de Budyko indique un climat semi-aride dans le premier ensemble de colonies (étendue : 2,88 à 2,94), alors que le reste des colonies sont classées comme désert dont l'indice de Budyko varie entre 3,48 et 3,86. Cependant, l'indice de De Martonne a révélé que le climat dans Merouana, Oued El Ma, K'sar Belezma et Seriana est subhumide sec, alors qu'il est semi-aride à la Ferme Riche, Bouachaoune, Chemora et N'Gouas (Annexe 8). Dans toutes les colonies de l'étude, le déficit de précipitations estimé a montré des valeurs supérieures à 688 mm/an, ce qui est plus élevé que la pluviométrie annuelle enregistrée dans la région. La production primaire nette climatique (NPP) de ces sites varie entre 582 et 741 g de MS/m²/an, avec les précipitations, plutôt que les températures, prises d'être le principal facteur limitant de la NPP dans ces habitats de l'Afrique du Nord (Bradai *et al.*, 2015).

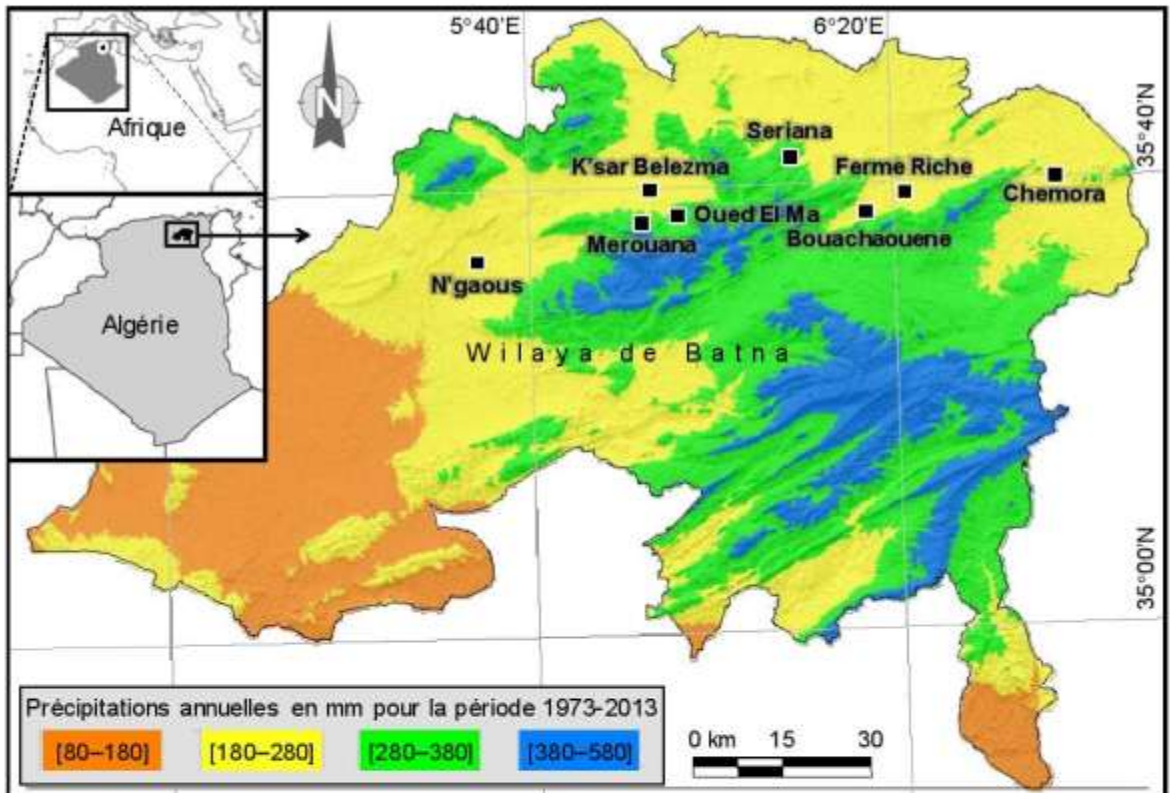


Figure 1. Carte des précipitations annuelles de la wilaya de Batna (Nord-est de l'Algérie) avec les emplacements géographiques des huit colonies échantillonnées de la Cigogne blanche. Les données pluviométriques cartographiées provenaient de la station météorologique de Batna (Code de l'OMM : 60468) pour la période 1974–2013.

Par ailleurs, les colonies de Bouachaoune, K'sar Belezma, et Ferme Riche sont situées dans des paysages ruraux, les colonies d'Oued El Ma et Seriana s'étendent le long des paysages suburbains ; tandis que les colonies de Chemora, Merouana et N'Gouas sont situés au sein des zones urbaines. Cette classification a été adaptée en fonction de l'extension de la zone urbaine, la taille de la population humaine, et les paysages agricoles et naturels adjacents.

Une zone urbanisée consiste d'une zone entièrement bâtie avec une population de 20.000 habitants ou plus. La taille de la population dans Merouana était d'environ 41.125 habitants, alors que N'Gouas comprend 31.920 habitants et Chemora a une population de 20.369 habitants. Ces données sont fournies par la Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire (DPAT) de Batna (Annexe 8). Une zone rurale est un endroit avec peu d'habitants vivant dans des maisons dispersées et situées dans une matrice de paysages naturels et/ou agricoles. Un territoire suburbain est une zone non classée comme entièrement urbaine ou entièrement rurale, soit une population d'agglomération continue de moins de 2.000 habitants.

2.2. Collecte et analyse des pelotes

Les pelotes de régurgitation ont été recueillies des nids construits sur différents types de support (principalement des toits de maisons et pylônes d'électricité). À la fin du mois de janvier, les vieilles pelotes ont été retirées des sites de nidification dans chaque colonie d'étude avant l'arrivée de cigognes blanches nicheuses. Les pelotes sont prélevées à intervalles réguliers (toutes les deux semaines) pendant la saison de reproduction en 2011, qui s'étend de début de février à la fin de juillet. Seules 87 pelotes des adultes reproducteurs ont été analysées au cours de cette étude. Les pelotes analysées ne sont pas fragmentées et étaient choisies en fonction de leur taille (grande longueur et la largeur) et leur forme ovale, tandis que le reste des pelotes étaient fragmentés ou des pelotes petites appartenant aux poussins et n'ont donc pas été analysées pour cette étude.

Comme le nombre de colonies de la Cigogne blanche diffère entre les zones climatiques, la taille de l'échantillon des pelotes recueillies par type de climat diffère ainsi, avec 36 pelotes recueillies de climat subhumide, 40 pelotes de semi-aride et 11 pelotes de l'aride. De la même façon, le nombre de pelotes différait entre les paysages du site des colonies, 14 pelotes ont été prélevées à des paysages suburbains ; alors que 37 et 36 pelotes de paysages ruraux et urbains, respectivement. Pour faire face à cette situation (différente taille des échantillons), des raréfactions et interpolation à base d'échantillons ont été appliquées afin d'égaliser et de rendre possible les comparaisons de la richesse du régime alimentaire entre les climats et le types des paysages (Colwell, 2013). (cf. 2.3.3. *Extrapolation de la richesse en espèces*)

Les pelotes ont été décortiquées et analysées par voie humide en utilisant des procédés standards (Duffy & Jackson, 1986 ; Rosenberg & Cooper, 1990). Les restes de proies ont été identifiés au niveau du genre et/ou espèce (ou au moins au niveau de la famille) en utilisant une loupe binoculaire et des guides/clés d'identification (Vachon, 1952 ; Perrier, 1961 ; Perrier, 1963 ; Perrier, 1964 ; Day, 1966 ; Debrot *et al.*, 1982 ; Zahradnik, 1988 ; Dierl & Ring, 1992 ; Auber, 1999 ; Berland, 1999 ; Patrice, 2003). L'identification a été réalisée par Prof. Si Bachir A. (Univ. Batna 2). Les proies insectes ont été identifiées à partir des restes du thorax, têtes, élytres, les pattes. Les arachnides ont été identifiés suivant les restes des chélicères en plus de restes de pédipalpes et le telson pour les scorpions. Tandis que les gastéropodes ont été reconnus à travers les restes de la columelle. Les os et crânes ont été utilisés pour identifier les proies vertébrées, ainsi que les poils pour les petits mammifères et les plumes et/ou les becs pour les oiseaux (Chenchouni, 2014 ; Chenchouni *et al.*, 2015).

2.3. Analyses de la biodiversité

2.3.1. Biodiversité observée des proies

Les pelotes ont été utilisées comme unité de mesure pour les paramètres suivants du régime alimentaire. Le nombre de individus de proies (ni) a été déterminé pour chaque espèce-proie identifiée dans chaque pelote, puis la fréquence des proies "PF" a été calculée comme la proportion de l'espèce-proie i par rapport au nombre total d'individus-proies (N). La richesse observée en espèces "S" est estimée comme le nombre total des espèces-proies identifiées dans chaque pelote (Magurran, 2004). La moyenne de N par pelote (Nm) et de S par pelote (Sm) étaient le nombre moyen d'individus et d'espèces-proies, respectivement, observés dans les pelotes. La biomasse des proies (B) a été évaluée comme le poids des individus " ni " de l'espèce-proie i / le poids total de N individus (tous les individus de S espèces-proies) (Vivien, 1973). La biomasse des proies a été obtenue à partir d'études antérieures réalisées sous les mêmes conditions écologiques dans la zone d'étude (Ghenam & Si Bachir, 2011 ; Chetara & Mechouma, 2012 ; Chenchouni, 2014). Pour les espèces-proies invertébrées et vertébrées, le poids frais a été utilisé pour déterminer la biomasse. La fréquence de proies (PF) et la biomasse (B) ont été calculées pour les pelotes combinées par type de climat ou de paysage. Pour ces deux paramètres, les données ont été présentées au niveau de l'ordre pour faciliter la comparaison entre les études (Duffy & Jackson, 1986). Des tests du Chi-carré de Pearson (χ^2) ont été utilisés pour comparer les valeurs de PF et B des principaux groupes de proies (défini comme ordres taxonomiques de proie) entre les zones climatiques et les types de paysages.

La diversité du régime alimentaire de la Cigogne blanche a été mesurée en utilisant l'indice de Shannon ($H' = -\sum(pi \times \log_2 pi)$) et l'équitabilité ($E = H'/H_{\max} \times 100$, avec $H_{\max} = \log_2 S$), où pi est la proportion de l'espèce-proie i (Magurran, 2004). Les valeurs de l'équitabilité varient de 0 (représentant un régime alimentaire d'une espèce spécialiste) à 100% (indiquant un régime

alimentaire d'espèce généraliste). En outre, l'étendue de la niche trophique (FNB) : $FNB = 1/\sum p_i^2$ a été appliquée pour l'évaluation de la diversité des proies et la niche trophique de l'espèce. Les valeurs de cet indice fluctuent de 1 à S (nombre total d'espèces-proies observées), avec des valeurs plus élevées indiquant une plus large dimension de la niche alimentaire (Levins, 1968). Un nouveau rapport (FNB/S) a été adapté pour exprimer avec une précision l'étendue de la niche trophique. Ainsi, le ratio FNB/S varie entre 0, révélant une niche trophique étroite, et 1 indiquant une niche trophique large. La fréquence d'occurrence (Occ) a été calculée pour chaque espèce-proies et pour les ordres-proies par le nombre de pelotes dans lequel l'espèce ou l'ordre a été trouvé / le nombre total des pelotes analysées (Bensizerara *et al.*, 2013). Quatre classes d'occurrence ont été caractérisées (Neffar *et al.*, 2016) : proies très accidentelles (VA) avec une occurrence de moins de 12,5% ; proies accidentelles (AC) présentes dans 12,5 à 25% des pelotes ; proies communes (CM) entre 25–49% d'occurrence ; et proies constantes (CN) sont présentes dans 50% ou plus des pelotes.

2.3.2. Estimations de la richesse des espèces-proies

Le programme EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013) a été utilisé pour calculer la richesse spécifique estimée des proies (S_{est}). Ainsi S_{est} a été évaluée en utilisant les estimateurs les plus précis et moins biaisés (Brose & Martinez, 2004). Les estimateurs suivants ont été appliqués pour la richesse asymptotique des espèces-proies : (i) S_{est} (analytique) qui fournit le nombre prévu des espèces-proies à un nombre donné d'échantillons (Colwell *et al.*, 2012), (ii) l'estimateur Jackknife de premier ordre de la richesse spécifique ($S_{(Jack\ 1)} = S + Q_1((m-1)/m)$) (Heltshe & Forrester, 1983), (iii) la richesse spécifique estimée de Chao 2 ($S_{(Chao\ 2)} = S + ((m-1)/m)(Q_1^2/2Q_2)$) (Chao, 1987) ; avec S : nombre total des espèces-proies observées dans toutes les pelotes combinées, m : nombre total de pelotes analysées, Q_1 et Q_2 : fréquence des proies uniques et des proies doublons, respectivement. Le nombre de proies uniques (espèces-proies qui occurrent dans une seule pelote) et de proies doublons (espèces rencontrées dans deux seules pelotes) ainsi que les valeurs des estimateurs de la richesse spécifique ont été données par la moyenne (\pm écart-type "SD") suivant les 100 'runs' de randomisations (Colwell *et al.*, 2012). En outre, quatre indices de la diversité des espèces ont été simultanément calculés en utilisant EstimateS : (i) alpha de Fisher (le paramètre alpha d'un ajustement logarithmique de la distribution d'une série), (ii) indice de diversité de Shannon (H'), (iii) la forme inverse de l'indice de diversité de Simpson ($1/I_s$), où $I_s = (\sum ni(ni-1))/N(N-1)$, et (iv) indice de Hill = $(1/I_s)/\exp(H')$ (Magurran, 2004).

2.3.3. Extrapolation de la richesse en espèces

Afin de faire face à la taille variable d'échantillons des pelotes entre les climats et les paysages et pour égaliser le contenu de l'information des échantillons, des courbes de raréfaction et

d'extrapolation ont été dégagées en se basant sur un ensemble de modèles statistiques appropriés d'échantillonnage (Colwell *et al.*, 2012 ; Colwell, 2013). La richesse en espèces a été extrapolée pour rendre possible la comparaison de la richesse issue d'échantillons-raréfiés de référence variables (nombre de pelotes). Les extrapolations ont été réalisées pour une taille d'échantillon de 300 pelotes pour la zone d'étude et pour chaque type de climat et de paysage du site des colonies. Les interpolations de S_{est} ont été assignées avec les bornes inférieure et supérieure de 95% d'intervalle de confiance.

Le modèle des données brutes est 'Multiple-Sample-Based-Data' (batch input, comprenant les climats et les paysages du site des colonies. Plus de détails sur la raréfaction, l'extrapolation, les estimateurs de la richesse spécifique, et les indices de diversité des espèces sont disponibles dans Colwell (2013).

2.3.4. Similitudes spatiales des communautés de proies

Afin d'estimer la richesse spécifique partagée entre les régions climatiques et les types de paysages, plusieurs indices de similarité ont été calculés. Ceux-ci incluent des estimations de la similarité qualitatives en utilisant l'indice classique de Jaccard et l'indice classique de Sørensen, et également des approches quantitatives telles que les deux indices brut et estimé de Chao's Jaccard, les indices brut et estimé de Chao's Sørensen, l'indice Morisita-Horn, et l'indice de Bray-Curtis (Magurran, 2004 ; Chao *et al.*, 2005).

Le logiciel gratuit EstimateS a été utilisé dans le calcul de toutes les richesses spécifiques partagées et statistiques des similarités. Le modèle de données brutes utilisées pour l'analyse des similitudes est le Format 1 de Single-Sample-base-data "filetype 1" (Colwell, 2013).

2.4. Analyses statistiques

Les modèles linéaires généralisés (GLM) ont été appliqués pour modéliser les effets des types de climat et de paysage sur chaque paramètre de régime alimentaire (N , B , S , FNB , FNB/S , H' , H_{max} , E) enregistré au niveau de chaque pelote. L'effet de l'interaction "Climat \times Paysage" a été inclus dans chaque GLM. Les paramètres représentés avec des données de comptage (N , S) ont été modélisés en utilisant une erreur de distribution de Poisson et une fonction de lien log, tandis que le reste des paramètres du régime alimentaire (B , FNB , FNB/S , H' , H_{max} , E) ont été testés avec la distribution gaussienne et un lien identité (Myers *et al.*, 2012). Le *type-II* de l'analyse de variance a été utilisé pour chaque GLM pour souligner les effets des facteurs (Climat, Paysage, Climat : Paysage) et faire ressortir l'analyse de la déviance (tests de likelihood-ratio "LR"). Les tests *type II* ont été appliqués parce que tous les prédicteurs dans GLM sont des facteurs. Le logiciel R a été utilisé dans la modélisation statistique (R Core Team, 2016).

3. Résultats

3.1. Composition du régime alimentaire et richesse des proies

Dans la zone d'étude, le régime alimentaire de la Cigogne blanche inclut 2138 individus de proies composés de 61 espèces-proies répartis entre 7 classes, 13 ordres, 30 familles et 54 genres. En général, le spectre trophique de la Cigogne blanche se compose de 12 ordres-proies, dont 12 sont consommés dans les colonies semi-arides et 9 dans les colonies subhumides et arides. Les invertébrés représentent 95% de toutes les individus-proies, tandis que les proies vertébrées ne constituaient que 5% des individus. Les proies insectes sont les plus consommées sous différents climats ($PF = 94\%$ de tous les proies-individus), dont l'ordre des coléoptères est mieux représenté avec 1728 individus ($PF = 80,82\%$; $S = 35$ espèces), suivi par les dermoptères ($PF = 8,79\%$; $S = 5$ espèces) et les orthoptères ($PF = 3,41\%$; $S = 5$ espèces). Les restes du poulet étaient les items alimentaires les plus constants dans les pelotes analysées ($Occ = 68,97\%$). Cette catégorie d'aliment domine également la biomasse du régime alimentaire ($B = 68,97\%$), suivie par des rongeurs ($B = 14,41\%$) et les coléoptères ($B = 7,70\%$) (Tableau 1). Le test du Chi-carré a révélé que les fréquences des groupes de proies (ordres taxonomiques de proies) différaient significativement entre les zones climatiques ($\chi^2 = 45,41$; $ddl = 24$; $P = 0,005$) et les types de paysages ($\chi^2 = 70,15$; $ddl = 24$; $P < 0,0001$). Cependant, l'analyse des tableaux de contingence n'a montré aucune différence significative dans les valeurs de la biomasse de ces groupes de proies que ce soit entre les zones climatiques ($\chi^2 = 7,39$; $ddl = 24$; $P = 0,999$), ou entre les types de paysages ($\chi^2 = 4,91$; $ddl=24$; $P=0,999$).

En termes de proie, *Geotrupes* spp. Est le genre-proie le plus consommé sous des climats subhumide ($PF = 18,1\%$) et semi-aride ($PF = 14,9\%$), suivi par *Acinopus* spp. ($PF = 16,3\%$ et $14,6\%$, respectivement sous climat subhumide et semi-aride). En conditions arides, *Chrysobothris* spp. est reportée la plus élevée ($PF = 14,5\%$), suivie par *Brachycerus* spp. et *Pimelia* spp. ($PF = 13,3\%$ chacun). Pour les proies vertébrées, *Mus spretus* et *Rattus* spp. étaient les espèces les plus consommées sous différents climats. En termes de biomasse, les restes du poulet possèdent le plus grand pourcentage en termes de biomasse, en particulier dans le climat subhumide froid ($B = 69,7\%$) et le climat semi-aride frais ($B = 69,1\%$), et avec un taux un peu moindre en climat aride frais ($B = 64,3\%$). Les proies vertébrées avaient des contributions importantes de biomasse dans le régime alimentaire, en particulier les petits rongeurs *Rattus* spp. ($B = 5,7\%$), *Meriones shawi* ($B = 2,8\%$), *Mus spretus* ($B = 2\%$) et *Rattus norvegicus* ($B = 2\%$), et aussi la grenouille saharienne *Pelophylax saharicus* ($B = 1,6\%$). En revanche, toutes les proies invertébrées ne contribuent que légèrement, souvent une biomasse inférieure à 1%, sauf pour *Pamphagus* spp. ($2,5\%$), *Buthus occitanus* ($2,2\%$), *Geotrupes* spp. ($1,7\%$), *Helix* spp. ($1,4\%$), *Acinopus* spp. ($1,3\%$) (Tableau 1).

Tableau 1. Traits du régime alimentaire (*N*, *PF*, *B*, *Occ*, *Éch.*) des espèces-proies identifiées dans les pelotes de régurgitation de la Cigogne blanche nichant dans différentes régions climatiques et paysagères dans la Wilaya de Batna (Nord-est algérien).

La biomasse spécifique des proies en grammes est indiquée entre crochets. Fréquence des proies (*PF* en %) se réfère à la proportion de *N* de chaque espèce-proie à *N* total par région climatique ou paysage. (*N* : nombre d'individus-proies, *B* : biomasse (%), *S* : richesse en espèces-proies, *Occ* : fréquence d'occurrence (%), Échelle d'occurrence "Éch." : AC : accidentelle, CM : commune, CN : constante, VA : très accidentelle).

Classe : Ordre	Climat du site des colonies												Paysage du site des colonies						Toute la région d'étude																
	Subhumide				Semi-aride				Aride				Rural			Suburbain			Urbain																
	<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>		<i>N</i>	<i>PF</i>	<i>B</i>
Famille	Espèce																																		
Gastropoda : Stylommatophora (S = 1)	-	-	-	-	2	0,2	1,2	3	0,9	6,9	2	0,2	1,3	0	<0,1	<0,1	3	0,3	2,3	5	0,2	1,4	5,8	VA											
Helicidae	-	-	-	-	2	0,2	1,2	3	0,9	6,9	2	0,2	1,3	0	<0,1	<0,1	3	0,3	2,3	5	0,2	1,4	5,8	VA											
Arachnida : Araneae (S = 1)	5	0,6	<0,1	5	0,5	<0,1	1	0,3	<0,1	1	0,3	<0,1	5	0,6	<0,1	1	0,3	<0,1	5	0,5	<0,1	11	0,5	<0,1	12,6	AC									
Araneidae	5	0,6	<0,1	5	0,5	<0,1	1	0,3	<0,1	1	0,3	<0,1	5	0,6	<0,1	1	0,3	<0,1	5	0,5	<0,1	11	0,5	<0,1	12,6	AC									
Arachnida : Scorpionida (S = 1)	-	-	-	-	4	0,4	3,6	1	0,3	3,5	3	0,4	2,9	0	<0,1	<0,1	2	0,2	2,3	5	0,2	2,2	3,5	VA											
Buthidae	-	-	-	-	4	0,4	3,6	1	0,3	3,5	3	0,4	2,9	0	<0,1	<0,1	2	0,2	2,3	5	0,2	2,2	3,5	VA											
Insecta : Dermaptera (S = 5)	70	7,9	0,1	100	10,8	0,1	18	5,4	0,1	18	5,4	0,1	97	12	0,1	2	0,6	<0,1	89	8,9	0,2	188	8,8	0,1	11,3	AC									
Anisolabididae	61	6,9	0,1	90	9,7	0,1	11	3,3	<0,1	11	3,3	<0,1	85	10,6	0,1	1	0,3	<0,1	76	7,6	0,1	162	7,6	0,1	35,6	CM									
Labiduridae	3	0,3	<0,1	3	0,3	<0,1	1	0,3	<0,1	1	0,3	<0,1	3	0,4	<0,1	1	0,3	<0,1	3	0,3	<0,1	7	0,3	<0,1	6,9	VA									
Forficulidae	1	0,1	<0,1	4	0,4	<0,1	6	1,8	<0,1	6	1,8	<0,1	2	0,2	<0,1	0	<0,1	<0,1	9	0,9	<0,1	11	0,5	<0,1	8,1	VA									
Forficulidae sp. 1	5	0,6	<0,1	1	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	5	0,6	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	6	0,3	<0,1	3,5	VA									
Forficulidae sp. 2	-	-	-	2	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-	2	0,2	<0,1	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	2	0,1	<0,1	2,3	VA									
Insecta : Blattodea (S = 1)	2	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	2	0,2	<0,1	2	0,1	<0,1	1,2	VA									
Blattidae	2	0,2	<0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	2	0,2	<0,1	2	0,1	<0,1	1,2	VA									
Insecta : Orthoptera (S = 5)	31	3,5	3,9	28	3,0	1,5	14	4,2	6,4	25	3,1	1,3	9	2,7	2,6	39	3,9	5,2	73	3,4	3,0	6,7	VA												
Tettigoniidae	7	0,8	0,5	1	0,1	0,1	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	8	0,8	0,6	8	0,4	0,2	2,3	VA												
Pamphagidae	23	2,6	3,4	7	0,8	0,8	14	4,2	6,4	6	0,7	0,8	8	2,4	2,6	30	3	4,6	44	2,1	2,5	17,2	AC												
Gryllotalpidae	-	-	-	2	0,2	0,2	-	-	-	2	0,2	0,2	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	2	0,1	0,1	2,3	VA									
Gryllidae	1	0,1	<0,1	14	1,5	0,3	-	-	-	14	1,7	0,3	1	0,3	0,1	0	<0,1	<0,1	15	0,7	0,2	8,1	VA												
Gryllus spp.	-	-	-	4	0,4	0,1	-	-	-	3	0,4	0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	4	0,2	<0,1	3,5	VA												

Insecta : Heteroptera (S = 1)		7	0,8	<0,1	7	0,9	<0,1	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	7	0,3	<0,1	2,3	VA						
Lygaeidae	<i>Lygaeus</i> spp. [0,05]	-	-	-	-	7	0,8	<0,1	-	7	0,9	<0,1	0	<0,1	<0,1	7	0,3	<0,1	2,3	VA				
Insecta : Coleoptera (S = 35)		727	82,6	8,7	723	78,0	6,9	278	84,0	7,9	612	76	6,5	305	90,5	7,6	811	81,4	9,2	1728	80,8	7,7	16,3	AC
Carabidae	<i>Carabus</i> spp. [0,29]	6	0,7	0,1	5	0,5	<0,1	-	-	-	5	0,6	<0,1	0	<0,1	<0,1	6	0,6	0,1	11	0,5	0,1	5,8	VA
	<i>Zabrus</i> spp. [0,29]	1	0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	-	-	-	1	0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	2	0,1	<0,1	2,3	VA
	<i>Macrothorax morbillosus</i> [0,29]	4	0,5	0,1	16	1,7	0,2	2	0,6	<0,1	16	2	0,1	1	0,3	<0,1	5	0,5	0,1	22	1,0	0,1	10,3	VA
	<i>Scarites</i> spp. [0,29]	4	0,5	0,1	1	0,1	<0,1	-	-	-	1	0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	4	0,4	<0,1	5	0,2	<0,1	2,3	VA
	<i>Calosoma</i> spp. [0,29]	1	0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	-	-	-	1	0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	2	0,1	<0,1	2,3	VA
	<i>Feronia</i> spp. [0,29]	1	0,1	<0,1	9	1,0	0,1	-	-	-	8	1	0,1	0	<0,1	<0,1	2	0,2	<0,1	10	0,5	<0,1	8,1	VA
	<i>Chlaenius</i> spp. [0,29]	20	2,3	0,2	36	3,9	0,3	9	2,7	0,3	32	4	0,3	7	2,1	0,2	26	2,6	0,3	65	3,0	0,3	32,2	CM
	<i>Campalita</i> spp. [0,29]	18	2,0	0,2	19	2,1	0,2	2	0,6	<0,1	16	2	0,1	10	3	0,2	13	1,3	0,1	39	1,8	0,2	32,2	CM
	<i>Actinopus</i> spp. [0,29]	143	16,3	1,5	135	14,6	1,2	41	12,4	1,4	71	8,8	0,7	101	30	2,3	147	14,8	1,6	319	14,9	1,3	43,7	CM
	<i>Licinus</i> sp. [0,29]	1	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	1	0,3	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	1,2	VA
Harpalidae	<i>Harpalus</i> spp. [0,2]	1	0,1	<0,1	3	0,3	<0,1	-	-	-	1	0,1	<0,1	2	0,6	<0,1	1	0,1	<0,1	4	0,2	<0,1	3,5	VA
	Harpalidae sp. [0,2]	2	0,2	<0,1	1	0,1	<0,1	1	0,3	<0,1	3	0,4	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	4	0,2	<0,1	2,3	VA
Apionidae	<i>Aption</i> spp. [0,1]	7	0,8	<0,1	5	0,5	<0,1	-	-	-	4	0,5	<0,1	1	0,3	<0,1	7	0,7	<0,1	12	0,6	<0,1	9,2	VA
Silphidae	<i>Aclypea opaca</i> [0,1]	1	0,1	<0,1	4	0,4	<0,1	-	-	-	4	0,5	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	5	0,2	<0,1	3,5	VA
	<i>Silpha</i> spp. [0,1]	48	5,5	0,4	68	7,3	0,4	19	5,8	0,4	56	7	0,4	31	9,2	0,5	48	4,8	0,4	135	6,3	0,4	47,1	CM
	<i>Necrodes</i> spp. [0,2]	29	3,3	0,2	10	1,1	0,1	-	-	-	10	1,2	0,1	0	<0,1	<0,1	29	2,9	0,2	39	1,8	0,1	5,8	VA
Staphylinidae	<i>Staphylinus</i> spp. [0,05]	18	2,0	<0,1	6	0,7	<0,1	1	0,3	<0,1	11	1,4	<0,1	5	1,5	<0,1	9	0,9	<0,1	25	1,2	<0,1	14,9	AC
Buprestidae	<i>Chrysobothris</i> spp. [0,2]	5	0,6	<0,1	7	0,8	<0,1	48	14,5	1,1	7	0,9	<0,1	3	0,9	<0,1	50	5	0,4	60	2,8	0,2	16,1	AC
Geotrupidae	<i>Geotrupes</i> spp. [0,4]	159	18,1	2,3	138	14,9	1,6	6	1,8	0,2	134	16,6	1,7	68	20,2	2,2	101	10,1	1,5	303	14,2	1,7	67,8	CN
Elatridae	<i>Athous</i> sp. [0,2]	1	0,1	<0,1	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	1,2	VA
Scarabaeidae	<i>Scarabaeus sacer</i> [0,5]	4	0,5	0,1	4	0,4	0,1	-	-	-	4	0,5	0,1	3	0,9	0,1	1	0,1	<0,1	8	0,4	0,1	9,2	VA
	<i>Rhizotrogus</i> spp. [0,5]	19	2,2	0,4	25	2,7	0,4	1	0,3	<0,1	36	4,5	0,6	2	0,6	0,1	7	0,7	0,1	45	2,1	0,3	25,3	CM
	<i>Onthophagus</i> spp. [0,5]	18	2,0	0,3	7	0,8	0,1	1	0,3	<0,1	1	0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	25	2,5	0,5	26	1,2	0,2	13,8	AC
	<i>Gymnopleurus</i> spp. [0,5]	1	0,1	<0,1	4	0,4	0,1	-	-	-	4	0,5	0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	5	0,2	<0,1	3,5	VA
	<i>Oryctes</i> spp. [0,5]	1	0,1	<0,1	2	0,2	<0,1	-	-	-	2	0,2	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	<0,1	3	0,1	<0,1	3,5	VA
	<i>Aphodius</i> spp. [0,5]	34	3,9	0,6	44	4,8	0,7	2	0,6	0,1	40	5	0,6	11	3,3	0,4	29	2,9	0,6	80	3,7	0,6	26,4	CM
	<i>Bubas</i> spp. [0,5]	12	1,4	0,2	3	0,3	<0,1	-	-	-	5	0,6	0,1	4	1,2	0,2	6	0,6	0,1	15	0,7	0,1	11,5	VA
	<i>Aethiessa floralis</i> [0,5]	5	0,6	0,1	10	1,1	0,2	-	-	-	7	0,9	0,1	0	<0,1	<0,1	8	0,8	0,2	15	0,7	0,1	12,6	AC

<i>Oxythyrea funesta</i> [0,29]	31	3,5	0,3	40	4,3	0,4	34	10,3	1,1	39	4,8	0,4	10	3	0,2	56	5,6	0,6	105	4,9	0,4	35,6	CM
Curculionidae	11	1,2	0,1	19	2,1	0,1	2	0,6	<0,1	16	2	0,1	1	0,3	<0,1	15	1,5	0,1	32	1,5	0,1	19,5	AC
<i>Brachycerus</i> spp. [0,01]	15	1,7	<0,1	34	3,7	<0,1	44	13,3	<0,1	12	1,5	<0,1	13	3,9	<0,1	68	6,8	<0,1	93	4,4	<0,1	21,8	AC
Cerambycidae	7	0,8	0,1	6	0,7	<0,1	14	4,2	0,3	6	0,7	<0,1	3	0,9	<0,1	18	1,8	0,1	27	1,3	0,1	13,8	AC
Tenebrionidae	85	9,7	1,2	42	4,5	0,5	44	13,3	2,0	47	5,8	0,6	22	6,5	0,7	102	10,2	1,6	171	8,0	1,0	37,9	CM
<i>Blaps</i> spp. [0,5]	11	1,2	0,2	16	1,7	0,2	-	-	-	10	1,2	0,2	3	0,9	0,1	14	1,4	0,3	27	1,3	0,2	16,1	AC
<i>Timarcha</i> spp. [0,5]	3	0,3	0,1	2	0,2	<0,1	7	2,1	0,4	2	0,2	<0,1	3	0,9	0,1	7	0,7	0,1	12	0,6	0,1	6,9	VA
Insecta : Hymenoptera (S = 1)	1	0,1	<0,1	3	0,3	<0,1	3	0,9	<0,1	3	0,4	<0,1	0	<0,1	<0,1	4	0,4	<0,1	7	0,3	<0,1	6,9	VA
Formicidae	1	0,1	<0,1	3	0,3	<0,1	3	0,9	<0,1	3	0,4	<0,1	0	<0,1	<0,1	4	0,4	<0,1	7	0,3	<0,1	6,9	VA
Amphibia : Anura (S = 1)	1	0,1	1,0	3	0,3	2,4	-	-	-	3	0,4	2,6	1	0,3	2,2	0	<0,1	<0,1	4	0,2	1,6	4,6	VA
Ramidae	1	0,1	1,0	3	0,3	2,4	-	-	-	3	0,4	2,6	1	0,3	2,2	0	<0,1	<0,1	4	0,2	1,6	4,6	VA
<i>Pelophylax saharicus</i> [27]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	2,3	1	0,1	0,9	1,2	VA
Reptilia : Testudines (S = 1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	2,3	1	0,1	0,9	1,2	VA
Geomydidae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	2,3	1	0,1	0,9	1,2	VA
<i>Mauremys leprosa</i> [60]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	2,3	1	0,1	0,9	1,2	VA
Mammalia : Rodentia (S = 7)	19	2,2	16,6	22	2,4	13,5	6	1,8	11,1	20	2,5	13,3	8	2,4	17,3	19	1,9	14,4	47	2,2	14,4	7,7	VA
Muridae	3	0,3	2,5	-	-	-	-	-	-	0	<0,1	<0,1	1	0,3	1,8	2	0,2	1,8	3	0,1	1,0	3,5	VA
<i>Apodemus sylvaticus</i> [22,95]	-	-	-	-	-	-	1	0,3	2,7	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	1	0,1	0,9	1	0,1	0,3	1,2	VA
<i>Apodemus</i> sp. [22,95]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0,6	1,3	0	<0,1	<0,1	0	<0,1	<0,1	5	0,2	0,6	5,8	VA
<i>Mus musculus</i> [8]	-	-	-	5	0,5	1,2	-	-	-	4	0,5	1,3	1	0,3	0,8	9	0,9	3,4	14	0,7	2,0	16,1	AC
<i>Mus spretus</i> [10]	5	0,6	1,8	5	0,5	1,5	4	1,2	4,6	3	0,4	2,7	0	<0,1	<0,1	2	0,2	2,1	5	0,2	2,0	5,8	VA
<i>Rattus norvegicus</i> [28]	2	0,2	2,0	3	0,3	2,5	-	-	-	5	0,6	5,3	3	0,9	8	4	0,4	5,1	12	0,6	5,7	13,8	AC
<i>Rattus</i> spp. [33,2]	6	0,7	7,2	5	0,5	5,0	1	0,3	3,9	3	0,4	2,7	3	0,9	6,7	1	0,1	1,1	7	0,3	2,8	8,1	VA
<i>Meriones shawi</i> [28]	3	0,3	3,0	4	0,4	3,3	-	-	-	3	0,4	2,7	3	0,9	6,7	1	0,1	1,1	7	0,3	2,8	8,1	VA
Aves : Galliformes (S = 1)	24	2,7	69,7	29	3,1	69,1	7	2,1	64,3	28	3,5	71,9	11	3,3	70,3	21	2,1	64,2	60	2,8	68,7	69,0	CN
Phasianidae	24	2,7	69,7	29	3,1	69,1	7	2,1	64,3	28	3,5	71,9	11	3,3	70,3	21	2,1	64,2	60	2,8	68,7	69,0	CN
Restes de volailles [80]	24	2,7	69,7	29	3,1	69,1	7	2,1	64,3	28	3,5	71,9	11	3,3	70,3	21	2,1	64,2	60	2,8	68,7	69,0	CN
All taxa (S = 61)	880	100	100	927	100	100	331	100	100	805	100	100	337	100	100	996	100	100	2138	100	100	100	100

3.2. Niche trophique et caractéristiques du régime alimentaire

Le nombre moyen des individus par pelote varie entre $30,1 \pm 15,4$ (moyenne \pm écart-type) dans le climat aride et $23,2 \pm 14,4$ dans le climat semi-aride où aussi le nombre le plus élevé de proies a été observé avec 927 individus ($PF = 43\%$). La valeur la plus élevée de la richesse spécifique est enregistrée dans les colonies semi-arides avec 56 espèces-proies ($Sm = 7,7 \pm 2,4$ espèces-proies par pelote) et dans les colonies situées le long des paysages ruraux et urbains avec $S = 54$ espèces-proies ($Sm = 8,4 \pm 3,0$; $Sm = 8,2 \pm 2,4$; respectivement), suivie par 52 espèces-proies dans les colonies subhumides ($Sm = 4,6 \pm 5,6$).

L'étendue de la niche alimentaire est plus importante dans les colonies des zones arides ($FNB/S = 0,36$), bien que les valeurs élevées de la FNB et S sont enregistrées dans les colonies de semi-arides où $FNB/S = 0,25$. En ce qui concerne la diversité des espèces de proie et l'équitabilité, le régime alimentaire de la Cigogne blanche était plus diversifié dans les colonies situées sous climats semi-aride et subhumide, $H' = 4,5$ et $H' = 4,3$, respectivement, par rapport aux colonies du climat aride où $H' = 3,9$. Les colonies rurales et urbaines présentaient des valeurs élevées de l'indice de Shannon avec $H' = 4,6$ et $H' = 4,5$, respectivement, comparativement aux colonies suburbaines où $H' = 3,6$. Les espèces-proies étaient équitablement distribuées sous différents régions climatiques (équitabilité = 75,7 à 78,8%). Cependant, elles étaient réparties un peu plus équitablement dans les colonies rurales ($E = 79,7\%$) par rapport aux colonies suburbaines ($E = 70,6\%$) (Tableau 2).

Tableau 2. Variation des paramètres du régime alimentaire et de la niche trophique de la Cigogne blanche à travers deux gradients climatique et de l'urbanisation dans le Nord-est de l'Algérie

Paramètres du régime trophique	Régions climatiques			Types de paysages		
	Subhumide	Semi-aride	Aride	Rural	Suburbain	Urbain
Nombre d'individus "N"	880	927	331	805	337	996
Fréquence des proies "PF" (%)	41,2	43,4	15,5	37,7	15,8	46,6
Moyenne N par pelote "Nm"	24,4	23,2	30,1	21,8	24,1	27,7
Écart type de N par pelote	14,5	14,4	15,4	12,8	17,1	15,0
Richesse spécifique "S"	52	56	30	54	33	54
Moyenne S par pelote "Sm"	7,7	8,5	8,5	8,4	7,6	8,2
Écart type de S par pelote	2,4	2,8	2,4	3,0	2,3	2,4
Biomasse (%)	39,5	48,1	12,5	44,6	17,9	37,5
Étendue de la niche trophique "FNB"	11,8	14,0	10,7	14,8	6,6	14,9
Ratio FNB/S	0,23	0,25	0,36	0,27	0,20	0,28
Indice de Shannon "H"	4,3	4,5	3,9	4,6	3,6	4,5
H'_{max}	5,7	5,8	4,9	5,8	5,0	5,8
Équitabilité "E" (%)	75,7	77,9	78,8	79,7	70,6	77,8

3.3. Variation du régime alimentaire selon les climats et les paysages

Le modèle linéaire généralisé a révélé que le nombre des individus des proies (N) varie significativement entre les climats étudiés ($P = 0,006$) et entre les types de paysages ($P < 0,001$). En outre, les GLMs ont montré que tout le reste des paramètres trophiques mesurés dans chaque pelote ne varie pas significativement entre les climats et les paysages ($P > 0,05$). L'effet de l'interaction de ces deux facteurs (Climat : Paysage) sur toutes les caractéristiques du régime alimentaire n'est pas significatif (Tableau 3).

Tableau 3. Tests de likelihood-ratio (LR) des modèles linéaires généralisés (GLM) testant les effets des types de climats et de paysages sur les paramètres du régime alimentaire des populations de la Cigogne blanche nicheuses dans la Wilaya de Batna (nord-est de l'Algérie).

Les tests LR sont de *type II*, car toutes les variables explicatives (climats et de paysages) sont des facteurs catégoriques. (*ddl* : degrés de liberté, χ^2 : valeur du Chi², P : probabilité). Voir Tableau 2 pour les abréviations des paramètres trophiques

Variables	<i>ddl</i>	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P	χ^2	P
		Nombre d'individus		Biomasse		S		FNB	
Climat	2	10,38	0,006	0,9	0,63	1,1	0,59	2,2	0,33
Paysage	2	20,44	<0,001	2,9	0,23	0,2	0,89	0,4	0,84
Climat : Paysage	1	1,56	0,212	1,8	0,18	0,3	0,56	0,2	0,70
		Ratio FNB/S		H'		H'_{max}		Équitabilité	
Climat	2	1,05	0,59	2,4	0,31	1,4	0,5	1,7	0,43
Paysage	2	1,44	0,48	0,2	0,93	0,6	0,76	0,9	0,64
Climat : Paysage	1	0,04	0,84	0,3	0,59	0,3	0,6	0,3	0,61

3.4. Estimations de la richesse des espèces-proies

Pour toute la zone d'étude, c.-à-d. toutes les pelotes combinées quel que soit la région climatique ou le type de paysage, les courbes de raréfaction ont légèrement augmenté avec le nombre de pelotes avant d'atteindre un plateau (Fig. 2). En utilisant les deux estimateurs de la richesse des espèces Chao 2 ' $S_{(Chao\ 2)}$ ' et Jackknife de premier ordre ' $S_{(Jack\ 1)}$ ', les courbes de la richesse attendue sont avérées être les stables et aboutissent à un plateau pour la zone d'étude. Même si ces deux estimateurs ont une forme similaire de courbes de raréfaction, le $S_{(Jack\ 1)}$ est proposé le plus adéquat pour déterminer la richesse prévue des espèces-proies dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche. Cela est dû à son exactitude et la robustesse (Brose *et al.*, 2003) et parce que sa courbe de raréfaction affiche des valeurs plus élevées que celle de $S_{(Chao\ 2)}$. En outre, cet estimateur présente un intervalle qui englobait toutes les valeurs de la richesse spécifique estimée générée avec les autres estimateurs asymptotiques utilisés dans cette analyse (Tableau 4).

Tableau 4. Indices de la diversité et richesse totale des espèces-proies estimée pour le régime alimentaire de la Cigogne blanche selon les régions climatiques et les types de paysages dans la Wilaya de Batna (nord-est de l'Algérie).

Les statistiques de la diversité sont des valeurs rapportées comme des valeurs attendues calculées analytiquement, ou comme des valeurs moyennes de 100 'runs' de randomisations. Voir Colwell (2013) pour une description détaillée des estimateurs de la richesse et des statistiques de la diversité.

Statistiques de la diversité	Climat du site des colonies			Paysage des colonies			Total
	Subhumide	Semi-aride	Aride	Rural	Suburbain	Urbain	
Échantillons (pelotes)	36	40	11	37	14	36	87
Individus (N)	880	927	330	805	337	996	2138
$S_{(est)}$	52	56	30	54	33	54	61
$S_{(est)}$ borne inf. de 95% IC	42,3	52,4	25,9	51,0	26,5	46,8	58,6
$S_{(est)}$ borne sup. de 95% IC	61,7	59,6	34,2	57,0	39,5	61,2	63,4
$S_{(est)}$ SD	5,0	1,8	2,1	1,5	3,3	3,7	1,2
S moyenne (runs)	52	56	30	54	33	54	61
Singletons (moyenne)	13	7	9	5	11	14	4
Doubletons (moyenne)	3	5	4	6	2	5	5
Uniques (moyenne)	17	9	9	8	12	16	5
Doubletons (moyenne)	3	11	7	13	4	7	8
ACE (moyenne)	61,7	59,1	39,9	56,0	46,1	66,6	62,4
ICE (moyenne)	65,7	60,1	36,7	57,9	42,7	68,7	63,2
Chao 1 (moyenne)	71,5	59,5	37,2	55,4	51,3	69,2	62,0
Chao 1 borne inf. de 95% IC	57,2	56,7	31,6	54,2	37,5	58,3	61,1
Chao 1 borne sup. de 95% IC	124,8	74,9	62,3	64,6	107,9	107,5	70,0
Chao 1 SD (analytique)	14,7	3,7	6,4	1,9	15,1	10,9	1,6
Chao 2 (moyenne)	85,1	58,9	34,1	56,0	45,3	68,6	62,1
Chao 2 borne inf. de 95% IC	61,8	56,6	30,9	54,4	36,2	58,4	61,1
Chao 2 borne sup. de 95% IC	163,3	70,2	49,1	64,8	80,2	101,9	69,6
Chao 2 SD (analytique)	22,6	2,8	3,8	2,1	9,5	9,7	1,6
Jack 1 (moyenne)	68,5	64,8	38,2	61,8	44,1	69,6	65,9
Jack 1 SD (analytique)	4,5	2,6	2,6	2,5	2,7	3,8	2,2
Jack 2 (moyenne)	81,8	63,1	40,4	57,4	51,3	78,2	63,1
Bootstrap (moyenne)	58,9	61,1	34,0	59,0	38,0	60,9	64,3
MMRuns (moyenne)	60,7	65,8	40,7	64,5	45,8	62,6	65,4
MMMeans (1 run)	60,1	65,1	39,8	63,6	43,8	61,8	65,4
Cole raréfaction	52	56	30	54	33	54	61
Alpha (moyenne)	12,1	13,1	8,0	13,1	9,1	12,2	11,7
Alpha SD (analytique)	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7
Shannon (moyenne)	3,0	3,1	2,7	3,2	2,5	3,1	3,2
Shannon exponentiel (moyenne)	19,9	23,0	14,5	24,0	11,8	22,3	23,5
Simpson inversé (moyenne)	11,8	14,0	10,7	14,8	6,6	14,9	14,4
Hill (moyenne)	0,59	0,61	0,74	0,62	0,56	0,67	0,61

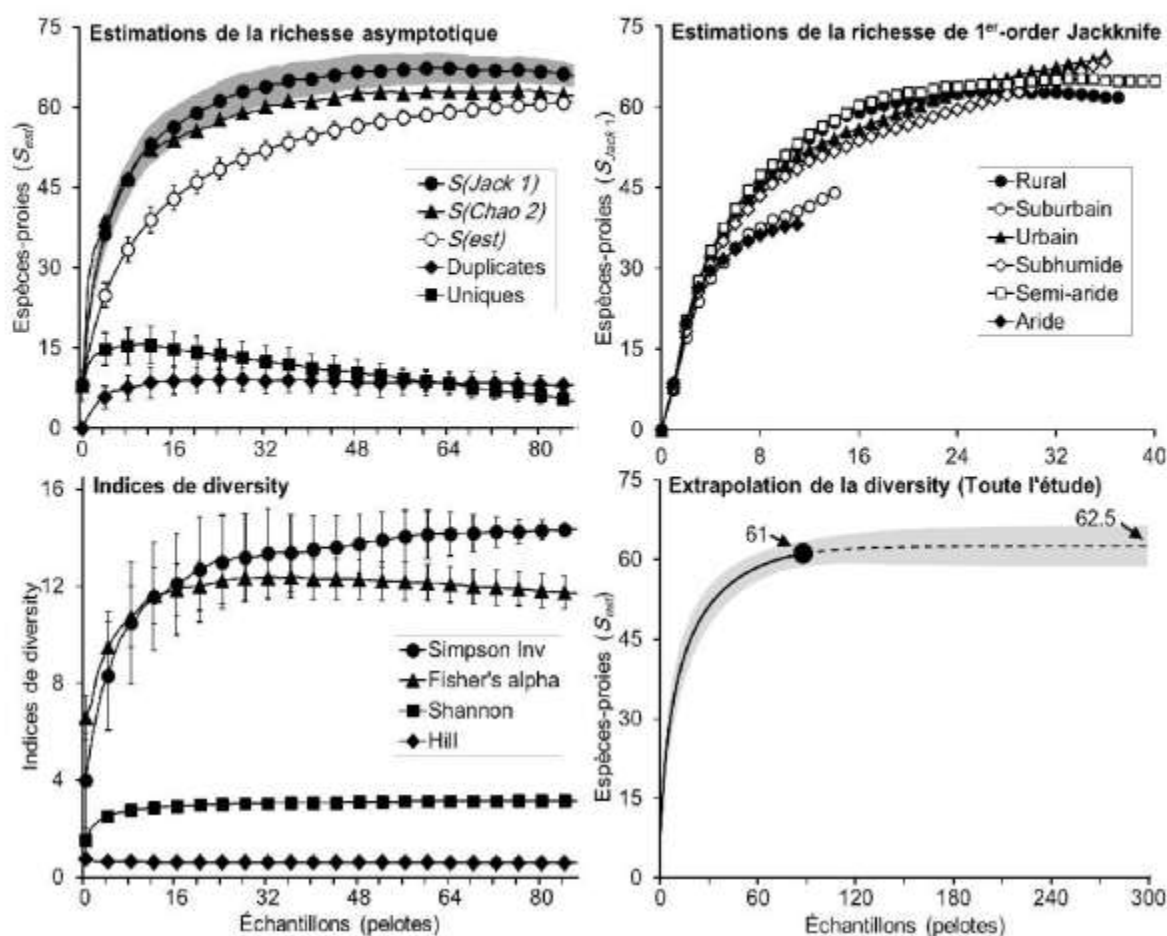


Figure 2. Estimation de la richesse asymptotique, indices de diversité et raréfaction des proies du régime alimentaire de la Cigogne blanche nicheuse dans la région de Batna

En haut à gauche : Courbes de raréfaction à base d'échantillons représentant trois estimateurs de la richesse non paramétriques (' $S_{(est)}$ ' analytique, Jackknife de premier ordre ' $S_{(Jack 1)}$ ' avec zones ombragées pour \pm SD, Chao 2 ' $S_{(Chao 2)}$ '), les uniques ' Q_1 ' et les doublons ' Q_2 '. **En bas à gauche :** Indices de diversité (alpha de Fisher, Shannon, Simpson, et Hill) sont donnés pour toute la zone d'étude sur la base de l'échantillon de référence de 87 pelotes. Les valeurs représentées par les courbes sont des moyennes avec écart-types (SD) comme des barres verticales. Seulement, tout 4^{ème} point des données est affiché pour les indices de diversité et les estimateurs de la richesse. Les moyennes et SD sont calculés en fonction de 100 échantillons aléatoires 'runs' (voir détails dans Colwell, 2013). **En haut à droite :** Richesse estimée en espèces avec Jackknife de premier ordre ' $S_{(Jack 1)}$ ' selon les différents climats et paysages des sites des colonies de la Cigogne blanche. **En bas à gauche :** Richesse spécifique raréfiée et attendue pour l'ensemble de la zone d'étude. La zone grisée représente les bornes inférieures et supérieures de 95% des intervalles de confiance (IC) pour la richesse estimée analytique ' $S_{(est)}$ ' des espèces-proies.

En conséquence, la richesse totale des espèces-proies est estimée à 66 espèces-proies pour toute la région d'étude, tandis que $S_{(Chao 2)}$ a indiqué une valeur de 62 espèces-proies dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche (Fig. 2). L'estimateur Jackknife de la richesse a révélé que la richesse prévue en espèces-proies dans le régime alimentaire diminue avec l'augmentation de l'aridité du climat. La richesse totale des espèces-proies est estimée à 68,5 espèces dans les colonies subhumides, 64,8 dans les colonies semi-arides, et 38,2 espèces-proies dans le climat aride.

La richesse attendue des espèces-proies était plus faible dans les colonies des cigognes blanches situées dans le paysage suburbain avec 44,1 proies par rapport aux colonies urbaines et rurales où la richesse en espèces-proies est estimée à 69,9 et 61,8 espèces, respectivement (Tableau 4).

3.5. Extrapolation de la richesse des espèces-proies

Les extrapolations de la richesse en espèces-proies à partir des pelotes de référence de chaque climat et paysage à la taille d'échantillon de 300 pelotes ont permis de tracer les courbes de raréfaction qui ont révélé que la richesse analytique S_{est} des espèces continue d'augmenter avec le nombre de pelotes dans des colonies situées dans les paysages urbains et suburbains et sous des conditions climatiques subhumides. La S_{est} est prévue à atteindre, respectivement, 95,5 ; 71,8 et 49,7 espèces-proies dans le climat subhumide, les paysages urbains et suburbains (Fig. 3).

Les espèces-proies attendues dans les climats semi-arides et arides, et dans le paysage rural ainsi que dans toute la zone d'étude ont atteint un plateau, avec des valeurs S_{est} attendues à 300 pelotes relativement proches de celles estimées pour l'échantillon de référence des pelotes analysées. Pour 300 pelotes, S_{est} est prévue être de 62,5 espèces-proies pour la zone d'étude, 59,6 et 35,3 espèces-proies dans les climats arides et semi-arides, respectivement, et 56,4 espèces-proies dans les paysages ruraux (Fig. 2, Fig. 3).

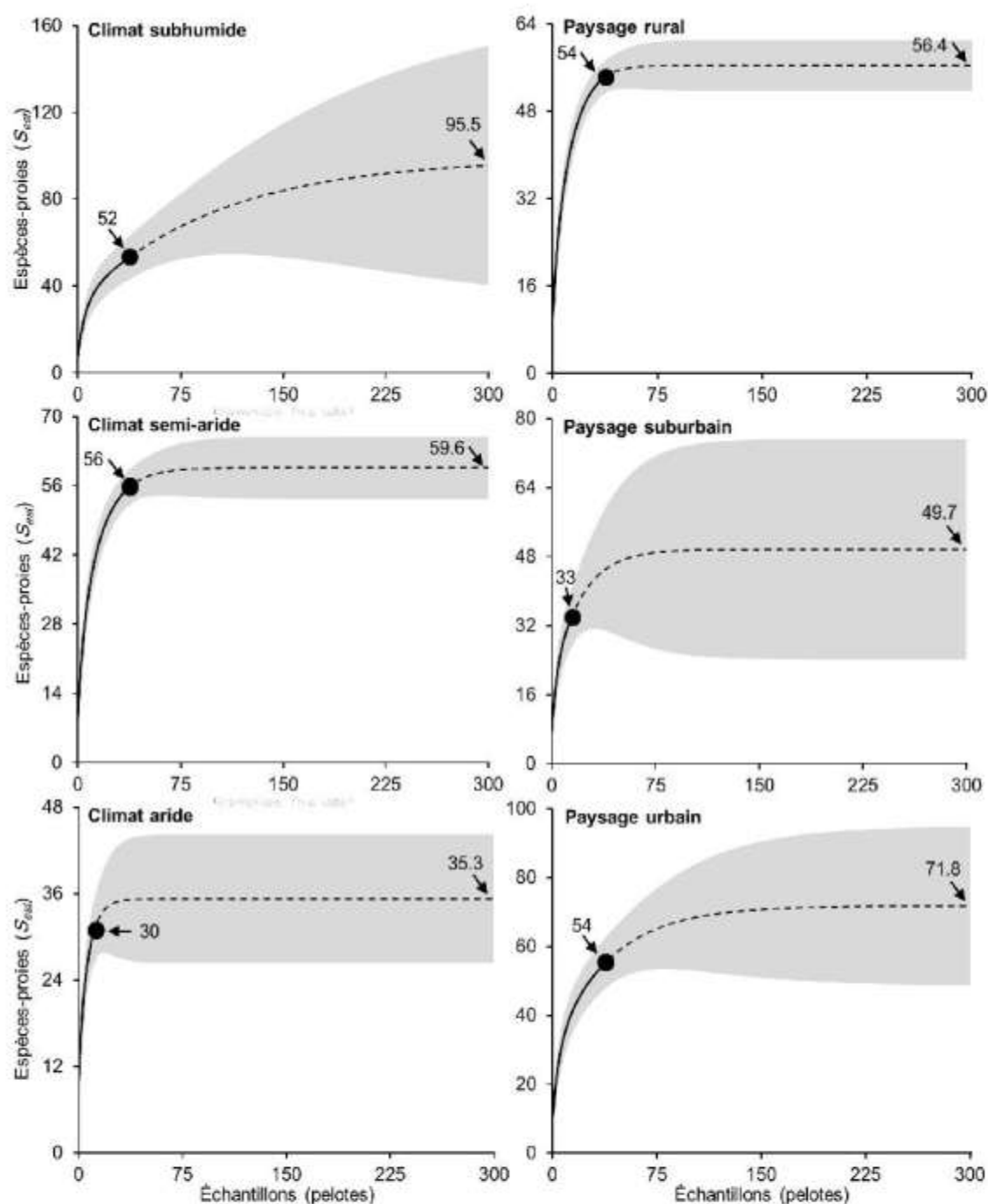


Figure 3. Courbes de raréfaction et d'extrapolation de la richesse estimée en espèces-proies du régime alimentaire de la Cigogne blanche le long d'un gradient de régions climatiques (subhumide, semi-aride et aride) et de paysages (ruraux, suburbains et urbains) dans la Wilaya de Batna (Nord-est de l'Algérie). Les échantillons de référence des pelotes sont indiqués par des cercles noirs solides, les courbes de raréfaction par des lignes continues et les courbes d'extrapolation en pointillés. Les zones grisées représentent les bornes inférieures et supérieures de 95% des intervalles de confiance (IC) pour la richesse estimée analytique ' $S_{(est)}$ ' des espèces-proies.

3.6. Similitudes spatiales des espèces-proies

Les similitudes évaluées selon la composition en espèces-proies entre les régions climatiques et les paysages des colonies de cigognes blanches indiquent une forte similarité. Ceci est dû aux valeurs élevées des indices entre les paysages et les climats, que ce soit avec les indices qualitatifs (indices de similarité classique de Jaccard et de Sorensen) ou les indices basés sur l'abondance. Parmi les régions climatiques, tous les indices ont révélé que la similitude du régime alimentaire était plus élevée entre les colonies subhumides et semi-arides, par rapport aux similitudes évaluées entre les colonies arides et les deux autres climats. Les valeurs de l'indice de Bray-Curtis étaient les plus basses avec seulement 0,38 entre les colonies arides et subhumides et avec 0,40 entre les colonies arides et semi-arides. D'autre part, pour les similitudes entre les paysages des colonies, tous les indices ont montré une similarité plus élevée dans le régime alimentaire entre les colonies rurales et urbaines (par exemple Bray-Curtis = 0,68) par rapport au régime alimentaire des colonies suburbaines–rurales (Bray-Curtis = 0,53) ou les colonies suburbaines–urbaines (Bray-Curtis = 0,49). Les deux indices de Chao's Jaccard et de Chao's Sorensen appliqués en utilisant les données brutes et les estimations ont montré les valeurs des similitudes les plus élevées (> 0,83) entre les climats et entre les paysages (Tableau 5).

Tableau 5. Similarités spatiales (qualitatives et quantitatives) du régime alimentaire de la Cigogne blanche entre les climats et les paysages du site des colonies.

Les indices de Chao's Jaccard et Chao's Sorensen sont des indices quantitatifs (Chao *et al.*, 2005).

Paramètres de la similarité	Régions climatiques			Types de paysages		
	Subhumide	Subhumide	Semi-aride	Rural	Rural	Suburbain
1 ^{er} échantillon de colonie	Subhumide	Aride	Aride	Suburbain	Urbain	Urbain
2 ^{ème} échantillon de colonie	Semi-aride	Aride	Aride	Suburbain	Urbain	Urbain
S observée dans le 1 ^{er} échantillon	52	52	56	54	54	33
S observée dans le 2 ^{ème} échantillon	56	29	29	33	54	54
Espèces communes observées	48	26	28	31	48	30
ACE dans le 1 ^{er} échantillon	61,7	61,7	59,1	56,0	56,0	46,1
ACE dans le 2 ^{ème} échantillon	59,1	40,0	40,0	46,1	66,6	66,6
Chao commune estimée	59,9	35,1	39,4	34,7	58,4	39,9
Indice classique de Jaccard	0,80	0,47	0,49	0,55	0,80	0,53
Indice classique de Sorensen	0,89	0,64	0,66	0,71	0,89	0,69
Indice brut de Chao's Jaccard	0,96	0,84	0,83	0,89	0,95	0,88
Indice estimé de Chao's Jaccard	1,00	0,92	0,89	1,00	1,00	1,00
Indice brut de Chao's Sorensen	0,98	0,91	0,91	0,94	0,97	0,93
Indice estimé de Chao's Sorensen	1,00	0,96	0,94	1,00	1,00	1,00
Indice de Morisita-Horn	0,95	0,58	0,57	0,72	0,84	0,78
Indice de Bray-Curtis	0,79	0,38	0,40	0,53	0,68	0,49

4. Discussion

En Afrique du nord, où un gradient climatique accentué est remarquablement important, la Cigogne blanche est répartie sur plusieurs habitats se trouvant surtout dans les zones humides, subhumides et semi-arides. Cependant, certaines colonies de taille non négligeable existent aussi sous des conditions climatiques arides chaudes (Si Bachir *et al.*, 2013). Dans ce contexte, l'analyse du régime alimentaire de la Cigogne blanche démontre qu'elle se nourrit de nourriture plus importante et diversifiée tant qualitativement que quantitativement dans des conditions climatiques subhumides et semi-arides que dans le climat aride. La même chose va pour les paysages urbains où le régime est plus riche par rapport aux zones rurales et suburbaines. Ceci pourrait être expliqué par la plus grande disponibilité des ressources alimentaires dans ces zones, alors que la nourriture est un peu moins abondante et/ou moins disponibles dans les zones arides. En effet, les régions arides sont connues pour la faible production des écosystèmes en raison des conditions écologiques défavorables qui contribuent comme des facteurs-limitants pour la survie de nombreuses espèces (Noy-Meir, 1973 ; Chenchouni, 2012 ; Bradai *et al.*, 2015).

L'analyse des pelotes de régurgitations possède quelques limitations, car elle ne reflète pas nécessairement la présence de certaines proies. Par exemple, dans des conditions expérimentales, seuls les restes de mammifères, d'oiseaux et d'insectes ont été trouvés dans les pelotes régurgitées, tandis que les vers de terre, les orthoptères, les amphibiens et les poissons ont été complètement digérés (Antczak *et al.*, 2002 ; Rosin & Kwieciński, 2011). Le niveau élevé de digestibilité de ces proies signifie qu'elles sont considérées comme absentes ou sont sous-estimées dans la quantification du régime alimentaire. Outre l'analyse des pelotes, différentes méthodes sont employées pour l'étude du régime alimentaire des oiseaux telles que l'analyse du contenu stomacal, l'analyse des régurgitas des poussins, l'examen des rejets fécaux, l'investigation des restes des proies consommées et l'observation directe (Duffy & Jackson, 1986), ou même par des tests expérimentaux avec des liaisons à la physiologie de la Cigogne blanche (Kwiecinski & Tryjanowski, 2009). Les techniques modernes telles que les méthodes sérologiques et des approches à base d'isotopes radioactifs sont prouvées pour donner une quantification précise du régime alimentaire (Symondson, 2002 ; Newsome *et al.*, 2007).

Dans l'ensemble, les paramètres de régime sont assez similaires entre les climats subhumide et semi-aride et entre les colonies situées dans les paysages ruraux et urbains. Cependant, la Cigogne blanche semble avoir une plus large valence de l'étendue de niche trophique sous climat aride, même si les valeurs de ses caractéristiques du régime alimentaire sont faibles par rapport aux climats subhumides et semi-arides. Cela indique que les populations situées dans des conditions d'aridité

dépensent plus d'efforts pour obtenir la nourriture nécessaire pour assurer la meilleure performance de leurs fonctions vitales (Ehrlich *et al.*, 1993). En effet, bien que la diversité des espèces-proies soit faible dans les colonies du climat aride, les communautés des proies identifiées dans le régime alimentaire montrent des valeurs plus élevées pour l'équitabilité que celles des zones subhumides et semi-arides. Cela révèle que la Cigogne blanche consomme régulièrement les mêmes proies avec des quantités équitables dans les régions arides et rurales, ce qui est clairement démontré dans les courbes d'extrapolation avec les intervalles de confiance serrés pour la richesse en espèces-proies. Toutefois, afin de fournir en permanence une alimentation équilibrée dans des conditions arides, ce qui est souvent synonyme de pénuries alimentaires, la Cigogne blanche doit accroître l'effort de recherche de nourriture pour répondre à ses besoins nutritionnels qui varient aussi selon les stades phénologiques de la reproduction (Hilgartner *et al.*, 2014 ; Chenchouni *et al.*, 2015). Ceci est en accord avec les résultats de cette étude où les valeurs de la *FNB* sont plus élevées sous des conditions arides, ce qui représente une preuve claire que la Cigogne blanche tend à élargir sa niche trophique dans des conditions climatiques sévères.

Les différences observées dans les fréquences des ordres-proies dans l'alimentation de la Cigogne blanche à travers les régions climatiques et les paysages étudiés peuvent être expliquées par des différences dans les productivités de l'habitat de gagnage et la disponibilité de la nourriture dans ces régions (Noy-Meir, 1973). Certes, les zones arides sont connues pour avoir la production primaire inférieure par rapport aux zones climatiques mésiques (Bradai *et al.*, 2015), et donc les habitats dans de telles conditions offrent des ressources alimentaires moins abondantes. Au lieu de cela, sous des climats subhumides et semi-arides, les conditions écologiques dans les habitats de gagnage sont plus propices pour fournir une nourriture plus abondante avec une meilleure qualité.

Les études portant sur la composition du régime alimentaire de la Cigogne blanche indiquent que l'espèce est fourrageuse opportuniste (Peris, 2003 ; Milchev *et al.*, 2013). Généralement, deux principales caractéristiques de sa niche trophique attirent l'attention : (i) en termes du nombre d'individus consommés, le régime est dominé par la présence d'invertébrés (principalement des coléoptères) avec des pourcentages supérieurs à 90% du bol alimentaire ; et (ii) en termes de biomasse, ces invertébrés consommés abondamment, ne représentent qu'une petite partie de la biomasse totale et donc leur apport énergétique est marginal, puisque la contribution majeure de l'apport en biomasse vient de proies vertébrées (Boukhemza, 2001 ; Barbraud & Barbraud, 1998 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Sbiki, 2009 ; Vrezec, 2009 ; Milchev *et al.*, 2013). Ce comportement alimentaire opportuniste explique les valeurs élevées de l'équitabilité alimentaire (E), révélant que la Cigogne blanche a un régime d'une espèce généraliste, par excellence.

Cet opportunisme vers les proies naturelles, par opposition aux restes du poulet, est plus évident sous le climat aride où l'espèce a une étendue de niche trophique plus large, ce qui indique que la Cigogne blanche utilise les ressources alimentaires des habitats d'alimentation d'une manière complémentaire et compensatrice pour répondre à ses besoins nutritionnels qui contrôlent sa fitness, la performance de reproduction et déterminent également l'essor de la migration (Drent *et al.*, 2006 ; Byholm & Kekkonen, 2008 ; van den Burg, 2009 ; Hušek *et al.*, 2013 ; Hilgartner *et al.*, 2014). Les résultats obtenus avec les GLMs, montrant la variation significative dans le nombre d'individus proies tandis que les autres paramètres du régime ne diffèrent significativement, peuvent être expliqués par la stratégie de la Cigogne blanche qui tend à équilibrer son alimentation en assurant un approvisionnement alimentaire constant dans l'espace et dans le temps quelles que soient les zones climatiques ou les types du paysage. L'espèce maintient cet équilibre en variant le nombre de proies consommées pour atteindre et correspondre à une valeur constante de leur biomasse, qui se traduit par l'élargissement de son étendue de la niche trophique en élargissant sa niche trophique dans les zones ou habitats moins productifs ou pendant les périodes de forte demande d'approvisionnement alimentaire telles que les périodes de pré- et post-migration et durant l'élevage des poussins.

Bien que les insectes-proies ne représentent qu'une petite partie de la biomasse du régime alimentaire, elles sont considérées comme importantes pour le succès de la reproduction, en particulier pendant la période de croissance des poussins (Barbraud & Barbraud, 1998). L'importance de cette catégorie est également notable dans les habitats où les autres catégories alimentaires font défaut, comme dans les régions arides chaudes (Sekour *et al.*, 2011). Par conséquent, la présente étude suggère que la Cigogne blanche peut effectivement utiliser cette catégorie de proie en cas de déficit de proie préférée (principalement les vertébrés), afin de compenser et de compléter ses besoins alimentaires. Pour des raisons assez similaires, les restes de poulet dominant le régime alimentaire de la Cigogne blanche et constituent la majeure biomasse alimentaire. En fait, les Cigognes blanches consomment cette catégorie d'aliment parce que les restes frais du poulet représentent une source alimentaire importante qui est disponible tout le temps, à cela s'ajoute leurs quantités abondantes et facilement accessibles dans les décharges sauvages incontrôlées à travers tous les pays de l'Afrique du Nord. En outre, cette catégorie d'aliments offrant une large biomasse épargne à la Cigogne blanche l'effort de chasser d'innombrables petites proies comme les insectes, en particulier compte tenu de la grande quantité de l'énergie que les restes de poulet fournissent *versus* les petits coûts de l'énergie perdue, car l'effort de vol diminue entre les nids et les sites de gagnage 'décharges'. Par conséquent, les résultats de ce travail montrent que l'effet de l'urbanisation sur le régime de la Cigogne blanche

se manifeste principalement par l'utilisation des décharges d'ordures comme une source d'approvisionnement alimentaire. Fuller *et al.* (2012) ont montré que les ressources d'approvisionnement sont fortement et positivement corrélées avec la densité de la population humaine au niveau régional et dans une grande ville. En outre, les caractéristiques sociales et économiques de la population humaine sont positivement corrélées avec la densité des oiseaux qui se nourrissent dans les zones urbaines.

La Cigogne blanche se nourrit de plus en plus dans les décharges d'ordures ménagères qui fournissent une alimentation constante dans le temps avec moins d'effort (Chenchouni *et al.*, 2015). Ceci est l'une des stratégies les plus courantes d'alimentation des espèces animales opportunistes, qui sélectionnent habituellement des habitats de reproduction et d'alimentation qui sont prévus fournir perpétuellement une nourriture abondante et disponible avec une haute qualité (Alonso *et al.*, 1991 ; Tortosa *et al.*, 2002 ; Kosicki *et al.*, 2006 ; Janiszewski *et al.*, 2014). Il est également possible que la Cigogne blanche fréquente ces environnements artificiels parce que les milieux naturels ne satisfassent pas constamment ses besoins alimentaires, en particulier pendant les périodes avec pics de la demande nutritionnelle comme c'est le cas lors de l'élevage des poussins (Chenchouni *et al.*, 2015) ou pendant les saisons de rareté de l'alimentation dans les habitats de gagnage.

Le comportement alimentaire de la Cigogne blanche est largement influencé par les activités humaines, puisque la plupart de sa biomasse alimentaire consiste en des restes de poulet consommés dans les décharges d'ordures près de toutes les colonies étudiées. Ce comportement n'est pas exclusivement observé dans les colonies nord-africaines, mais aussi dans d'autres pays européens sous climat tempérés comme l'Espagne (Tortosa *et al.*, 2002) et la Pologne (Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Kruszyk & Ciach, 2010). La Cigogne blanche se nourrit souvent dans ce type d'habitats, car ils offrent une ressource constante de nourriture durant toute la saison de reproduction (Chenchouni *et al.*, 2015). La fréquence de gagnage est plus intense lorsque les besoins nutritionnels augmentent comme lors de la période de l'élevage des jeunes ou même lorsque les proies se font rares dans d'autres habitats d'alimentation en raison de conditions météorologiques sévères (Tortosa *et al.*, 2002 ; Djerdali, 2010 ; Ciach & Kruszyk, 2010 ; Kruszyk & Ciach, 2010). En outre, l'espèce peut bénéficier des activités socio-agricoles de l'homme en Afrique du Nord pour améliorer son fitness. Ce qui a une influence significative sur le succès de la reproduction (Si Bachir *et al.*, 2013). En Afrique du Nord, le développement agricole et de réhabilitation des terres dégradées dans les régions arides et semi-arides est une opportunité pour créer de nouveaux habitats d'alimentation de préférence pour les Cigognes blanches (Johst *et al.*, 2001 ; Latus & Kujawa, 2005).

Cependant, l'intensification agricole peut avoir une influence négative sur la productivité de la Cigogne blanche comme c'est le cas en Europe (Tryjanowski *et al.*, 2006 ; Tryjanowski *et al.*, 2011). Cette étude propose que les activités humaines dans les zones urbaines denses aient tendance à produire de grandes quantités de déchets domestiques, qui représentent, pour la Cigogne blanche, un complément alimentaire concentré en un point fixe, "la décharge".

La Cigogne blanche consomme aussi d'autres catégories de proies (comme Stylommatophora, Scorpionida, Blattodea, Heteroptera, Testudines) qui sont considérées comme complémentaires à son régime alimentaire, car elles sont consommées avec des quantités faibles à modérées d'une part, et/ou elles sont spécifiques à une zone climatique donnée, d'autre part. En fait, la présence de certaines espèces de proies dans le régime alimentaire et sa composition dépend en général des caractéristiques des habitats d'alimentation (Tryjanowski & Kuźniak, 2002 ; Tsachalidis & Goutner, 2002 ; Massemin-Challet *et al.*, 2006).

5. Conclusion

Étant une espèce synanthropique, le régime alimentaire de la Cigogne blanche est solidement lié aux activités humaines. En conséquence, sa bioécologie et son écoéthologie sont fortement influencées et ainsi deviennent de plus en plus dépendantes des ressources générées ou éliminées par les modifications d'habitats causées par la création de décharges incontrôlées et l'accroissement de l'urbanisme, et aussi en raison de diverses activités agricoles. Les études futures de la Cigogne blanche devraient investiguer les effets des modifications de l'habitat et des changements dans l'utilisation des terres (notamment l'urbanisation et l'intensification agricole) sur les ressources alimentaires et les paramètres de reproduction (par exemple de la taille de ponte, survie des poussins, et le succès reproducteur), en particulier dans des conditions arides où les habitats sont moins productifs et où les espèces dépendent des ressources anthropiques pour l'approvisionnement en nourriture.

Conclusion générale

Conclusion générale

S'agissant d'une espèce anthropophile qui est intimement liée aux agglomérations humaines, l'écologie de la cigogne blanche dépend de la qualité des zones urbaines qu'elle colonise. Les caractéristiques des habitats des colonies dans ces zones contrôlent la bioécologie de l'espèce à différentes échelles et niveaux de perception.

Les modalités d'utilisation des habitats de gagnage ont révélé des ressemblances entre les régions climatiques, des colonies, dans la région de Batna. Les fréquentations des habitats de gagnage varient significativement selon les stades phénologiques de reproduction avec un accroissement significatif lors de la période qui suit l'émancipation des poussins. Quel que soit le type du climat de la colonie, les décharges détiennent les taux de fréquentation les plus élevés. Ces habitats sont suivis par les zones humides et les cultures irriguées. Cette modalité spécifique de fréquentation est contrôlée par la disponibilité des ressources alimentaires dans ces habitats, la distance de ces habitats à la colonie et les besoins temporels de l'espèce suivant les stades phénologique de reproduction. La densité du groupe des cigognes déjà présentes sur l'habitat de gagnage est le critère décisif utilisé par les individus en vol pour s'y adjoindre sur le gagnage et de rester plus longtemps sur le même site. Ceci est indéniable dans les décharges qui abritent un nombre élevé d'effectifs en gagnage mais qui sont confinés à des surfaces restreintes. Les préférences dans le choix des sites de gagnage de la Cigogne blanche indiquent incontestablement les habitats qui nécessitent d'être protégés. En revanche, ceci met le point sur l'importance d'adoption d'une politique de conservation adéquate pour l'aménagement des décharges et les écosystèmes artificiels exploités par l'espèce durant sa présence sur son aire de reproduction et aussi sur les quartiers d'hivernage.

La modélisation des données de croissances des poussins à l'aide de modèles linéaires et non-linéaires (avec et sans effets mixtes) et des modèles non-linéaires utilisant les fonctions d'auto-démarrage, a révélé une croissance non-linéaire de tous les traits biométriques étudiés. Les modèles non-linéaires qui décrivent parfaitement les courbes de croissance sont le modèle de Weibull qui s'est révélé le mieux ajusté pour la croissance du culmen, l'envergure, la longueur de la tête et celle du tarsométatarse ; et le modèle de Gompertz qui a le meilleur ajustement pour la croissance du poids corporel. Suivant le critère d'information d'Akaike, la régression asymptotique et la régression asymptotique avec un décalage sont aussi bien ajustés que le modèle de Weibull pour la croissance du culmen. De même pour la croissance de la longueur de la tête,

les modèles de von Bertalanffy et de Gompertz sont statistiquement similaires. L'intégration de l'identité du nid comme effet aléatoire à la fois dans les modèles linéaires et non-linéaires est constatée pour améliorer significativement la qualité du modèle. Donc il est indiqué de spécifier l'identité du nid ainsi que celle du poussin de chaque nid comme effet aléatoire dans les modèles de croissance. En outre, le lissage ou l'adoucissement "smoothing" des variables explicatives de la croissance (l'âge pour le cas de cette étude) dans les modèles non-linéaires GAM et GAMM améliore significativement la qualité du modèle. En effet, le GAMM avec lissage de l'âge s'est révélé le meilleur modèle ajusté à la croissance des cinq traits biométriques prélevés sur les poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna. Bien que les modèles de croissance aient indiqué différents degrés d'ajustement aux données mesurées sur les poussins, les prédictions de ces mêmes modèles sont positivement corrélées les unes avec les autres.

Dans la région de Batna, la Cigogne blanche produit en moyenne $1,97 \pm 1,18$ poussins par nid sur les structures artificielles de nidification. Les pylônes de haut voltage ont une productivité inférieure ($1,79 \pm 1,10$ poussins) par rapport à celle observée sur les poteaux de faible voltage ($1,96 \pm 1,19$ poussins) et les antennes téléphoniques ($2,09 \pm 1,15$ poussins). Plus de la moitié des cigognes nicheuses dans la région de Batna préfèrent construire leurs nids en position centrale (70%), ce qui serait également en relation avec les positions les plus sécurisées pour les couples nicheurs et pour leurs progénitures. Toutefois, le MCMCglmm révèle que le nombre de poussins des nids localisés au centre des zones urbaines ($2,03 \pm 1,19$ poussins) ne diffère pas statistiquement de celui des nids périphériques ($1,89 \pm 1,15$ poussins). En outre, la hauteur de nidification influence positivement le nombre de poussins des nids bâtis sur les pylônes de haut voltage et les antennes téléphoniques. Tandis que les dimensions des nids (surface et longueur du nid) ont des effets significativement positifs sur l'augmentation du nombre de poussins émancipés par nid. Le MCMCglmm a permis de constater que la taille de la colonie, la distance du nid à l'agglomération la plus proche et à la route la plus proche ont des effets significativement négatifs sur la productivité de la Cigogne blanche dans la région de Batna. Suivant les résultats de cette étude, il est nécessaire de prendre les mesures adéquates pour réduire les effets négatifs des structures de nidification.

L'étude du régime alimentaire de la Cigogne blanche par analyse des pelotes de rejection indique une composition de 61 espèces-proies appartenant à 51 genres, 29 familles, 13 ordres et 7 classes. Les proies d'insectes sont les plus consommées (94% de tous les proies-individus) durant les différentes phases de reproduction et sous différents climats et niveaux d'urbanisation du paysage des colonies. L'ordre des coléoptères est le mieux représenté (N=81%, S=35 espèces-proies). Les restes de poulets étaient les composants alimentaires les plus constants dans les pelotes analysées (Occurrence = 68,97%). Cette catégorie d'aliment domine également la

biomasse du régime alimentaire (B = 69%) dans toutes les phases phénologiques et les régions climatiques étudiées. Elle est suivie par des rongeurs (B = 14,41%) et les coléoptères (B = 7,70%). Les GLMs appliqués à la variation des paramètres du régime alimentaire ont révélé que seule la variation du nombre d'individus est significative entre les stades phénologiques, entre les régions climatiques et entre les types de paysages des colonies. Par contre, la biomasse des proies s'est révélée constante selon les précédentes variables. Ceci a permis de constater que la Cigogne blanche réalise un équilibre dans sa nourriture entre le nombre d'individus avec le nombre d'espèces proies d'une part, et avec la quantité de "biomasse" de ces proies d'autre part. Cet équilibre est assuré par l'exploitation des décharges qui fournissent une alimentation constante dans l'espace (même sous conditions arides sévères) et dans le temps (en périodes des pics de la demande en aliments = élevage des poussins) et aussi de bonne qualité (haut apport énergétique des restes des volailles). Ce comportement trophique et cette stratégie d'alimentation montrent l'opportunisme de la Cigogne blanche. Les capacités adaptatives de l'espèce lui permettent de surmonter les conditions défavorables. Ceci est, sans aucun doute, l'une des principales causes explicatives de l'accroissement des populations de l'espèce en Algérie.

Il est important de signaler la présence de plus en plus grandissante des colonies du Héron garde-bœufs qui s'installe sur les mêmes sites naturels de reproduction que la Cigogne blanche. Les colonies mixtes entre les deux espèces sont assez fréquentes dans tout le territoire de la wilaya de Batna. Les conséquences de la compétition entre ces deux espèces sympatriques pour les sites de reproduction et pour les arbres de nidification n'ont pas été révélées jusqu'à ce jour. Ceci mérite un suivi régulier vue la nature de la colonisation invasive du Héron garde-bœufs. De même, les deux espèces présentent des niches trophiques très semblables ; ceci revient principalement à la fréquentation des mêmes habitats de gagnage. L'investigation des interactions interspécifiques entre les deux espèces sur les habitats de gagnage et leurs écologies trophiques permettra d'élucider le degré et l'intensité de la compétition entre les espèces, et aussi comprendre comment le chevauchement de leurs niches écologiques affecte les paramètres reproductifs et démographiques de chaque espèce.

En perspective, il serait souhaitable que ce travail soit suivi par d'autres études plus poussées portant sur l'écophysiologie de la Cigogne Blanche et sur son comportement vis-à-vis des activités humaines. L'utilisation des méthodes endocrinologiques permettra la mesure et l'estimation du niveau du stress des individus aux effets de (i) l'alimentation sur les décharges, (ii) la nidification près des câbles électriques, et (iii) la nidification près des pylônes téléphoniques émettant de forts champs électromagnétiques.

Puisque la Cigogne blanche est une ressource naturelle qui constitue une valeur effective pour les écosystèmes, il sera conseillé d'élaborer un programme national de recensement annuel et de monitoring des populations, et aussi de promouvoir les programmes de recherche scientifiques sur l'espèce et encourager les formations techniques ainsi que les publications scientifiques en relation avec sa gestion durable et sa conservation.

Vue la dépendance trophique de la Cigogne blanche vis-à-vis des décharges d'ordures domestiques, utilisées comme un gagnage de choix, il est important d'adopter une politique de conservation adéquate pour l'aménagement et la gestion environnementale de ce genre d'habitat qui renferme une diversité fort élevée en animaux sauvages et en espèces synanthropiques ainsi que plusieurs écosystèmes naturels.

En outre, il serait intéressant d'approfondir le travail sur les caractéristiques de croissance des poussins par une étude comparative sur la dynamique de croissance relative chez les cigogneaux élevés sous deux conditions d'alimentation, l'une où les parents utilisent exclusivement des ressources alimentaires naturelles fourragées sur des habitats naturels, et l'autre caractérisée par une alimentation artificielle où les parents sont majoritairement dépendants des décharges pour l'approvisionnement. La modélisation des données de croissance permettrait de tester l'effet des différentes conditions alimentaires.

Afin de lever les actions négatives des pylônes d'électricité et de la télécommunication sur la nidification et le succès de reproduction de la Cigogne blanche, il est recommandé de construire des plateformes de nidification sécurisées "nids artificiels" sur les pylônes utilisés pour la nidification près des colonies denses ; voire même de changer les nids présentant un risque d'électrocution et d'endommagement des installations électriques. Ceci permettrait (i) de réduire les accidents d'électrocution et de collision et les effets négatifs de l'électromagnétisme, (ii) d'éviter la destruction des nids pour résoudre les pannes dans les réseaux électriques, et ainsi (iii) d'assurer un service d'alimentation électrique de bonne qualité. Pour ce faire, il est conseillé d'encourager la coopération et le partage des expertises entre les centres de recherche, les universités, les institutions et les ONG nationales et internationales pour l'élaboration de projets œuvrant ces objectifs.

Références

Références

- Aagaard K, Lockwood J (2014) Exotic birds show lags in population growth. *Diversity and Distributions* 20:547–554.
- Akamine T (2009) Non-linear and graphical methods for fish stock analysis with statistical modeling. *Aqua-BioScience Monographs* 2:1–45.
- Alonso JC, Alonso JA, Carrascal LM (1991) Habitat selection by foraging White Storks, *Ciconia ciconia*, during the breeding season. *Canadian Journal of Zoology* 69:1957–1962.
- Alonso JA, Alonso JC, Carrascal, LM, Muñoz-Pulido R (1994) Flock size and foraging decisions in central place foraging white storks, *Ciconia ciconia*. *Behaviour* 129:279–292.
- Ambarlı D, Bilgin CC (2014) Effects of landscape, land use and vegetation on bird community composition and diversity in Inner Anatolian steppes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 182:37–46.
- Araújo PM, Maricato LM, Loureiro JR, Batista JM, Ramos JA, Carreira PJ, et al. (2013) Management of stork activities in equipment of electric distribution power networks. *Environmental Engineering and Management Journal* 12:2311–2321.
- Auber L (1999) Atlas des Coléoptères de France, Belgique et Suisse. Tome I. Ed. Boubée, Paris.
- Baidi K, Toureche M (2012) Contribution à l'étude de la biologie de reproduction et recensement des colonies de la cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Batna. Mémoire de Master en Sciences de l'Environnement. Univ. Batna.
- Balmori A (2005) Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of White Stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology Medicine* 24:109–119.
- Balmori A (2016) Radiotelemetry and wildlife: Highlighting a gap in the knowledge on radiofrequency radiation effects. *Science of the Total Environment* 543:662–669.
- Balmori A, Hallberg O (2007) The urban decline of the house sparrow (*Passer domesticus*): a possible link with electromagnetic radiation. *Electromagnetic Biology and Medicine* 26:141–151.
- Barbraud C, Barbraud J-C (1998) Le régime alimentaire des poussins de Cigogne blanche *Ciconia ciconia*, en Charente-Maritime: importance des insectes. *Alauda* 65:259–262.
- Barbraud C, Barbraud J-C, Barbraud M (1999) Population dynamics of the White Stork *Ciconia ciconia* in western France. *Ibis* 141:469–479.
- Belant JL, Seamans TW, Gabrey SW, Dolbeer RA (1995) Abundance of gulls and other birds at landfills in northern Ohio. *American Midland Naturalist* 134:30–40.
- Bendjoudi D, Voisin JF, Doumandji S, Merabet A, Benyounes N, Chenchouni H (2015) Rapid increase in numbers and change of land-use in two expanding Columbidae species (*Columba palumbus* and *Streptopelia decaocto*) in Algeria. *Avian Research*, 6:1.

- Benharzallah N, Si Bachir A, Taleb F, Barbraud C (2015) Factors affecting growth parameters of White Stork nestlings in eastern Algeria. *Journal of Ornithology* 156: 601–612.
- Bensizerara D, Chenchouni H, Si Bachir A, Houhamdi M (2013) Ecological status interactions for assessing bird diversity in relation to a heterogeneous landscape structure. *Avian Biology Research* 6:67–77.
- Berland L (1999) Atlas des Hyménoptères de France, Belgique et Suisse. Tome 1 & 2. Ed. Boubée, Paris.
- Bocheński M, Jerzak L (2006) Behaviour of the white stork *Ciconia ciconia*: a review. In: Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L (eds). The White Stork in Poland: Studies in biology, ecology and conservation. Poznań, Poland: Bogucki Wydawnictwo Naukowe. pp 295–324.
- Bogucki Z, Ożgo M (1999) A method to determine a White Stork *Ciconia ciconia* egg volume. In: Schulz H (ed), *Weisstorch im Aufwind?*, pp 451–457. Proceeding Int. Symp. White Stork, Hamburg 1996, NABU, Bonn.
- Bókony V, Kulcsár A, Tóth Z, Liker A (2012) Personality traits and behavioral syndromes in differently urbanized populations of House Sparrows (*Passer domesticus*). *PLoS One* 7:e36639.
- Bolker BM, Brooks ME, Clark CJ, Geange SW, Poulsen JR, Stevens MHH, White JSS (2009) Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 24:127–135.
- Boukhemza M (2001) Étude bio-écologique de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia* L., 1775) et du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis* L., 1775) en Kabylie. Analyse démographique, éthologique et essai d'interprétation des stratégies trophiques. Thèse de Doctorat, INA El Harrach, Alger.
- Boukhemza M, Righi M, Doumandji S, Hamdine W (1995) Le régime alimentaire de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia* L., 1775) dans la vallée du Sébaou, région de Kabylie, Algérie. *Alauda* 63:199–207.
- Boukhemza M, Doumandji S, Voisin C, Voisin J-F (2004) Comparative utilization pattern of trophic resources by White Storks *Ciconia ciconia* and Cattle Egrets *Bubulcus ibis* in Kabylia (Algeria). *Revue d'Ecologie - Terre et Vie* 59:559–580.
- Boukhemza M, Boukhemza-Zemmouri N, Voisin J-F, Baziz B (2006) Écologie trophique de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) et du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) en Kabylie (Algérie). *Ecologia Mediterranea* 32:15–28.
- Bouriach M, Samraoui F, Souilah R, Houma I, Razkallah I, Alfarhan AH, Samraoui B (2015) Does core-periphery gradient determine breeding performance in a breeding colony of White Storks *Ciconia ciconia*? *Acta Ornithologica* 50:149–156.
- Bradai L, Bissati S, Chenchouni H, Amrani K (2015) Effects of climate on the productivity of desert truffles beneath hyper-arid conditions. *International Journal of Biometeorology* 59:907–915.
- Brasher MG, Steckel JD, Gates RJ (2007) Energetic carrying capacity of actively and passively managed wetlands for migrating ducks in Ohio. *The Journal of Wildlife Management* 71:2532–2541.
- Brose U, Martinez ND (2004) Estimating the richness of species with variable mobility. *Oikos* 105:292–300.

- Brose U, Martinez ND, Williams RJ (2003) Estimating species richness: sensitivity to sample coverage and insensitivity to spatial patterns. *Ecology* 84:2364–2377.
- Brunton DH (1997) Impacts of predators: center nests are less successful than edge nests in a large nesting colony of Least Terns. *Condor* 99:372–380.
- Bukhman YV, DiPiazza NW, Piotrowski J, Shao J, Halstead AG, Bui MD, *et al.* (2015) Modeling microbial growth curves with GCAT. *BioEnergy Research* 8:1022–1030.
- Byholm P, Kekkonen M (2008) Food regulates reproduction differently in different habitats: experimental evidence in the goshawk. *Ecology* 89:1696–1702.
- Carrascal LM, Bautista LM, Lázaro E (1993) Geographical variation in the density of the white stork *Ciconia ciconia* in Spain: influence of habitat structure and climate. *Biol Conserv* 65:83–87.
- Catry I, Franco AM, Rocha P, Alcazar R, Reis S, Cordeiro A, Ventim R, Teodosio J, Chiaradia A (2013) Foraging habitat quality constrains effectiveness of artificial nest-site provisioning in reversing population declines in a colonial cavity nester. *PLoS One* 8:e58320.
- Chace JF, Walsh JJ (2006) Urban effects on native avifauna: a review. *Landscape and Urban Planning* 74:46–69.
- Chang W (2013) *R graphics cookbook*. Ed. O'Reilly Media, Sebastopol, CA, USA.
- Chao A (1987) Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. *Biometrics* 43:783–791.
- Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen T-J (2005) A new statistical approach for assessing compositional similarity based on incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8:148–159.
- Chenchouni H (2012) Diversity assessment of vertebrate fauna in a wetland of hot hyperarid lands. *Arid Ecosystems* 2:253–263.
- Chenchouni H (2014) Diet of the Little Owl (*Athene noctua*) during the pre-reproductive period in a semi-arid Mediterranean region. *Zoology and Ecology* 24:314–323.
- Chenchouni H, Zanati K, Rezougui A, Briki A, Arar A (2010) Population monitoring of pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) by pheromone trapping at the southern limit of distribution of *Pinus halepensis* in Eastern Algeria. *Forest Science and Technology* 6:67–79.
- Chenchouni H, Si Bachir A, AlRashidi M (2015) Trophic niche and feeding strategy of the White Stork (*Ciconia ciconia*) during different phases of the breeding season. *Avian Biology Research* 8:1–13.
- Chernetsov N, Chromik W, Dolata PT, Profus P, Tryjanowski P (2006) Sex-related natal dispersal of white storks (*Ciconia ciconia*) in Poland: how far and where to? *Auk* 123:1103–1109.
- Chetara S, Mechouma W (2012) Contribution à la connaissance de la diversité des micromammifères du parc national de Belezma. Master dissertation, University of Batna, Algeria.
- Ciach M, Kruszyk R (2010) Foraging of white storks *Ciconia ciconia* on rubbish dumps on non-breeding grounds. *Waterbirds* 33:101–104.
- Colwell RK (2013) EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. Available at: <http://purl.oclc.org/estimates>

- Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ, Lin S-Y, Mao CX, Chazdon RL, Longino JT (2012) Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation, and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology* 5:3–21.
- Cramp S, Simmons KEL (1977) White Stork. In: Handbook of the Birds of the Western Palearctic, Vol. I. Oxford University Press, Oxford, pp 328–335.
- Crampton LH, Longland WS, Murphy DD, Sedingler JS (2011) Food abundance determines distribution and density of a frugivorous bird across seasons. *Oikos* 120:65–76.
- Crawley MJ (2013) *The R Book. Second Edition*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.
- Cuadrado M, Sánchez Í, Barcell M, Armario M (2016) Reproductive data and analysis of recoveries in a population of white stork *Ciconia ciconia* in southern Spain: a 24-year study. *Animal Biodiversity and Conservation* 39:37–44.
- Day MG (1966) Identification of hair and feather remains in the gut and faeces of stoats and weasels. *Journal of Zoology* 148:201–217.
- Debrot S, Fivvas G, Mermoud C, Weber JM (1982) Atlas des poils de mammifères d'Europe. University of Neuchâtel, Switzerland.
- Dell'Omo G, Costantini D, Lucini V, Antonucci G, Nonno R, Polichetti A (2009) Magnetic fields produced by power lines do not affect growth, serum melatonin, leukocytes and fledging success in wild kestrels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 150:372–376.
- Denac D (2006) Resource-dependent weather effect in the reproduction of the White Stork *Ciconia ciconia*. *Ardea* 94:233–240.
- Dierl W, Ring W (1992) *Guide des insectes*. Ed. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Djeddou N, Bada N (2006) Contribution à l'étude bioécologique de la Cigogne blanche *Ciconia ciconia* L. 1775 dans la région de Batna. Mémoire Ingénieur en Écologie et Environnement. Univ. Batna.
- Djerdali S (2010) Etude éthoécologique de la cigogne blanche *Ciconia ciconia* (Linné, 1758), dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes (Nord de l'Algérie). PhD Thesis, Univ. Setif, Algeria.
- Djerdali S, Tortosa FS, Doumandji S (2008a) Do white stork (*Ciconia ciconia*) parents exert control over food distribution when feeding is indirect?. *Ethology, Ecology & Evolution* 20:361–374.
- Djerdali S, Tortosa FS, Hillstrom L, Doumandji S (2008b) Food supply and external cues limit the clutch size and hatchability in the White Stork *Ciconia ciconia*. *Acta Ornithologica* 43:145–150.
- Djerdali S, Guerrero-Casado J, Tortosa FS (2016) Food from dumps increases the reproductive value of last laid eggs in the White Stork *Ciconia ciconia*. *Bird Study* 63:107–114.
- Doligez B, Thomson DL, van Noordwijk AJ (2004) Using large-scale data analysis to assess life history and behavioural traits: the case of the reintroduced White stork *Ciconia ciconia* population in the Netherlands. *Animal Biodiversity and Conservation* 27:387–402.
- Drent RH, Fox AD, Stahl J (2006) Travelling to breed. *Journal of Ornithology* 147:122–134.

- Duffy DC, Jackson S (1986) Diet studies of seabirds: a review of methods. *Colonial Waterbirds* 9:1–17.
- Durant JM, Hjermmann DØ, Ottersen G, Stenseth NC (2007) Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability. *Climate Research* 33:271.
- Ehrlich PR, Ehrlich AH, Daily GC (1993) Food security, population and environment. *Population and Development Review* 19:1–32.
- Ellis EC, Ramankutty N (2008) Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:439–447.
- Everaert J, Bauwens D (2007) A possible effect of electromagnetic radiation from mobile phone base stations on the number of breeding house sparrows (*Passer domesticus*). *Electromagnetic Biology and Medicine* 26:63–72.
- Fagan WF, Lewis MA, Auger-Méthé M, Avgar T, Benhamou S, Breed G, et al. (2013) Spatial memory and animal movement. *Ecology Letters* 16:1316–1329.
- Fernie KJ, Reynolds SJ (2005) The effects of electromagnetic fields from power lines on avian reproductive biology and physiology: a review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, part B* 8:127–140.
- Ferrer M, Janss G.F.E. (eds) (1999) Birds and power lines: collision, electrocution, and breeding. Quercus, pp 145–164.
- Fox J (2008) Generalized linear models. In: Fox J. *Applied regression analysis and generalized linear models*, Chapter 15, pp 379–424. Second Edition, SAGE Publications.
- Fulin M, Jerzak L, Sparks T, Tryjanowski P (2009) Relationship between arrival date, hatching date and breeding success of the white stork (*Ciconia ciconia*) in Slovakia. *Biologia* 64:361–364.
- Fuller RA, Irvine KN, Davies ZG, Armsworth PR, Gaston KJ (2012) Interactions between people and birds in urban landscapes. In: Lepczyk CA, Warren PS (eds). *Urban bird ecology and conservation*. Studies in Avian Biology (no. 45), University of California Press, Berkeley, CA, pp 249–266.
- Fuller RA, Warren PH, Armsworth PR, Barbosa O, Gaston KJ (2008) Garden bird feeding predicts the structure of urban avian assemblages. *Diversity and Distributions* 14:131–137.
- Ghenam K, Si Bachir A (2011) Approche biométrique et calorimétrique de quelques ordres d'insectes (Coleoptera, Orthoptera, Dermaptera et Hymenoptera) de la région de Batna (Algérie). Proceedings of SIBFA Conference, Univ. Ouargla, Algeria, pp 150–156.
- Goymann W, Safari I, Muck C, Schwabl I (2016) Sex roles, parental care and offspring growth in two contrasting coucal species. *Royal Society Open Science* 3:160463.
- Gregory RD, Strien AV (2010) Wild bird indicators: using composite population trends of birds as measures of environmental health. *Ornithological Science* 9:3–22.
- Guezoul O, Chenchouni H, Sekour M, Ababsa L, Souttou K, Doumandji S (2013) An avifaunal survey of mesic manmade ecosystems “Oases” in Algerian hot-hyperarid lands. *Saudi Journal of Biological Sciences* 20:37–43.

- Hadfield JD (2010) MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models: the MCMCglmm R package. *Journal of Statistical Software* 33:1–22.
- Hadfield JD, Nakagawa S (2010) General quantitative genetic methods for comparative biology: phylogenies, taxonomies and multi-trait models for continuous and categorical characters. *Journal of Evolutionary Biology* 23:494–508.
- Halfwerk W, Holleman LJM, Lessells CM, Slabbekoom H (2011) Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology* 48:210–219.
- Hall DB, Clutter M (2004) Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics* 60:16–24.
- Hamane W, Hamane W (2011) Recensement et régime alimentaire de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Batna. Mémoire de Master en Sciences de l'Environnement. Univ. Batna.
- Heltshel J, Forrester NE (1983) Estimating species richness using the Jackknife procedure. *Biometrics* 39:1–11.
- Higgins RM, Diogo H, Isidro EJ (2015) Modelling growth in fish with complex life histories. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 25:449–462.
- Hilgartner R, Stahl D, Zinner D (2014) Impact of supplementary feeding on reproductive success of white storks. *PLoS ONE* 9:e104276.
- Huin N, Prince PA (2000) Chick growth in albatrosses: curve fitting with a twist. *Journal of Avian Biology* 31:418–425.
- Hušek J, Adamík P, Albrecht T, Cepák J, Kania W, Mikolášková E, Stenseth NC (2013) Cyclicality and variability in prey dynamics strengthens predator numerical response: the effects of vole fluctuations on White Stork productivity. *Population Ecology* 55:363–375.
- Infante O, Peris S (2003) Bird nesting on electricity power supports in northwestern Spain. *Ecological Engineering* 20:321–326.
- Itonaga N, Köppen U, Plath M, Wallschläger D (2011) Declines in breeding site fidelity in an increasing population of White Storks *Ciconia ciconia*. *Ibis* 153:636–639.
- Janiszewski T, Minias P, Wojciechowski Z (2015) Selective forces responsible for transition to nesting on electricity poles in the White Stork *Ciconia ciconia*. *Ardea* 103:39–50.
- Janiszewski T, Minias P, Wojciechowski Z, Podlaszczuk P (2014) Habitat selection by White Storks breeding in a mosaic agricultural landscape of Central Poland. *The Wilson Journal of Ornithology* 126:591–599.
- Janss GFE, Ferrer M (2001) Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International* 11:3–12.
- Janss GFE, Sanchez I (1997) Productivity of white stork at different nest sites. *Ardeola* 44:101–103.
- Johnst K, Brandl R, Pfeifer R (2001) Foraging in a patchy and dynamic landscape: human land use and the white stork. *Ecological Applications* 11:60–69.

- Jokimäki J, Kaisanlahti-Jokimäki ML, Sorace A, Fernández-Juricic E, Rodriguez-Prieto I, Jimenez MD (2005) Evaluation of the “safe nesting zone” hypothesis across an urban gradient: a multi-scale study. *Ecography* 28:59–70.
- Jovani R, Tella JL (2004) Age-related environmental sensitivity and weather mediated nestling mortality in white storks *Ciconia ciconia*. *Ecography* 27:611–618.
- Kahuga I, Sparks TH, Tryjanowski P (2011) Reducing death by electrocution of the white stork *Ciconia ciconia*. *Conservation Letters* 4:483–487.
- Karasov WH (1996) Digestive plasticity in avian energetics and feeding ecology. In Carey C. (ed) *Avian energetics and nutritional ecology*. Springer US, pp 61–84.
- Kentie R, Hooijmeijer JC, Trimbos KB, Groen NM, Piersma T (2013) Intensified agricultural use of grasslands reduces growth and survival of precocial shorebird chicks. *Journal of Applied Ecology* 50:243–251.
- Kosicki JK (2010) Reproductive success of the white stork *Ciconia ciconia* population in intensively cultivated farmlands in Western Poland. *Ardeola* 57:243–255.
- Kosicki JZ (2012) Effect of weather conditions on nestling survival in the White Stork *Ciconia ciconia* population. *Ethology, Ecology & Evolution* 24:140–148.
- Kosicki JZ, Profus P, Dolata PT, Tobółka M (2006) Food composition and energy demand of the White Stork *Ciconia ciconia* breeding population. Literature survey and preliminary results from Poland. In: Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L. (eds.) *The White Stork in Poland: Studies in biology, ecology and conservation*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, Poland, pp 169–183.
- Kruszyk R, Ciach M (2010) White Storks, *Ciconia ciconia*, forage on rubbish dumps in Poland—a novel behaviour in population. *European Journal of Wildlife Research* 56:83–87.
- Kuhi HD, Porter T, López S, Kebreab E, Strathe AB, Dumas A, et al. (2010) A review of mathematical functions for the analysis of growth in poultry. *World's Poultry Science Journal* 66:227–240.
- Kumar K (1998) Fitting of sigmoidal growth curves. *The Mathematical Gazette* 82:306–309.
- Kwieceński Z, Tryjanowski P (2009) Sex differences in digestive efficiency of the white stork *Ciconia ciconia* under experimental conditions. *Folia Biologica - Krakow* 57:193–198.
- Lasch U, Zerbe S, Lenk M (2010) Electrocution of raptors at power lines in Central Kazakhstan. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 9:95–100.
- Latus C, Kujawa K (2005) The effect of land cover and fragmentation of agricultural landscape on the density of White Stork (*Ciconia ciconia* L.) in Brandenburg, Germany. *Polish journal of Ecology* 53:535–543.
- Lepczyk CA, Mertig AG, Liu J (2004) Assessing landowner activities related to birds across rural-to-urban landscapes. *Environmental Management* 33:110–125.
- Levins R (1968) *Evolution in changing environments: some theoretical explorations*. Princeton University Press.

- Lovette IJ, Holmes RT (1995) Foraging behavior of American Redstarts in breeding and wintering habitats: implications for relative food availability. *Condor* 97:782–791.
- Lui JC, Baron J (2011) Mechanisms limiting body growth in mammals. *Endocrine Reviews* 32:422–440.
- Magurran AE (2004) *Measuring biological diversity*. Wiley-Blackwell, New York.
- Mainwaring MC (2015) The use of man-made structures as nesting sites by birds: A review of the costs and benefits. *Journal for Nature Conservation* 25:17–22.
- Manning AD, Lindenmayer DB, Barry SC (2004) The conservation implication of bird reproduction in the agricultural “matrix”: a case study of the vulnerable superb parrot of south-eastern Australia. *Biological Conservation* 120:363–374.
- Martin GR (2011) Understanding bird collisions with man-made objects: a sensory ecology approach. *Ibis*, 153:239–254.
- Martin TE (1987) Food as a limit on breeding birds: a life-history perspective. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18:453–487.
- Massemin-Challet S, Gendner JP, Samtmann S, Pichegru L, Wulgué A, Le Maho Y (2006) The effect of migration strategy and food availability on White Stork *Ciconia ciconia* breeding success. *Ibis* 148:503–508.
- Máthé O, Batáry P (2015) Insectivorous and open-cup nester bird species suffer the most from urbanization. *Bird Study* 62:78–86.
- McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation* 127:247–260.
- Michelat D, Vionnet G, Giraudoux P (2015) Impact des pratiques agricoles sur les communautés d’oiseaux: l’exemple de prairies dans le Haut-Doubs. *Nos Oiseaux*, 62:67–90.
- Milchev B, Chobanov D, Simov N (2013) Diet and foraging habitats of non-breeding White storks (*Ciconia ciconia*) in Bulgaria. *Archives of Biological Sciences* 65:1007–1013.
- Moali-Grine N (2007) Dynamique de la population de la cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) en Algérie depuis 1995. *Ostrich* 78:291–293.
- Moali-Grine N, Moali L, Moali A (2012) Distribution et écologie de la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) en Algérie. *Revue Ecologie - Terre Vie* 67:59–69.
- Møller AP (2010) The fitness benefit of association with humans: elevated success of birds breeding indoors. *Behavioural Ecology* 21:913–918.
- Moritz M, Maumary L, Schmid D, Steiner I, Vallotton L, Spaar R, Biber O (2001) Time budget, habitat use and breeding success of White Storks *Ciconia ciconia* under variable foraging conditions during the breeding season in Switzerland. *Ardea* 89:457–470.
- Mužinić J, Rašajski J (1992) On food and feeding habits of the White Stork, *Ciconia c. ciconia*, in the Central Balkans. *Ökologie der Vögel* 14:211–223.

- Myers RH, Montgomery DC, Vining GG, Robinson TJ (2012) *Generalized linear models: with applications in engineering and the sciences*, Vol. 791. John Wiley & Sons.
- Neffar S, Chenchouni H, Si Bachir A (2016) Floristic composition and analysis of spontaneous vegetation of Sabkha Djendli in North-east Algeria. *Plant Biosystems* 150:396–403
- Newbold T, Hudson LN, Hill SLL, Contu S, Lysenko I, Senior RA, *et al.* (2015) Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520:45–50.
- Newsome SD, Martinez del Rio C, Bearhop S, Phillips DL (2007) A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5:429–436.
- Nielsen SE, Mc Dermid G, Stenhouse GB, Boyce MS (2010) Dynamic wildlife habitat models: seasonal foods and mortality risk predict occupancy-abundance and habitat selection in grizzly bears. *Biological Conservation* 143:1623–1634.
- Nowakowski JJ (2003) Habitat structure and breeding parameters of the White Stork *Ciconia ciconia* in the Kolno upland (NE Poland). *Acta Ornithologica* 38:39–46.
- Noy-Meir I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:25–51.
- Onmuş O, Ağaoğlu Y, Gül O (2012) Environmental factors affecting nest-site selection and breeding success of the White Stork (*Ciconia ciconia*) in Western Turkey. *The Wilson Journal of Ornithology* 124:354–361.
- Oswald SA, Nisbet IC, Chiaradia A, Arnold JM (2012) FlexParamCurve: R package for flexible fitting of nonlinear parametric curves. *Methods in Ecology and Evolution* 3:1073–1077.
- Otero I, Marull J, Tello E, Diana GL, Pons M, Coll F, Boada M (2015) Land abandonment, landscape and biodiversity. Questioning the restorative character of the Forest transition in the Mediterranean. *Ecology and Society* 20:7.
- Paine CET, Marthews TR, Vogt DR, Purves D, Rees M, Hector A, Turnbull LA (2012) How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution* 3:245–256.
- Panik MJ (2014) *Growth Curve Modeling: Theory and Applications*. John Wiley & Sons.
- Patrice L (2003) *Le guide entomologique*. Ed. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Peris SJ (2003) Feeding in urban refuse dumps: ingestion of plastic objects by the white stork (*Ciconia ciconia*). *Ardeola* 50:81–84.
- Perrier R (1961) La faune de la France - Tome 5: Les Coléoptères. 2nd Part. Ed. Lib. Delagrave, Paris.
- Perrier R (1963) La faune de la France - Tome 8: Les Diptères. Ed. Lib. Delagrave, Paris.
- Perrier R (1964) La faune de la France - Tome 6: Les Coléoptères. 1st Part. Ed. Lib. Delagrave, Paris.
- Picman J, Pribil S, Isabelle A (2002) Antipredation value of colonial nesting in yellow-headed blackbirds. *Auk* 119:461–472.

- Pinheiro J, Bates D (2000) *Mixed-Effects Models in S and S-Plus*. Springer-Verlag, Berlin.
- Pinowski J, Pinowska B, de Graaf R, Visser J, Dziurdzik B (1991) Influence of feeding habitat on prey capture rate and diet composition of White Stork *Ciconia ciconia* (L.). *Studia Naturae* 37:59–85.
- R Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at www.r-project.org.
- Rachel M (2006) Foraging sites of breeding White Storks *Ciconia ciconia* in the South Wielkopolska region. In: Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L (eds). *The White Stork in Poland: Studies in biology, ecology and conservation*. Poznań, Poland: Bogucki Wydawnictwo Naukowe. pp 161–167.
- Ramo C, Aguilera E, Figuerola J, Máñez M, Green AJ (2013) Long-term population trends of colonial wading birds breeding in Doñana (SW Spain) in relation to environmental and anthropogenic factors. *Ardeola* 60:305–326.
- Rebolo-Ifrán N, Carrete M, Sanz-Aguilar A, Rodríguez-Martínez S, Cabezas S, Marchant TA, Bortolotti GR, Tella JL (2015) Links between fear of humans, stress and survival support a non-random distribution of birds among urban and rural habitats. *Scientific Reports* 5:13723.
- Reynolds SJ, Schoech SJ, Bowman R (2003) Nutritional quality of prebreeding diet influences breeding performance of the Florida scrub-jay. *Oecologia* 134:308–316.
- Ricklefs RE (1967) A graphical method of fitting equations to growth curves. *Ecology* 48:978–983.
- Ricklefs RE (1968) Patterns of growth in birds. *Ibis* 110:419–451.
- Ricklefs RE (1973) Patterns of growth in birds. II. Growth and rate of mode of development. *Ibis* 115:177–201.
- Ricklefs RE (1979) Patterns of growth in birds. V. A comparative study of development in the starling, common tern, and Japanese quail. *The Auk* 96:10–30.
- Ricklefs RE (2010) Embryo growth rates in birds and mammals. *Functional Ecology* 24:588–596.
- Rodriguez-Brenes IA, Komarova NL, Wodarz D (2013) Tumor growth dynamics: insights into evolutionary processes. *Trends in Ecology & Evolution* 28:597–604.
- Rosenberg KV, Cooper RJ (1990) Approaches to avian diet analysis. *Studies in Avian Biology* 13:80–90.
- Rosin ZM, Kwieciński Z (2011) Digestibility of prey by the White Stork (*Ciconia ciconia*) under experimental conditions. *Ornis Fennica* 88:40–50.
- Sanz-Aguilar A, Jovani R, Melián CJ, Pradel R, Tella JL (2015) Multi-event capture-recapture analysis reveals individual foraging specialization in a generalist species. *Ecology* 96:1650–1660.
- Sbiki M (2009) Contribution à l'étude comparative des niches trophiques de deux échassiers de la région de Tébessa: La Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) et le Héron garde-bœufs (*Ardea ibis*). Magister dissertation, University of Tébessa, Algeria.
- Sbiki M, Chenchouni H, Si Bachir A (2015) Population increase and nest-site selection of Cattle Egrets *Bubulcus ibis* at a new colony in drylands of north-east Algeria. *Ostrich* 86:231–237.

- Sbiki M, Si Bachir A (2011) Modalités de fréquentation et d'exploitation des milieux de gagnage par la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) dans la région de Tébessa. Actes du Séminaire International sur la Protection des végétaux, ENSA El Harrach, 18–21 avril 2011, pp 344–349.
- Sekour M, Beddiaf R, Souttou K, Denys C, Doumandji S, Guezoul O (2011) Variation saisonnière du régime alimentaire de la chouette chevêche (*Athene noctua*) (Scopoli, 1769) dans l'extrême sud-est du Sahara algérien (Djanet, Algérie). *Revue d'Ecologie-La Terre et la Vie* 66:79–91.
- Serrano D, Oro D, Ursua E, Tella JL (2005) Colony size selection determines adult survival and dispersal preferences: Allee effects in a colonial bird. *The American Naturalist* 166:22–31.
- Si Bachir A (2007) Bioécologie et facteurs d'expansion du Héron garde-bœufs, *Bubulcus ibis* (Linné, 1758), dans la région de la Kabylie de la Soummam et en Algérie. PhD Thesis, Univ. Sétif, Algeria.
- Si Bachir A, Ferrah F, Barbraud C, Céréghino R, Santoul F (2011) The recent expansion of an avian invasive species (the Cattle Egret *Ardea ibis*) in Algeria. *Journal of Arid Environments* 75:1232–1236.
- Si Bachir A, Barbraud C, Cereghino R, Santoul F (2012) Cattle Egrets *Ardea ibis* use human-made habitat in a newly colonised area in northern Algeria. *Ostrich* 83:51–53.
- Si Bachir A, Chenchouni H, Djeddou N, Barbraud C, Céréghino R, Santoul F (2013) Using self-organizing maps to investigate environmental factors regulating colony size and breeding success of the White Stork (*Ciconia ciconia*). *Journal of Ornithology* 154:481–489.
- Skov H (1999) White Stork (*Ciconia ciconia*) in Denmark. In: Schulz H (ed). Weibstorch im Aufwind? - White Storks on the up? Proceedings of the International Symposium on the White Stork, Hamburg 1996. Bonn, Germany: Naturschutzbund Deutschland, pp 111–131.
- Sofaer HR, Chapman PL, Sillett TS, Ghalambor CK (2013) Advantages of nonlinear mixed models for fitting avian growth curves. *Journal of Avian Biology* 44:469–478.
- Sonerud GA, Fjeld PE (1987) Long-term memory in egg predators: an experiment with a Hooded Crow. *Ornis Scandinavica* 18:323–324.
- Spiegelhalter DJ, Best NG, Carlin BP, Linde A (2014) The deviance information criterion: 12 years on. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 76:485–493.
- Svanbäck R, Persson L (2004) Individual diet specialization, niche width and population dynamics: implications for trophic polymorphisms. *Journal of Animal Ecology* 73:973–982.
- Symondson WOC (2002) Molecular identification of prey in predator diets. *Molecular Ecology* 11:627–641.
- Thomas DW, Blondel J, Perret P, Lambrechts MM, Speakman JR (2001) Energetic and fitness costs of mismatching resource supply and demand in seasonally breeding birds. *Science* 291:2598–2600.
- Tobółka M, Sparks TH, Tryjanowski P (2012) Does the White Stork *Ciconia ciconia* reflect farmland bird diversity?. *Ornis Fennica* 89:222–228.
- Tobółka M, Kuźniak S, Zolnierowicz KM, Sparks TH, Tryjanowski P (2013) New is not always better: low breeding success and different occupancy patterns in newly built nests of a long-lived species, the white stork *Ciconia ciconia*. *Bird Study* 60:399–403.

- Tortosa FS, Caballero JM, Reyes-López J (2002) Effect of rubbish dumps on breeding success in the White Stork in southern Spain. *Waterbirds* 25:39–43.
- Tortosa FS, 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.
- Tryjanowski P, Kuźniak S (2002) Population size and productivity of the white stork *Ciconia ciconia* in relation to common vole *Microtus arvalis* density. *Ardea* 90:213–217.
- Tryjanowski P, Jerzak L, Radkiewicz J (2005) Effect of water level and livestock on the productivity and numbers of breeding White Storks. *Waterbirds* 28:378–382.
- Tryjanowski P, Sparks TH, Ptaszyk J, Kosicki J (2004) Do White Storks *Ciconia ciconia* always profit from an early return to their breeding grounds?. *Bird Study* 51:222–227.
- Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L (eds.) (2006) *The White Stork in Poland: Studies in biology, ecology and conservation*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe. Poznań, Poland
- Tryjanowski P, Sparks TH, Profus P (2009a) Severe flooding causes a crash in production of white stork (*Ciconia ciconia*) chicks across Central and Eastern Europe. *Basic and Applied Ecology* 10:387–392.
- Tryjanowski P, Kosicki JZ, Kuźniak S, Sparks TH (2009b) Long-term changes and breeding success in relation to nesting structures used by the white stork, *Ciconia ciconia*. *Annales Zoologici Fennici* 46:34–38.
- Tryjanowski P, Hartel T, Báldi A, Szymański P, Tobolka M, Herzon I, et al. (2011) Conservation of farmland birds faces different challenges in Western and Central-Eastern Europe. *Acta Ornithologica* 46:1–12.
- Tryjanowski P, Sparks TH, Jerzak L, Rosin ZM, Skórka P (2014) A paradox for conservation: electricity pylons may benefit avian diversity in intensive farmland. *Conservation Letters* 7:34–40.
- Tsachalidis EP, Goutner V (2002) Diet of the White Stork in Greece in relation to habitat. *Waterbirds* 25:417–423.
- Tsachalidis EP, Liordos V, Goutner V (2005) Growth of white stork *Ciconia ciconia* nestlings. *Ardea* 93:133–137.
- Tucakov M (2006) Population development, nest site selection and conservation measures for White Stork *Ciconia ciconia* along the lower Tamiš River (Vojvodina, N Serbia). *Acrocephalus* 27:13–20.
- Vachon M (1952) *Etude sur les scorpions*. Institut Pasteur d'Algérie, Alger.
- Vaitkuviėnė D, Dagys M (2014) Possible effects of electromagnetic field on White Storks *Ciconia ciconia* breeding on low-voltage electricity line poles. *Zoology and Ecology* 24:289–296.
- Vaitkuviėnė D, Dagys M (2015) Two-fold increase in White Stork (*Ciconia ciconia*) population in Lithuania: a consequence of changing agriculture?. *Turkish Journal of Zoology* 39:144–152.
- van den Burg AB (2009) Limitations of owl reproduction in the wild: is there a role for food quality besides quantity?. *Ardea* 97:609–614.

-
- van Der Jeugd HP, Eichhorn G, Litvin KE, Stahl J, Larsson K, Van Der Graaf AJ, Drent RH (2009) Keeping up with early springs: rapid range expansion in an avian herbivore incurs a mismatch between reproductive timing and food supply. *Global Change Biology* 15:1057–1071.
- Vergara P, Aguirre JI (2006) Age and breeding success related to nest position in a White Stork *Ciconia ciconia* colony. *Acta Oecologica* 30:414–418.
- Vergara P, Aguirre JI, Fargallo JA, Dávila JA (2006) Nest-site fidelity and breeding success in White Stork *Ciconia ciconia*. *Ibis* 148:672–677.
- Vergara P, Gordo O, Aguirre JI (2010) Nest size, nest building behaviour and breeding success in a species with nest reuse: the white stork *Ciconia ciconia*. *Annales Zoologici Fennici* 47:184–194.
- Vivien ML (1973) Régime et comportement alimentaire de quelques poissons des récifs coralliens de Tuléar (Madagascar). *Revue d'Ecologie-La Terre et la Vie* 27:551–577.
- Vrezec A (2009) Insects in the White Stork *Ciconia ciconia* diet as indicators of its feeding conditions: the first diet study in Slovenia. *Acrocephalus* 30:25–29.
- Zahradnik S (1988) *Guide des insectes*. Ed. Hatier, Prague.
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM (2009) *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York.

Annexes

Annexes

Annexe 1. Scripts des codes R utilisés pour la réalisation des différents tests et modèles statistiques pour la modélisation des données de croissance des poussins de la cigogne blanche dans la région de Batna.

Cette annexe est divisée en six parties principales de codes, à savoir, (i) lancement des packages à utiliser, (ii) importation et attachement des bases de données des croissances, (iii) représentation graphiques des courbes de croissance, (iv) calculs des différents modèles pour chaque trait biométrique, (v) estimation et représentation graphique des prédictions suivant ces modèles, et (vi) tester les corrélations entre ces prédictions. Le software R (www.r-project.org ; R Core Team, 2016) exige que tous les commentaires et autres textes hors les codes sont précédés du symbole # et les commandes ne sont que des déclarations. Pour éviter toute confusion nos codes sont écrits dans les exigences du programme de R (avec la font `Courier New`) afin que ces codes peuvent être utilisés par quiconque sans changer quoi que ce soit.

1. Exécution des packages utilisés dans la modélisation

```
library(xlsx)
library(nlme)
library(FlexParamCurve)
library(mgcv)
library(ggplot2)
library(Rcmdr)
library(corrplot)

# Ces packages peuvent être installés directement, après sélection du
# CRAN mirror le plus proche, en utilisant les codes suivants :
install.packages("xlsx")
install.packages("nlme")
install.packages("FlexParamCurve")
install.packages("mgcv")
install.packages("ggplot2")
install.packages("Rcmdr")
install.packages("corrplot")
```

2. Importation des datasets utilisées dans les différents codes

2.1. Culmen

```
Growth.beak<-read.table("Beak.txt", header=T)
```

2.2. Longueur de la tête

```
Growth.head<-read.table("Head.txt", header=T)
```

2.3. Envergure

```
Growth.wing<-read.table("Wing.txt", header=T)
```

2.4. Longueur du tarsométatarse

```
Growth.tars<-read.table("Tars.txt", header=T)
```

2.5. Poids corporel

```
Growth.weight<-read.table("Weight.txt", header=T)
```

3. Dessin des graphes (Box plots)

3.1. Culmen

```
BK <- ggplot(Growth.beak, aes(x= Age, y= Beak)) + xlab("Age des poussins
(Jours)") +ylab("Longueur du bec 'Culmen' (mm)")
BK + geom_boxplot(aes(group=Age), outlier.size=0)+ stat_smooth
(method=loess, size=1)# pour specifier le type du graphique
BK+ stat_smooth (method=glm, colour="red", linetype="dashed")# pour
ajouter les courbes de régressions
ggsave("Beak.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600) # pour
sauvegarder le graphe en haute résolution selon les dimensions désirées.
```

3.2. Longueur de la tête

```
BK <- ggplot(Growth.head, aes(x= Age, y= Head)) + xlab("Age des poussins
(Jours)") +ylab("Longueur de la tête (mm)")
BK + geom_boxplot(aes(group=Age), outlier.size=0)+ stat_smooth (method =
loess, size = 1) + stat_smooth (method = glm, colour="red",
linetype="dashed")
ggsave("head.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600) # pour
l'enregistrement de la figure en haute résolution
```

3.3. Envergure

```
BK <- ggplot(Growth.wing, aes(x= Age, y= Wing)) + xlab("Age des poussins
(Jours)") +ylab("Envergure (cm)")
BK + geom_boxplot(aes(group=Age), outlier.size=0)+ stat_smooth (method =
loess, size = 1) + stat_smooth (method = glm, colour="red",
linetype="dashed")
ggsave("Wing.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600)
```

3.4. Longueur du tarsométatarse

```
BK <- ggplot(Growth.tars, aes(x= Age, y= Tars)) + xlab("Age des poussins
(Jours)") +ylab("Longueur du tarsometatarse (mm)")
BK + geom_boxplot(aes(group=Age), outlier.size=0)+ stat_smooth (method =
loess, size = 1) + stat_smooth (method = glm, colour="red",
linetype="dashed")
ggsave("tars.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600)
```

3.5. Poids corporel

```
BK <- ggplot(Growth.weight, aes(x= Age, y= Weight)) + xlab("Age des
poussins (Jours)") +ylab("Masse corporelle (kg)")
BK + geom_boxplot(aes(group=Age), outlier.size=0)+ stat_smooth (method =
loess, size = 1) + stat_smooth (method = glm, colour="red",
linetype="dashed")
ggsave("Weight.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600)
```

4. Application des modèles de la croissance des poussins

4.1. LONGUEUR DE LA TÊTE

4.1.1. Modèle de Michaelis-Menten

```
SSmicmen.H <- nls(Head ~SSmicmen(Age,a,b), data= Growth.head) #ici on
applique une fonction self-starting pour modéliser la croissance de la
longueur de la tête suivant l'âge
summary(SSmicmen.H) # pour résumé le modèle
AIC(SSmicmen.H) # pour avoir la valeur AIC du modèle
```

4.1.2. Régression asymptotique passant par l'origine

```
AsympOr.H <- nls(Head ~ SSasypOrig (Age,a,b), data= Growth.head)
summary(AsympOr.H)
AIC(AsympOr.H)
```

4.1.3. Modèle d'une régression asymptotique

```
Asymp.H <- nls(Head~SSasyp(Age,a,b,c), data= Growth.head)
summary(Asymp.H)
AIC(Asymp.H)
```

4.1.4. Régression asymptotique avec un décalage

```
AsympOff.H <- nls(Head ~ SSasypOff (Age,a,b,c), data= Growth.head)
summary(AsympOff.H)
AIC(AsympOff.H)
```

4.1.5. Modèle logistique

```
ThreeParLogis.Head= nls(Head~(a/(1+b*exp(-c*Age))), start=list(a=170,
b=4, c=0.9),data=Growth.head)
summary(ThreeParLogis.Head)
AIC(ThreeParLogis.Head)
```

4.1.6. Modèle de croissance de Gompertz

```
SSgompertz.H <- nls(Head ~ SSgompertz(Age, a, b, c), data= Growth.head)
summary(SSgompertz.H)
AIC(SSgompertz.H)
```

4.1.7. Régression logistique à quatre paramètres

```
SSfpl.H <- nls(Head ~SSfpl(Age, a, b, c, d), data= Growth.head)
summary(SSfpl.H)
AIC(SSfpl.H)
```

4.1.8 Modèle de la courbe de croissance Weibull

```
SSweibull.H<- nls(Head ~ SSweibull(Age, Asym, Drop, lrc, pwr), data=
Growth.head)
summary(SSweibull.H)
AIC(SSweibull.H)
```

4.1.9. Modèle logistique à trois paramètres en utilisant la fonction d'auto-démarrage **SSposnegRichards** du modèle de Richards

```
modpar(Growth.head$Age, Growth.head$Head,force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 1, pn.options = "myoptions")
Richards.hl<- nls(Head ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.head)
coef(Richards.hl)
summary(Richards.hl)
AIC(Richards.hl)
```

4.1.10. Modèle de Gompertz en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.head$Age, Growth.head$Head, force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 0.1, pn.options = "myoptions")
Richards.h2<- nls(Head ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.head)
coef(Richards.h2)
summary(Richards.h2)
AIC(Richards.h2)
```

4.1.11. Modèle de von Bertalanffy en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.head$Age, Growth.head$Head, force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = -0.3, pn.options = "myoptions")
Richards.h3<- nls(Head ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.head)
coef(Richards.h3)
summary(Richards.h3)
AIC(Richards.h3)
```

4.1.12. Modèle linéaire généralisé (GLM)

```
Glm1h <- glm(Head~ Age, family=gaussian(identity), data= Growth.head)
summary(Glm1h)
```

4.1.13. Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)

```
Glm1h <- lme(Head~ Age, random= ~ 1| Nest, data= Growth.head)
summary(Glm1h)
```

4.1.14. Modèle additif généralisé (GAM)

```
GAM.2H<- gam(Head ~ Age, data= Growth.head)
summary(GAM.2H)
AIC(GAM.2H)
```

4.1.15. Modèle additif généralisé mixte (GAMM)

```
GAMM.2H <- gamm(Head~ Age, random = list(Nest=~ 1), data = Growth.head,
family = gaussian)
summary(GAMM.2H$gam)
summary(GAMM.2H$lme)
```

4.1.16. Modèle additif généralisé (GAM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
GAM.H<- gam(Head ~ s(Age), data= Growth.head)
summary(GAM.H)
AIC(GAM.H)
```

4.1.17. Modèle additif généralisé mixte (GAMM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
Gamm.H <- gamm(Head~ s(Age), random = list(Nest=~ 1), data = Growth.head,
family = gaussian)
summary(Gamm.H$gam)
summary(Gamm.H$lme)
```

4.2. CULMEN

4.2.1. Modèle de Michaelis-Menten

```
SSmicmen.B <- nls(Beak~SSmicmen(Age,a,b), data= Growth.beak)
summary(SSmicmen.B)
AIC(SSmicmen.B)
```


4.2.2. Régression asymptotique passant par l'origine

```
AsympOr.B <- nls(Beak~ SSasymptOrig (Age, a, b), data= Growth.beak)
summary (AsympOr.B)
AIC (AsympOr.B)
```

4.2.3. Modèle d'une régression asymptotique

```
Asymp.B <- nls(Beak~SSasympt(Age, a, b, c), data= Growth.beak)
summary (Asymp.B)
AIC (Asymp.B)
```

4.2.4. Régression asymptotique avec un décalage

```
AsympOff.B <- nls(Beak~ SSasymptOff (Age, a, b, c), data= Growth.beak)
summary (AsympOff.B)
AIC (AsympOff.B)
```

4.2.5. Modèle logistique

```
ThreeParLogis.B = nls(Beak~(a/(1+b*exp(-c*Age))), start=list(a=160, b=3,
c=0.8), data=Growth.beak)
summary (ThreeParLogis.B)
AIC (ThreeParLogis.B)
```

4.2.6. Modèle de croissance de Gompertz

```
SSgompertz.B <- nls(Beak ~ SSgompertz(Age, a, b, c), data= Growth.beak)
summary (SSgompertz.B)
AIC (SSgompertz.B)
```

4.2.7. Régression logistique à quatre paramètres

```
SSfpl.B <- nls(Beak ~SSfpl(Age, a, b, c, d), data= Growth.beak)
summary (SSfpl.B)
AIC (SSfpl.B)
```

4.2.8. Modèle de la courbe de croissance Weibull

```
weibull.B <- nls(Beak ~ Asym-Drop*exp(-exp(lrc)*Age^pwr),
start=list(Asym=150, Drop=130, lrc=-4, pwr=1.2), data= Growth.beak)
summary (weibull.B)
AIC (weibull.B)
```

4.2.9. Modèle logistique à trois paramètres en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.beak$Age, Growth.beak$Beak, force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 1, pn.options = "myoptions")
Richards.b1<- nls(Beak~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.beak)
coef (Richards.b1)
summary (Richards.b1)
AIC (Richards.b1)
```

4.2.10. Modèle de Gompertz en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.beak$Age, Growth.beak$Beak, force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 0.1, pn.options = "myoptions")
Richards.b2<- nls(Beak~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.beak)
coef (Richards.b2)
summary (Richards.b2)
AIC (Richards.b2)
```

4.2.11. Modèle de von Bertalanffy en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.beak$Age, Growth.beak$Beak, force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = -0.3, pn.options = "myoptions")
Richards.b3<- nls(Beak~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.beak)
coef(Richards.b3)
summary(Richards.b3)
AIC(Richards.b3)
```

4.2.12. Modèle linéaire généralisé (GLM)

```
Glm2b <- glm(Beak~ Age, family=gaussian(identity), data= Growth.beak)
summary(Glm2b)
```

4.2.13. Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)

```
Glmm2B <- lme(Beak ~ Age, random= ~ 1| Nest, data= Growth.beak, na.action
= na.omit)
summary(Glmm2B)
```

4.2.14. Modèle additif généralisé (GAM)

```
GAM.2B<- gam(Beak~ Age, data= Growth.beak)
summary(GAM.2B)
AIC(GAM.2B)
```

4.2.15. Modèle additif généralisé mixte (GAMM)

```
GAMM.2B <- gamm(Beak~ Age, random = list(Nest=~ 1), data = Growth.beak,
family = gaussian)
summary(GAMM.2B$gam)
summary(GAMM.2B$lme)
```

4.2.16. Modèle additif généralisé (GAM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
GAM.B<- gam(Beak~ s(Age), data= Growth.beak)
summary(GAM.B)
AIC(GAM.B)
```

4.2.17. Modèle additif généralisé mixte (GAMM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
Gamm.B <- gamm(Beak~ s(Age), random = list(Nest=~ 1), data = Growth.beak,
family = gaussian)
summary(Gamm.B$gam)
summary(Gamm.B$lme)
```

4.3. ENVERGURE

4.3.1. Modèle de Michaelis-Menten

```
SSmicmen.W <- nls(Wing ~SSmicmen(Age, a, b), data= Growth.wing)
summary(SSmicmen.W)
AIC(SSmicmen.W)
```

4.3.2. Régression asymptotique passant par l'origine

```
AsympOr.W <- nls(Wing ~ SSasympOrig (Age, a, b), data= Growth.wing)
summary(AsympOr.W)
AIC(AsympOr.W)
```

4.3.3. Modèle d'une régression asymptotique

```
Asymp.W <- nls(Wing ~SSasymp(Age, a, b, c), data= Growth.wing)
summary(Asymp.W)
AIC(Asymp.W)
```

4.3.4. Régression asymptotique avec un décalage

```
AsympOff.W <- nls(Wing ~ SSasympOff (Age, a, b, c), data= Growth.wing)
```

```
summary(AsympOff.W)
```

```
AIC(AsympOff.W)
```

4.3.5. Modèle logistique

```
SSlogis.W <- nls(Wing ~ SSlogis(log(Age), a, b, c), data= Growth.wing)
```

```
summary(SSlogis.W)
```

```
AIC(SSlogis.W)
```

4.3.6. Modèle de croissance de Gompertz

```
SSgompertz.W <- nls(Wing ~ SSgompertz(Age, a, b, c), data= Growth.wing)
```

```
summary(SSgompertz.W)
```

```
AIC(SSgompertz.W)
```

4.3.7. Régression logistique à quatre paramètres

```
SSfpl.W <- nls(Wing ~ SSfpl(Age, a, b, c, d), data= Growth.wing)
```

```
summary(SSfpl.W)
```

```
AIC(SSfpl.W)
```

4.3.8. Modèle de la courbe de croissance Weibull

```
SSweibull.W <- nls(Wing ~ SSweibull(Age, Asym, Drop, lrc, pwr), data= Growth.wing)
```

```
summary(SSweibull.W)
```

```
AIC(SSweibull.W)
```

4.3.9. Modèle logistique à trois paramètres en utilisant la fonction d'auto-démarrage

SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.wing$Age, Growth.wing$Wing,force4par = TRUE, pn.options = "myoptions")
```

```
change.pnparameters(M = 1, pn.options = "myoptions")
```

```
Richards.w1<- nls(Wing ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl = Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.wing)
```

```
coef(Richards.w1)
```

```
summary(Richards.w1)
```

```
AIC(Richards.w1)
```

4.3.10. Modèle de Gompertz en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.wing$Age, Growth.wing$Wing,force4par = TRUE, pn.options = "myoptions")
```

```
change.pnparameters(M = 0.1, pn.options = "myoptions")
```

```
Richards.w2<- nls(Wing ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl = Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.wing)
```

```
coef(Richards.w2)
```

```
summary(Richards.w2)
```

```
AIC(Richards.w2)
```

4.3.11. Modèle de von Bertalanffy en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.wing$Age, Growth.wing$Wing,force4par = TRUE, pn.options = "myoptions")
```

```
change.pnparameters(M = -0.3, pn.options = "myoptions")
```

```
Richards.w3<- nls(Wing ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl = Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.wing)
```

```
coef(Richards.w3)
```

```
summary(Richards.w3)
```

```
AIC(Richards.w3)
```

4.3.12. Modèle linéaire généralisé (GLM)

```
Glm3w <- glm(Wing ~ Age, family=gaussian(identity), data= Growth.wing)
```

```
summary(Glm3w)
```

4.3.13. Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)

```
Glm3w <- lme(Wing ~ Age, random = ~ 1 | Nest, data = Growth.wing, na.action = na.fail)
```

```
summary(Glm3w)
```

4.3.14. Modèle additif généralisé (GAM)

```
GAM.2w <- gam(Wing ~ Age, data = Growth.wing)
```

```
summary(GAM.2w)
```

```
AIC(GAM.2w)
```

4.3.15. Modèle additif généralisé mixte (GAMM)

```
GAMM.2w <- gamm(Wing ~ Age, random = list(Nest = ~ 1), data = Growth.wing, family = gaussian)
```

```
summary(GAMM.2w$gam)
```

```
summary(GAMM.2w$lme)
```

4.3.16. Modèle additif généralisé (GAM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
GAM.W <- gam(Wing ~ s(Age), data = Growth.wing)
```

```
summary(GAM.W)
```

```
AIC(GAM.W)
```

4.3.17. Modèle additif généralisé mixte (GAMM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
Gamm.W <- gamm(Wing ~ s(Age), random = list(Nest = ~ 1), data = Growth.wing, family = gaussian)
```

```
summary(Gamm.W$gam)
```

```
summary(Gamm.W$lme)
```

4.4. Longueur du tarsométatarse

4.4.1. Modèle de Michaelis-Menten

```
SSmicmen.T <- nls(Tars ~ SSmicmen(Age, a, b), data = Growth.tars)
```

```
summary(SSmicmen.T)
```

```
AIC(SSmicmen.T)
```

4.4.2. Régression asymptotique passant par l'origine

```
AsympOr.T <- nls(Tars ~ SSasympOrig(Age, a, b), data = Growth.tars)
```

```
summary(AsympOr.T)
```

```
AIC(AsympOr.T)
```

4.4.3. Modèle d'une régression asymptotique

```
Asymp.T <- nls(Tars ~ SSasymp(Age, a, b, c), data = Growth.tars)
```

```
summary(Asymp.T)
```

```
AIC(Asymp.T)
```

4.4.4. Régression asymptotique avec un décalage

```
AsympOff.T <- nls(Tars ~ SSasympOff(Age, a, b, c), data = Growth.tars)
```

```
summary(AsympOff.T)
```

```
AIC(AsympOff.T)
```

4.4.5. Modèle logistique

```
SSlogis.T <- nls(Tars ~ SSlogis(log(Age), a, b, c), data = Growth.tars)
```

```
summary(SSlogis.T)
```

```
AIC(SSlogis.T)
```

4.4.6. Modèle de croissance de Gompertz

```
SSgompertz.T <- nls(Tars ~ SSgompertz(Age, a, b, c), data = Growth.tars)
```

```
summary(SSgompertz.T)
```

```
AIC(SSgompertz.T)
```

4.4.7. Régression logistique à quatre paramètres

```
SSfpl.T <- nls(Tars ~ SSfpl(Age, a, b, c, d), data = Growth.tars)
```

```
summary(SSfpl.T)
AIC(SSfpl.T)
```

4.4.8. Modèle de la courbe de croissance Weibull

```
SSweibull.T <- nls(Tars ~ SSweibull(Age, Asym, Drop, lrc, pwr), data=
Growth.tars)
summary(SSweibull.T)
AIC(SSweibull.T)
```

4.4.9. Modèle logistique à trois paramètres en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.tars$Age, Growth.tars$Tars,force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 1, pn.options = "myoptions")
Richards.t1<- nls(Tars ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.tars)
coef(Richards.t1)
summary(Richards.t1)
AIC(Richards.t1)
```

4.4.10. Modèle de Gompertz en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.tars$Age, Growth.tars$Tars,force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = 0.1, pn.options = "myoptions")
Richards.t2<- nls(Tars ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.tars)
coef(Richards.t2)
summary(Richards.t2)
AIC(Richards.t2)
```

4.4.11. Modèle de von Bertalanffy en utilisant la fonction d'auto-démarrage SSposnegRichards du modèle de Richards

```
modpar(Growth.tars$Age, Growth.tars$Tars,force4par = TRUE, pn.options =
"myoptions")
change.pnparameters(M = -0.3, pn.options = "myoptions")
Richards.t3<- nls(Tars ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.tars)
coef(Richards.t3)
summary(Richards.t3)
AIC(Richards.t3)
```

4.4.12. Modèle linéaire généralisé (GLM)

```
Glm4t <- glm(Tars ~ Age, family=gaussian(identity), data= Growth.tars)
summary(Glm4t)
```

4.4.13. Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)

```
Glm4t <- lme(Tars ~ Age, random=~ 1| Nest, data= Growth.tars, na.action
= na.fail)
summary(Glm4t)
```

4.4.14. Modèle additif généralisé (GAM)

```
GAM.2T<- gam(Tars ~ Age, data= Growth.tars)
summary(GAM.2T)
AIC(GAM.2T)
```

4.4.15. Modèle additif généralisé mixte (GAMM)

```
GAMM.2T <- gamm(Tars~ Age, random = list(Nest=~ 1), data = Growth.tars,
family = gaussian)
```

```
summary(GAMM.2T$gam)
```

```
summary(GAMM.2T$lme)
```

4.4.16. Modèle additif généralisé (GAM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
GAM.T <- gam(Tars ~ s(Age), data= Growth.tars)
```

```
summary(GAM.T)
```

```
AIC(GAM.T)
```

4.4.17. Modèle additif généralisé mixte (GAMM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
Gamm.T <- gamm(Tars~ s(Age), random = list(Nest=~ 1), data = Growth.tars,  
family = gaussian)
```

```
summary(Gamm.T$gam)
```

```
summary(Gamm.T$lme)
```

4.5. POIDS CORPOREL

4.5.1. Modèle de Michaelis-Menten

```
SSmicmen.WT <- nls(Weight ~SSmicmen(Age,a,b), data= Growth.weight)
```

```
summary(SSmicmen.WT)
```

```
AIC(SSmicmen.WT)
```

4.5.2. Régression asymptotique passant par l'origine

```
AsympOr.WT <- nls(Weight ~ SSasympOrig (Age,a,b), data= Growth.weight)
```

```
summary(AsympOr.WT)
```

```
AIC(AsympOr.WT)
```

4.5.3. Modèle d'une régression asymptotique

```
Asymp.WT <- nls(Weight ~SSasymp(Age,a,b,c), data= Growth.weight)
```

```
summary(Asymp.WT)
```

```
AIC(Asymp.WT)
```

4.5.4. Régression asymptotique avec un décalage

```
AsympOff.WT <- nls(Weight ~ SSasympOff (Age,a,b,c), data= Growth.weight)
```

```
summary(AsympOff.WT)
```

```
AIC(AsympOff.WT)
```

4.5.5. Modèle logistique

```
SSlogis.WT <- nls(Weight ~ SSlogis(log(Age), a, b, c), data=  
Growth.weight)
```

```
summary(SSlogis.WT)
```

```
AIC(SSlogis.WT)
```

4.5.6. Modèle de croissance de Gompertz

```
SSgompertz.WT <- nls(Weight ~ SSgompertz(Age, a, b, c), data=  
Growth.weight)
```

```
summary(SSgompertz.WT)
```

```
AIC(SSgompertz.WT)
```

4.5.7. Régression logistique à quatre paramètres

```
SSfpl.WT <- nls(Weight ~SSfpl(Age, a, b, c, d), data= Growth.weight)
```

```
summary(SSfpl.WT)
```

```
AIC(SSfpl.WT)
```

4.5.8. Modèle de la courbe de croissance Weibull

```
SSweibull.WT <- nls(Weight ~ SSweibull(Age, Asym, Drop, lrc, pwr), data=  
Growth.weight)
```

```
summary(SSweibull.WT)
```

```
AIC(SSweibull.WT)
```

4.5.9. Modèle logistique à trois paramètres en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.weight$Age, Growth.weight$Weight, force4par = TRUE,
pn.options = "myoptions")
change.pnparameters(M = 1, pn.options = "myoptions")
Richards.wt1<- nls(Weight ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K,
Infl = Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.weight)
coef(Richards.wt1)
summary(Richards.wt1)
AIC(Richards.wt1)
```

4.5.10. Modèle de Gompertz en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.weight$Age, Growth.weight$Weight, force4par = TRUE,
pn.options = "myoptions")
change.pnparameters(M = 0.1, pn.options = "myoptions")
Richards.wt2<- nls(Weight~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K, Infl
= Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.weight)
coef(Richards.wt2)
summary(Richards.wt2)
AIC(Richards.wt2)
```

4.5.11. Modèle de von Bertalanffy en utilisant la fonction d'auto-démarrage `SSposnegRichards` du modèle de Richards

```
modpar(Growth.weight$Age, Growth.weight$Weight, force4par = TRUE,
pn.options = "myoptions")
change.pnparameters(M = -0.3, pn.options = "myoptions")
Richards.wt3<- nls(Weight ~ SSposnegRichards(Age, Asym = Asym, K = K,
Infl = Infl, modno = 32, pn.options = "myoptions"), data = Growth.weight)
coef(Richards.wt3)
summary(Richards.wt3)
AIC(Richards.wt3)
```

4.5.12. Modèle linéaire généralisé (GLM)

```
Glm5wt <- glm(Weight ~ Age, family=gaussian(identity), data=
Growth.weight)
summary(Glm5wt)
```

4.5.13. Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)

```
Glimm5WT <- lme(Weight ~ Age, random= ~ 1| Nest, data= Growth.weight,
na.action = na.fail)
summary(Glimm5WT)
```

4.5.14. Modèle additif généralisé (GAM)

```
GAM.2WT<- gam(Weight ~ Age, data= Growth.weight)
summary(GAM.2WT)
AIC(GAM.2WT)
```

4.5.15. Modèle additif généralisé mixte (GAMM)

```
GAMM.2WT <- gamm(Weight~ Age, random = list(Nest=~ 1), data =
Growth.weight, family = gaussian)
summary(GAMM.2WT$gam)
summary(GAMM.2WT$lme)
```

4.5.16. Modèle additif généralisé (GAM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
GAM.WT<- gam(Weight ~ s(Age), data= Growth.weight)
summary(GAM.WT)
AIC(GAM.WT)
```

4.5.17. Modèle additif généralisé mixte (GAMM) avec lissage "smooth" de l'âge

```
Gamm.WT <- gamm(Weight~ s(Age), random = list(Nest=~ 1), data =
Growth.weight, family = gaussian)
summary(Gamm.WT$gam)
summary(Gamm.WT$lme)
```

5. Dessin des courbes de prédiction des traits biométriques selon les différents modèles

5.1. Culmen

```
xv <- seq(0, 62, 0.2)
yv1 <- predict(SSmicmen.B, list(Age=xv))
yv2 <- predict(AsympOr.B, list(Age=xv))
yv3 <- predict(Asymp.B, list(Age=xv))
yv4 <- predict(AsympOff.B, list(Age=xv))
yv5 <- predict(ThreeParLogis.B, list(Age=xv))
yv6 <- predict(SSgompertz.B, list(Age=xv))
yv8 <- predict(weibull.B, list(Age=xv))
yv9 <- predict(Richards.b1, list(Age=xv))
yv10 <- predict(Richards.b2, list(Age=xv))
yv11 <- predict(Richards.b3, list(Age=xv))
yv12 <- predict(Glm2b, list(Age=xv))

png("Plot-BEAK.png", width=16, height=10, unit="cm", dpi=600)
plot(Beak~Age, pch=21, cex = 0.4, data= Growth.beak, xlab="Age des
poussins (jours)", ylab="Longueur du culmen (mm)")
lines(xv, yv1, col=1, lwd=3)
lines(xv, yv2, col=2, lwd=3)
lines(xv, yv3, col=3, lwd=3)
lines(xv, yv4, col=4, lwd=3)
lines(xv, yv5, col=5, lwd=3)
lines(xv, yv6, col=6, lwd=3)
lines(xv, yv8, col=8, lwd=3)
lines(xv, yv9, col="orange", lwd=3)
lines(xv, yv10, col="brown", lwd=3)
lines(xv, yv11, col="darkgray", lwd=3)
lines(xv, yv12, col="navy", lwd=3)
legend(locator(1), c("SSmicmen", "SSasympOrig", "SSasymp", "SSasympOff", "SS
logis", "SSgompertz", "SSfpl", "SSweibull", "Richards-logistic", "Richards-
gompertz", "Richards-v-Bertalanffy", "GLM"),
col=c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, "orange", "brown", "darkgray", "navy"),
lty=c(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1), lwd=3) # Il suffit de cliquer sur
l'endroit désiré dans le graphe pour insérer la légende
```

5.2. Longueur de la tête

```
xv <- seq(0, 62, 0.2)
yv1 <- predict(SSmicmen.H, list(Age=xv))
yv2 <- predict(AsympOr.H, list(Age=xv))
yv3 <- predict(Asymp.H, list(Age=xv))
yv4 <- predict(AsympOff.H, list(Age=xv))
yv5 <- predict(ThreeParLogis.Head, list(Age=xv))
yv6 <- predict(SSgompertz.H, list(Age=xv))
yv7 <- predict(SSfpl.H, list(Age=xv))
yv8 <- predict(SSweibull.H, list(Age=xv))
```



```

yv9 <- predict(Richards.h1,list(Age=xv))
yv10 <- predict(Richards.h2,list(Age=xv))
yv11 <- predict(Richards.h3,list(Age=xv))
yv12 <- predict(Glm1h,list(Age=xv))
plot(Head~Age,pch=21, cex = 0.4, data= Growth.head, xlab="Age des
poussins (jours)", ylab="Longueur de la tête (mm)")
lines(xv,yv1,col=1, lwd=3)
lines(xv,yv2, col=2, lwd=3)
lines(xv,yv3,col=3, lwd=3)
lines(xv,yv4, col=4, lwd=3)
lines(xv,yv5, col=5, lwd=3)
lines(xv,yv6, col=6, lwd=3)
lines(xv,yv7, col=7, lwd=3)
lines(xv,yv8, col=8, lwd=3)
lines(xv,yv9, col="orange", lwd=3)
lines(xv,yv10,col="brown", lwd=3)
lines(xv,yv11, col="darkgray", lwd=3)
lines(xv,yv12, col="navy", lwd=3)
legend(locator(1),c("SSmicmen", "SSasypOrig", "SSasyp", "SSasypOff", "SS
logis", "SSgompertz", "SSfpl", "SSweibull", "Richards-logistic", "Richards-
gompertz", "Richards-v-Bertalanffy", "GLM"),
col=c(1,2,3,4,5,6,7,8,"orange","brown","darkgray","navy"),
lty=c(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1), lwd=3) # Il suffit de cliquer sur
l'endroit désiré dans le graphe pour insérer la légende

```

5.3. Envergure

```

xv <- seq(0, 62, 0.2)
yv1 <- predict(SSmicmen.W, list(Age=xv))
yv2 <- predict(AsypOr.W, list(Age=xv))
yv3 <- predict(Asyp.W, list(Age=xv))
yv4 <- predict(AsypOff.W, list(Age=xv))
yv5 <- predict(SSlogis.W, list(Age=xv))
yv6 <- predict(SSgompertz.W, list(Age=xv))
yv7 <- predict(SSfpl.W, list(Age=xv))
yv8 <- predict(SSweibull.W, list(Age=xv))
yv9 <- predict(Richards.w1, list(Age=xv))
yv10 <- predict(Richards.w2, list(Age=xv))
yv11 <- predict(Richards.w3, list(Age=xv))
yv12 <- predict(Glm3w, list(Age=xv))
plot(Wing~Age,pch=21, cex = 0.4, data= Growth.wing, xlab="Age des
poussins (jours)", ylab="Envergure (cm)")
lines(xv,yv1,col=1, lwd=3)
lines(xv,yv2, col=2, lwd=3)
lines(xv,yv3,col=3, lwd=3)
lines(xv,yv4, col=4, lwd=3)
lines(xv,yv5, col=5, lwd=3)
lines(xv,yv6, col=6, lwd=3)
lines(xv,yv7, col=7, lwd=3)
lines(xv,yv8, col=8, lwd=3)
lines(xv,yv9, col="orange", lwd=3)
lines(xv,yv10,col="brown", lwd=3)
lines(xv,yv11, col="darkgray", lwd=3)

```

```

lines(xv,yv12, col="navy", lwd=3)
legend(locator(1),c("SSmicmen","SSasypOrig","SSasyp","SSasypOff","SS
logis","SSgompertz","SSfpl","SSweibull","Richards-logistic","Richards-
gompertz","Richards-v-Bertalanffy","GLM"),
col=c(1,2,3,4,5,6,7,8,"orange","brown","darkgray","navy"),
lty=c(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1), lwd=3) # Il suffit de cliquer sur
l'endroit désiré dans le graphe pour insérer la légende

```

5.4. Longueur du tarsométatarse

```

xv <- seq(0,62,0.2)
yv1 <- predict(SSmicmen.T,list(Age=xv))
yv2 <- predict(AsypOr.T,list(Age=xv))
yv3 <- predict(Asyp.T,list(Age=xv))
yv4 <- predict(AsypOff.T,list(Age=xv))
yv5 <- predict(SSlogis.T,list(Age=xv))
yv6 <- predict(SSgompertz.T,list(Age=xv))
yv7 <- predict(SSfpl.T,list(Age=xv))
yv8 <- predict(SSweibull.T,list(Age=xv))
yv9 <- predict(Richards.t1,list(Age=xv))
yv10 <- predict(Richards.t2,list(Age=xv))
yv11 <- predict(Richards.t3,list(Age=xv))
yv12 <- predict(Glm4t,list(Age=xv))
plot(Tars~Age,pch=21, cex = 0.4, data= Growth.tars, xlab="Age des
poussins (jours)", ylab="Longueur du tarsométatarse (mm)")
lines(xv,yv1,col=1, lwd=3)
lines(xv,yv2, col=2, lwd=3)
lines(xv,yv3,col=3, lwd=3)
lines(xv,yv4, col=4, lwd=3)
lines(xv,yv5,col=5, lwd=3)
lines(xv,yv6, col=6, lwd=3)
lines(xv,yv7,col=7, lwd=3)
lines(xv,yv8, col=8, lwd=3)
lines(xv,yv9, col="orange", lwd=3)
lines(xv,yv10,col="brown", lwd=3)
lines(xv,yv11, col="darkgray", lwd=3)
lines(xv,yv12, col="navy", lwd=3)
legend(locator(1),c("SSmicmen","SSasypOrig","SSasyp","SSasypOff","SS
logis","SSgompertz","SSfpl","SSweibull","Richards-logistic","Richards-
gompertz","Richards-v-Bertalanffy","GLM"),
col=c(1,2,3,4,5,6,7,8,"orange","brown","darkgray","navy"),
lty=c(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1), lwd=3) # Il suffit de cliquer sur
l'endroit désiré dans le graphe pour insérer la légende

```

5.5. Poids corporel

```

xv <- seq(0,62,0.2)
yv1 <- predict(SSmicmen.WT,list(Age=xv))
yv2 <- predict(AsypOr.WT,list(Age=xv))
yv3 <- predict(Asyp.WT,list(Age=xv))
yv4 <- predict(AsypOff.WT,list(Age=xv))
yv5 <- predict(SSlogis.WT,list(Age=xv))
yv6 <- predict(SSgompertz.WT,list(Age=xv))
yv7 <- predict(SSfpl.WT,list(Age=xv))

```

```

yv8 <- predict(SSweibull.WT, list(Age=xv))
yv9 <- predict(Richards.wt1, list(Age=xv))
yv10 <- predict(Richards.wt2, list(Age=xv))
yv11 <- predict(Richards.wt3, list(Age=xv))
yv12 <- predict(Glm(wt, list(Age=xv))
plot(Weight~Age, pch=21, cex = 0.4, data= Growth.weight, xlab="Age des
poussins (jours)", ylab="Poids corporel (kg)")
lines(xv, yv1, col=1, lwd=3)
lines(xv, yv2, col=2, lwd=3)
lines(xv, yv3, col=3, lwd=3)
lines(xv, yv4, col=4, lwd=3)
lines(xv, yv5, col=5, lwd=3)
lines(xv, yv6, col=6, lwd=3)
lines(xv, yv7, col=7, lwd=3)
lines(xv, yv8, col=8, lwd=3)
lines(xv, yv9, col="orange", lwd=3)
lines(xv, yv10, col="brown", lwd=3)
lines(xv, yv11, col="darkgray", lwd=3)
lines(xv, yv12, col="navy", lwd=3)
legend(locator(1), c("SSmicmen", "SSasymptOrig", "SSasympt", "SSasymptOff", "SS
logis", "SSgompertz", "SSfpl", "SSweibull", "Richards-logistic", "Richards-
gompertz", "Richards-v-Bertalanffy", "GLM"),
col=c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, "orange", "brown", "darkgray", "navy"),
lty=c(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1), lwd=3) # Il suffit de cliquer sur
l'endroit désiré dans le graphe pour insérer la légende

```

6. Tests des corrélations et dessin des matrices des corrélations

6.1. Corrélations entre les prédictions du culmen

```

mcor.B<-cor(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12))
rcorr.adjust(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12), type
="pearson", use="complete")
png("Graph-Corr-Beak1.png", width=14, height=14, units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.B, method="shade", shade.col=NA, tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()
png("Graph-Corr-Beak2.png", width=14, height=14, units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.B, method="pie", shade.col=NA, tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()

```

6.2. Corrélations entre les prédictions de la longueur de la tête

```

mcor.H<-cor(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12))
rcorr.adjust(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12),
type="pearson", use="complete")
png("Graph-Corr-Head1.png", width=14, height=14, units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.H, method="shade", shade.col=NA, tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()
png("Graph-Corr-Head2.png", width=14, height=14, units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.H, method="pie", shade.col=NA, tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()

```

6.3. Corrélations entre les prédictions de l'envergure

```

mcor.W<-cor(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12))

```

```

rcorr.adjust(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12),
type="pearson", use="complete")
png("Graph-Corr-Wing1.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.W,method="shade",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()
png("Graph-Corr-Wing2.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.W,method="pie",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()

```

6.4. Corrélations entre les prédictions du tarsométatarse

```

mcor.T<-cor(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12))
rcorr.adjust(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12),
type="pearson", use="complete")
png("Graph-Corr-Tars1.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.T,method="shade",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()
png("Graph-Corr-Tars2.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.T,method="pie",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()

```

6.5. Corrélations entre les prédictions du poids corporel

```

mcor.WT<-cor(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12))
rcorr.adjust(cbind(yv1,yv2,yv3,yv4,yv5,yv6,yv7,yv8,yv9,yv10,yv11,yv12),
type="pearson", use="complete")
png("Graph-Corr-Weight1.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.WT,method="shade",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()
png("Graph-Corr-Weight2.png",width=14,height=14,units='cm', res = 600)
corrplot(mcor.WT,method="pie",shade.col=NA,tl.col="black", tl.srt=45)
dev.off()

```

Annexe 2. Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance du culmen (longueur du bec) chez les poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna.

Paramètres	Valeur	SE	t-value	P	Sig.	AIC
Modèle Michaelis–Menten						3528.7
A	217.41	7.77	27.98	<0.001	***	
B	44.02	2.78	15.81	<0.001	***	
Régression asymptotique passant par l'origine						3557.1
A	151.04	4.37	34.58	<0.001	***	
B	-3.53	0.05	-69.91	<0.001	***	
Régression asymptotique						3342.9
A	276.12	32.32	8.54	<0.001	***	
B	19.25	1.09	17.63	<0.001	***	
C	-4.63	0.16	-28.47	<0.001	***	
Régression asymptotique avec un décalage						3342.9
A	276.12	32.32	8.54	<0.001	***	
B	-4.63	0.16	-28.47	<0.001	***	
C	-7.39	0.71	-10.37	<0.001	***	
Modèle logistique						3399.3
A	141.50	3.15	44.92	<0.001	***	
B	4.49	0.14	31.59	<0.001	***	
C	0.06	0.00	26.92	<0.001	***	
Modèle de Gompertz						3366.6
A	161.40	5.45	29.60	<0.001	***	
B	1.95	0.03	61.56	<0.001	***	
C	0.96	0.00	525.98	<0.001	***	
Modèle de Weibull						3342.2
A	1945.81	12324.65	0.16	0.875	ns	
B	1930.03	12327.20	0.16	0.876	ns	
C	-6.09	6.02	-1.01	0.312	ns	
D	0.82	0.14	5.95	<0.001	***	
Logistique à 3 paramètres (Richards)						3399.3
A	141.50	3.15	44.92	<0.001	***	
B	0.06	0.00	26.92	<0.001	***	
C	23.66	0.88	26.95	<0.001	***	
Modèle de Gompertz (Richards)						3369.7
A	158.20	5.04	31.39	<0.001	***	
B	0.04	0.00	20.41	<0.001	***	
C	18.80	1.03	18.34	<0.001	***	
Modèle de von Bertalanffy (Richards)						3357.9
A	174.42	7.31	23.87	<0.001	***	
B	0.03	0.00	16.14	<0.001	***	
C	14.97	1.11	13.43	<0.001	***	
Modèle linéaire généralisé (GLM)						3377.3
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	24.00	0.77	31.09	<0.001	***	
Age	1.93	0.03	75.18	<0.001	***	
Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)						3289.8
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	23.68	1.27	18.604	<0.001	***	
Age	1.89	0.02	80.283	<0.001	***	

Modèle additif généralisé (GAM)						3377.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	24.00	0.77	31.09	<0.001	***	
Age	1.93	0.03	75.18	<0.001	***	
GAM (Age avec smooth)						3326.6
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	72.43	0.40	180.60	<0.001	***	
s(Age)	edf	Ref.df	F			
	6.09	7.23	889.80	<0.001	***	
Modèle additif généralisé mixte (GAMM)						3286.2
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	23.68	1.26	18.81	<0.001	***	
Age	1.89	0.02	80.24	<0.001	***	
GAMM (Age avec smooth)						3243.4
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	70.71	1.09	64.91	<0.001	***	
s(Age)	edf	Ref.df	F			
	4.14	4.14	1779.00	<0.001	***	

A, B, C, D : paramètres des modèles de croissance, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, *t*-value : valeur de *t*, *P* : probabilité, Sig. : codes de signification, *** : $P < 0.0001$, ns : $P > 0.05$, edf : degrés de liberté estimés, Ref.df : degrés de liberté de référence.

Annexe 3. Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de la longueur de la tête des poussins de la Cigogne blanche dans la région de Batna.

Paramètres	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>	Sig.	AIC
Modèle Michaelis–Menten						5048.5
A	318.36	8.49	37.49	<0.001	***	
B	28.47	1.55	18.32	<0.001	***	
Régression asymptotique passant par l'origine						5095.9
A	234.51	4.89	47.99	<0.001	***	
B	-3.20	0.04	-76.45	<0.001	***	
Régression asymptotique						4711.9
A	401.46	33.32	12.05	<0.001	***	
B	42.77	1.70	25.17	<0.001	***	
C	-4.37	0.13	-34.21	<0.001	***	
Régression asymptotique avec un décalage						4711.9
A	401.46	33.32	12.05	<0.001	***	
B	-4.37	0.13	-34.21	<0.001	***	
C	-8.93	0.71	-12.65	<0.001	***	
Modèle logistique						4714.9
A	239.10	4.16	57.43	<0.001	***	
B	3.71	0.10	38.32	<0.001	***	
C	0.07	0.00	30.32	<0.001	***	
Modèle de Gompertz						4704.4
A	268.30	7.28	36.84	<0.001	***	
B	1.74	0.03	69.19	<0.001	***	
C	0.96	0.00	546.62	<0.001	***	

Modèle logistique à 4 paramètres						4707.9
A	-87.72	61.15	-1.44	0.152	ns	
B	266.81	17.19	15.52	<0.001	***	
C	11.53	6.19	1.87	0.063	ns	
D	23.03	4.79	4.81	<0.001	***	
Modèle de Weibull						4703.7
A	272.51	18.92	14.40	<0.001	***	
B	222.68	20.45	10.89	<0.001	***	
C	-4.80	0.22	-22.13	<0.001	***	
D	1.29	0.09	14.21	<0.001	***	
Logistique à 3 paramètres (Richards)						4714.9
A	239.10	4.16	57.43	<0.001	***	
B	0.07	0.00	30.32	<0.001	***	
C	19.82	0.68	29.26	<0.001	***	
Modèle de Gompertz (Richards)						4704.8
A	263.80	6.74	39.14	<0.001	***	
B	0.04	0.00	22.62	<0.001	***	
C	14.85	0.78	19.11	<0.001	***	
Modèle de von Bertalanffy (Richards)						4704.4
A	286.30	9.64	29.70	<0.001	***	
B	0.03	0.00	17.92	<0.001	***	
C	10.91	0.81	13.49	<0.001	***	
Modèle linéaire généralisé (GLM)						4773.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	52.32	1.19	43.79	<0.001	***	
Age	3.26	0.04	76.41	<0.001	***	
Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)						4658.5
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	51.46	1.92	26.868	<0.001	***	
Age	3.22	0.04	85.856	<0.001	***	
Modèle additif généralisé (GAM)						4773.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	52.32	1.19	43.79	<0.001	***	
Age	3.26	0.04	76.41	<0.001	***	
GAM (Age avec smooth)						4684.0
	Valeur	4656.7	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	126.05	4569.2	194.60	<0.001	***	
	edf	Ref.df	F			
s(Age)	6.53	7.63	918.60	<0.001	***	
Modèle additif généralisé mixte (GAMM)						4656.7
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	51.46	1.90	27.11	<0.001	***	
Age	3.22	0.04	85.81	<0.001	***	
GAMM (Age avec smooth)						4569.2
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	124.10	1.69	73.40	<0.001	***	
	edf	Ref.df	F			
s(Age)	5.38	5.38	1688.00	<0.001	***	

A, B, C, D : paramètres des modèles de croissance, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, *t*-value : valeur de *t*, *P* : probabilité, Sig. : codes de signification, *** : $P < 0.0001$, ns : $P > 0.05$, edf : degrés de liberté estimés, Ref.df : degrés de liberté de référence.

Annexe 4. Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de l'envergure chez les poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna.

Paramètres	Valeur	SE	t-value	P	Sig.	AIC
Modèle Michaelis–Menten						4566.1
A	2145.10	548.10	3.91	<0.001	***	
B	565.70	155.10	3.65	<0.001	***	
Régression asymptotique passant par l'origine						4565.5
A	1083.30	255.69	4.24	<0.001	***	
B	-5.65	0.25	-22.26	<0.001	***	
Régression asymptotique						4567.5
A	1057.21	331.02	3.19	0.001	**	
B	-0.17	1.40	-0.12	0.903	ns	
C	-5.63	0.35	-16.30	<0.001	***	
Régression asymptotique avec un décalage						4567.5
A	1057.21	331.02	3.19	0.001	**	
B	-5.63	0.35	-16.30	<0.001	***	
C	0.04	0.37	0.12	0.903	ns	
Modèle logistique						4521.8
A	364.44	30.58	11.92	<0.001	***	
B	3.97	0.11	35.41	<0.001	***	
C	0.70	0.03	24.29	<0.001	***	
Modèle de Gompertz						4409.6
A	223.40	4.26	52.38	<0.001	***	
B	3.34	0.07	50.39	<0.001	***	
C	0.95	0.00	622.42	<0.001	***	
Modèle logistique à 4 paramètres						4395.5
A	-3.71	3.35	-1.11	0.269	ns	
B	195.40	3.02	64.79	<0.001	***	
C	26.31	0.41	64.77	<0.001	***	
D	10.57	0.53	19.82	<0.001	***	
Modèle de Weibull						4383.3
A	196.22	3.63	54.02	<0.001	***	
B	180.85	4.17	43.38	<0.001	***	
C	-7.18	0.22	-33.03	<0.001	***	
D	2.04	0.07	29.23	<0.001	***	
Logistique à 3 paramètres (Richards)						4394.9
A	193.10	2.16	89.56	<0.001	***	
B	0.10	0.00	44.49	<0.001	***	
C	26.48	0.35	76.52	<0.001	***	
Modèle de Gompertz (Richards)						4402.8
A	217.80	3.82	57.02	<0.001	***	
B	0.06	0.00	34.62	<0.001	***	
C	23.35	0.45	51.43	<0.001	***	
Modèle de von Bertalanffy (Richards)						4439.9
A	249.10	6.62	37.64	<0.001	***	
B	0.04	0.00	26.03	<0.001	***	
C	21.19	0.60	35.11	<0.001	***	

Modèle linéaire généralisé (GLM)						4575.2
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	2.69	0.99	2.72	0.007	**	
Age	3.45	0.03	99.74	<0.001	***	
Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)						4512.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	2.40	1.47	1.628	0.104	ns	
Age	3.42	0.03	106.566	<0.001	***	
Modèle additif généralisé (GAM)						4575.2
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	2.69	0.99	2.72	0.007	**	
Age	3.45	0.03	99.74	<0.001	***	
GAM (Age avec smooth)						4368.7
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	82.10	0.49	169.10	<0.001	***	
s(Age)	edf	Ref.df	F			
	7.28	8.26	1787.00	<0.001	***	
Modèle additif généralisé mixte (GAMM)						4509.6
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	2.40	1.46	1.64	0.101	ns	
Age	3.42	0.03	106.52	<0.001	***	
GAMM (Age avec smooth)						4277.0
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	80.90	1.24	65.33	<0.001	***	
s(Age)	edf	Ref.df	F			
	7.27	7.27	2569.00	<0.001	***	

A, B, C, D : paramètres des modèles de croissance, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, *t*-value : valeur de *t*, *P* : probabilité, Sig. : codes de signification, *** : $P < 0.001$, ** : $P < 0.01$, ns : $P > 0.05$, edf : degrés de liberté estimés, Ref.df : degrés de liberté de référence.

Annexe 5. Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance de la longueur du tarsométatarse des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna.

Paramètres	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>	Sig.	AIC
Modèle Michaelis–Menten						4949.4
A	676.00	37.29	18.13	<0.001	***	
B	96.00	7.31	13.14	<0.001	***	
Régression asymptotique passant par l'origine						4943.0
A	399.52	17.73	22.53	<0.001	***	
B	-4.06	0.06	-65.25	<0.001	***	
Régression asymptotique						4927.6
A	466.04	36.15	12.89	<0.001	***	
B	8.52	2.08	4.10	<0.001	***	
C	-4.31	0.11	-38.93	<0.001	***	
Régression asymptotique avec un décalage						4927.6
A	466.04	36.15	12.89	<0.001	***	
B	-4.31	0.11	-38.93	<0.001	***	
C	-1.38	0.38	-3.65	<0.001	***	

	Modèle logistique					4950.6
A	584.85	81.15	7.21	<0.001	***	
B	4.31	0.23	18.56	<0.001	***	
C	0.95	0.05	20.18	<0.001	***	
	Modèle de Gompertz					4822.6
A	272.10	4.84	56.24	<0.001	***	
B	2.69	0.05	50.99	<0.001	***	
C	0.95	0.00	541.27	<0.001	***	
	Modèle logistique à 4 paramètres					4806.4
A	-1.18	6.25	-0.19	0.850	ns	
B	245.31	3.66	67.10	<0.001	***	
C	21.96	0.54	40.40	<0.001	***	
D	10.21	0.61	16.65	<0.001	***	
	Modèle de Weibull					4798.8
A	245.71	4.16	59.03	<0.001	***	
B	216.01	5.09	42.47	<0.001	***	
C	-6.41	0.23	-27.57	<0.001	***	
D	1.89	0.08	25.08	<0.001	***	
	Logistique à 3 paramètres (Richards)					4804.4
A	244.80	2.79	87.65	<0.001	***	
B	0.10	0.00	39.76	<0.001	***	
C	22.03	0.36	61.40	<0.001	***	
	Modèle de Gompertz (Richards)					4817.4
A	267.50	4.45	60.13	<0.001	***	
B	0.06	0.00	31.81	<0.001	***	
C	18.21	0.42	43.55	<0.001	***	
	Modèle de von Bertalanffy (Richards)					4843.9
A	291.50	6.67	43.74	<0.001	***	
B	0.04	0.00	25.43	<0.001	***	
C	15.27	0.47	32.53	<0.001	***	
	Modèle linéaire généralisé (GLM)					5017.1
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	22.10	1.49	14.84	<0.001	***	
Age	4.32	0.05	81.12	<0.001	***	
	Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)					4965.3
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	21.76	2.12	10.268	<0.001	***	
Age	4.28	0.05	85.364	<0.001	***	
	Modèle additif généralisé (GAM)					5017.1
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	22.10	1.49	14.84	<0.001	***	
Age	4.32	0.05	81.12	<0.001	***	
	GAM (Age avec smooth)					4788.4
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	119.37	0.72	166.70	<0.001	***	
	edf	Ref.df	F			
s(Age)	7.51	8.42	1223.00	<0.001	***	
	Modèle additif généralisé mixte (GAMM)					4964.2
	Valeur	SE	t-value	P		
Intercept	21.76	2.10	10.36	<0.001	***	
Age	4.28	0.05	85.33	<0.001	***	

GAMM (Age avec smooth)					4719.7
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>	
Intercept	117.80	1.68	70.30	<0.001	***
	edf	Ref.df	F		
s(Age)	6.77	6.77	1811.00	<0.001	***

A, B, C, D : paramètres des modèles de croissance, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, *t*-value : valeur de *t*, *P* : probabilité, Sig. : codes de signification, *** : $P < 0.001$, ns : $P > 0.05$, edf : degrés de liberté estimés, Ref.df : degrés de liberté de référence.

Annexe 6. Résumés des modèles et paramétrisation des fonctions asymptotiques et sigmoïdes utilisées pour la modélisation des paramètres de la croissance du poids corporel des poussins de la Cigogne blanche nichant dans la région de Batna.

Paramètres	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>	Sig.	AIC
Modèle Michaelis–Menten						558.3
A	28.68	5.82	4.93	<0.001	***	
B	330.26	75.04	4.40	<0.001	***	
Régression asymptotique passant par l'origine						556.9
A	14.69	2.63	5.58	<0.001	***	
B	-5.13	0.20	-25.35	<0.001	***	
Régression asymptotique						508.2
A	8.14	0.73	11.22	<0.001	***	
B	-0.28	0.04	-6.91	<0.001	***	
C	-4.34	0.12	-36.16	<0.001	***	
Régression asymptotique avec un décalage						508.2
A	8.14	0.73	11.22	<0.001	***	
B	-4.34	0.12	-36.16	<0.001	***	
C	2.57	0.30	8.60	<0.001	***	
Modèle logistique						413.2
A	4.92	0.18	26.92	<0.001	***	
B	3.35	0.04	75.99	<0.001	***	
C	0.50	0.02	22.90	<0.001	***	
Modèle de Gompertz						405.8
A	4.13	0.07	59.74	<0.001	***	
B	4.17	0.16	25.45	<0.001	***	
C	0.93	0.00	377.24	<0.001	***	
Modèle logistique à 4 paramètres						422.3
A	-0.52	0.13	-3.85	<0.001	***	
B	4.00	0.07	53.45	<0.001	***	
C	21.60	0.63	34.38	<0.001	***	
D	10.45	0.71	14.75	<0.001	***	
Modèle de Weibull						413.8
A	4.04	0.09	44.98	<0.001	***	
B	3.95	0.11	36.27	<0.001	***	
C	-6.23	0.25	-24.87	<0.001	***	
D	1.83	0.08	22.36	<0.001	***	

	Logistique à 3 paramètres (Richards)					449.1
A	3.78	0.05	83.30	<0.001	***	
B	0.13	0.00	32.18	<0.001	***	
C	23.15	0.33	70.67	<0.001	***	
	Modèle de Gompertz (Richards)					407.3
A	4.07	0.06	63.10	<0.001	***	
B	0.08	0.00	28.59	<0.001	***	
C	19.94	0.34	57.95	<0.001	***	
	Modèle de von Bertalanffy (Richards)					409.5
A	4.38	0.09	48.07	<0.001	***	
B	0.06	0.00	24.36	<0.001	***	
C	17.44	0.36	47.99	<0.001	***	
	Modèle linéaire généralisé (GLM)					583.7
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	-0.04	0.03	-1.25	0.211	ns	
Age	0.08	0.00	77.58	<0.001	***	
	Modèle linéaire généralisé mixte (GLMM)					574.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	-0.05	0.04	-1.203	0.229	ns	
Age	0.08	0.00	79.142	<0.001	***	
	Modèle additif généralisé (GAM)					583.7
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	-0.04	0.03	-1.25	0.211	ns	
Age	0.08	0.00	77.58	<0.001	***	
	GAM (Age avec smooth)					384.0
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	1.75	0.01	125.50	<0.001	***	
	edf	Ref.df	F			
s(Age)	6.50	7.61	1160.00	<0.001	***	
	Modèle additif généralisé mixte (GAMM)					557.3
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	-0.05	0.04	-1.21	0.225	ns	
Age	0.08	0.00	79.12	<0.001	***	
	GAMM (Age avec smooth)					356.2
	Valeur	SE	<i>t</i> -value	<i>P</i>		
Intercept	1.71	0.03	56.04	<0.001	***	
	edf	Ref.df	F			
s(Age)	6.98	6.98	1380.00	<0.001	***	

A, B, C, D : paramètres des modèles de croissance, AIC : critère d'information d'Akaike, SE : erreur standard, *t*-value : valeur de *t*, *P* : probabilité, Sig. : codes de signification, *** : $P < 0.001$, ns : $P > 0.05$, edf : degrés de liberté estimés, Ref.df : degrés de liberté de référence.

Annexe 7. Liste systématique des espèces-proies identifiées dans le régime alimentaire de la Cigogne blanche nicheuse dans le nord-est de l'Algérie suite à l'analyse des pelotes de rejection

CLASSE : Ordre		Caractéristiques du régime alimentaire				
Famille	Espèce-proie	<i>N</i> (ind.)	<i>PF</i> (%)	<i>B</i> (%)	<i>Occ</i> (%)	Éch.
GASTEROPODA : Stylommatophora						
Helicidae	<i>Helix</i> sp.	5	0,23	1,43	5,75	VA
ARACHNIDA : Araneae						
Araneidae ind.	Araneidae indéterminée	11	0,51	0,01	12,64	AC
ARACHNIDA : Scorpionida						
Buthidae	<i>Buthus occitanus</i>	5	0,23	2,15	3,45	VA
INSECTA : Dermaptera						
Anisolabididae	<i>Anisolabis mauritanicus</i>	162	7,58	0,10	35,63	CM
Labiduridae	<i>Labidura riparia</i>	7	0,33	0,01	6,90	VA
Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i>	11	0,51	0,01	8,05	VA
	Forficulidae indéterminée 1	6	0,28	<0,01	3,45	VA
	Forficulidae indéterminée 2	2	0,09	<0,01	2,30	VA
INSECTA : Blattodea						
Blattidae	<i>Blatta</i> sp.	2	0,09	<0,01	1,15	VA
INSECTA : Orthoptera						
Tettigoniidae	<i>Decticus</i> sp.	8	0,37	0,23	2,30	VA
Pamphagidae	<i>Pamphagus</i> sp.	44	2,06	2,52	17,24	AC
Gryllotalpidae	<i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>	2	0,09	0,09	2,30	VA
Gryllidae	<i>Gryllus bimaculatus</i>	15	0,70	0,15	8,05	VA
	<i>Gryllus</i> sp.	4	0,19	0,04	3,45	VA
INSECTA : Heteroptera						
Lygaeidae	<i>Lygaeus</i> sp.	7	0,33	0,01	2,30	VA
INSECTA : Coleoptera						
Carabidae	<i>Carabus</i> sp.	11	0,51	0,05	5,75	VA
	<i>Zabrus</i> sp.	2	0,09	0,01	2,30	VA
	<i>Macrothorax morbillosus</i>	22	1,03	0,09	10,34	VA
	<i>Scarites</i> sp.	5	0,23	0,02	2,30	VA
	<i>Calosoma</i> sp.	2	0,09	0,01	2,30	VA
	<i>Feronia</i> sp.	10	0,47	0,04	8,05	VA
	<i>Chlaenius</i> sp.	65	3,04	0,27	32,18	CM
	<i>Campalita</i> sp.	39	1,82	0,16	32,18	CM
	<i>Acinopus</i> sp.	319	14,92	1,32	43,68	CM
	<i>Licinus</i> sp.	1	0,05	<0,01	1,15	VA
Harpalidae	<i>Harpalus</i> sp.	4	0,19	0,01	3,45	VA
	Harpalidae indéterminée	4	0,19	0,01	2,30	VA
Apionidae	<i>Apion</i> sp.	12	0,56	0,02	9,20	VA
Silphidae	<i>Silpha opaca</i>	5	0,23	0,01	3,45	VA
	<i>Silpha</i> sp.	135	6,31	0,39	47,13	CM
	Silphidae indéterminée	39	1,82	0,11	5,75	VA

Staphylinidae	<i>Staphylinus</i> sp.	25	1,17	0,02	14,94	AC
Buprestidae	<i>Chrysobothris</i> sp.	60	2,81	0,17	16,09	AC
Geotrupidae	<i>Geotrupes</i> sp.	303	14,17	1,74	67,82	CN
Elateridae	<i>Athous</i> sp.	1	0,05	<0,01	1,15	VA
Scarabaeidae	<i>Scarabaeus sacer</i>	8	0,37	0,06	9,20	VA
	<i>Rhizotrogus</i> sp.	45	2,10	0,32	25,29	CM
	<i>Onthophagus</i> sp.	26	1,22	0,19	13,79	AC
	<i>Gymnopleurus</i> sp.	5	0,23	0,04	3,45	VA
	<i>Oryctes</i> sp.	3	0,14	0,02	3,45	VA
	<i>Aphodius</i> sp.	80	3,74	0,57	26,44	CM
	<i>Bubas</i> sp.	15	0,70	0,11	11,49	VA
	<i>Aethiessa floralis</i>	15	0,70	0,11	12,64	AC
	<i>Oxythyrea funesta</i>	105	4,91	0,44	35,63	CM
	Curculionidae	<i>Larinus</i> sp.	32	1,50	0,05	19,54
<i>Brachycerus</i> sp.		93	4,35	0,01	21,84	AC
Cerambycidae	<i>Clytus</i> sp.	27	1,26	0,08	13,79	AC
Tenebrionidae	<i>Pimelia</i> sp.	171	8,00	0,98	37,93	CM
	<i>Blaps</i> sp.	27	1,26	0,19	16,09	AC
	<i>Timarcha</i> sp.	12	0,56	0,09	6,90	VA
INSECTA : Hymenoptera						
Formicidae	<i>Messor barbara</i>	7	0,33	<0,01	6,90	VA
AMPHIBIA : Anura						
Ranidae	<i>Pelophylax saharicus</i>	4	0,19	1,55	4,60	VA
REPTILIA : Testudines						
Geoemydidae	<i>Mauremys leprosa</i>	1	0,05	0,86	1,15	VA
AVES : Galliformes						
Gallidae	Restes de volailles	60	2,81	68,74	68,97	CN
MAMMALIA : Rodentia						
Muridae	<i>Apodemus sylvaticus</i>	3	0,14	0,99	3,45	VA
	<i>Apodemus</i> sp.	1	0,05	0,33	1,15	VA
	<i>Mus musculus</i>	5	0,23	0,57	5,75	VA
	<i>Mus spretus</i>	14	0,65	2,00	16,09	AC
	<i>Rattus norvegicus</i>	5	0,23	2,00	5,75	VA
	<i>Rattus</i> sp.	12	0,56	5,71	13,79	AC
	<i>Meriones shawi</i>	7	0,33	2,81	8,05	VA

N : nombre d'individus, ind. : individus, *PF* : fréquence des proies, *B* : biomasse, *Occ* : fréquence d'occurrence, Échelle d'occurrence 'Éch.' : AC : accidentelle, CM : commune, CN : constante, VA : très accidentelle

Annexe 8. Caractéristiques climatiques et socio-économiques des sites des colonies de la Cigogne blanche dans la Wilaya de Batna, Nord-est algérien

Caractéristiques et paramètres		Colonies de la Cigogne blanche étudiées						
		Merouana	Oued El Ma K'sar Belezma	Seriana	Ferne Riche	Bouachaoune	Chemora	N'Gouas
Localisation et population								
Latitude (Nord)	35°41'39''	35°38'38''	35°40'31''	35°37'54''	35°40'04''	35°37'54''	35°37'22''	35°33'30''
Longitude (Est)	6°11'02''	5°59'44''	5°08'81''	5°54'42''	6°22'23''	6°20'39''	6°17'32''	5°36'44''
Altitude (m)	931	1034	906	990	862	872	930	752
Surface (km ²)	76,5	139,3	89,9	176,3	14,8	17,3	262,7	81,8
Population (habitants)	41125	15434	9471	17087	2931	3412	20369	31920
Variables climatiques								
Quotient radiatif de sécheresse de Budyko	2,93	2,94	2,91	2,88	3,49	3,69	3,48	3,86
Évaporation de Budyko (%)	95,9	95,9	95,8	96,1	97,5	97,7	97,5	98,2
Ruissellement de Budyko (%)	4,1	4,1	4,2	3,7	2,5	2,2	2,5	1,8
Indice d'aridité	0,38	0,38	0,38	0,34	0,34	0,31	0,34	0,29
Indice d'aridité De Martonne	19	19	19	17	15	14	15	14
Déficit des précipitations (mm/an)	688	688	688	704	696	724	696	790
Indice de continentalité de Gorczynski	37,4	37,1	37,2	36,3	28,6	30,4	28,3	40,4
Données agricoles (surfaces)								
Surfaces agricoles totales (ha)	6000	4545	8600	12000	957	1113	17725	4800
Surfaces agricoles utiles (ha)	5291	3837	8504	7602	794	924	16098	4659
Surfaces agricoles irriguées (ha)	340	542	770	1709	15	17	240	695
Parcours (ha)	290	426	70	1298	141	164	1000	141
Champs de céréales (ha)	2850	3130	3142	4400	430	501	4630	700
Cultures fourragères (ha)	277	276	484	1950	86	100	3250	500
Cultures maraichères (ha)	221	171	356	517	2	2	18	23
Cultures industrielles (ha)	10	30	60	0	0	0	0	0
Arboriculture (ha)	59	31	34	36	33	38	115	545
Données d'élevage								
Aviculture de chair (effectif)	641760	362910	119800	143240	8090	9410	586160	417170
Aviculture ponte (effectif)	523070	199750	371960	18870	1330	1540	58370	47280
Ovins (têtes)	11700	8287	14240	11890	886	1031	17000	13805
Caprins (têtes)	3528	3467	3202	3050	40	47	5400	4950
Bovins (têtes)	2218	2563	2571	1758	103	119	700	358
Apiculture (ruches pleines)	60	57	40	300	66	77	600	584