

Activité chiroptérologique en carrière : analyse et comparaison

Marion PARISOT-LAPRUN¹ & Christian KERBIRIOU²

Résumé

Si l'extraction des matériaux est une activité impactant significativement la biodiversité, la réhabilitation des carrières à vocation écologique au terme de l'exploitation peut potentiellement conduire à la création de nouveaux milieux d'intérêt. Le programme ROSELIÈRE a été mis en œuvre depuis 2006, sur désormais près de 40 sites, avec pour objectif d'étudier la recolonisation des carrières par différents groupes taxonomiques, pendant et après exploitation. Les dynamiques de la biodiversité sur ces sites étant en partie liées aux dynamiques plus globales (augmentation ou déclin d'espèces à large échelle), une attention particulière a été accordée au choix de protocoles standardisés compatibles avec ceux de programmes nationaux. Concernant les chiroptères, la compatibilité avec le protocole Vigie Chiro du Muséum National d'Histoire Naturelle permet de réaliser des comparaisons entre carrières et d'autres types de milieux. Des analyses peuvent ainsi être réalisées afin d'évaluer le potentiel d'accueil des carrières en termes d'activité de chasse et d'identifier les facteurs prépondérants : variables locales et paysagères, nombre d'années après arrêt de l'exploitation.... Les résultats préliminaires montrent par exemple pour la pipistrelle commune que les activités de chasse sont relativement faibles au début de l'exploitation mais augmentent au fil du temps écoulé depuis le réaménagement. Le niveau d'activité devient alors comparable à celui de milieux semi-naturels tels que prairies, landes ou mares. En outre, l'augmentation de l'activité en parallèle du vieillissement des milieux se confirme pour la quasi-totalité des espèces contactées.

Mots-clés : chauves-souris, exploitation de matériaux, Vigie Chiro, suivi, ultrasons.

Bat activity in quarries : analyse and comparison

Abstract

Mining is an activity significantly impacting biodiversity, however, ecologically oriented rehabilitation of quarries after exploitation can potentially lead to the creation of habitats of interest. ROSELIÈRE program has been developed since 2006, on nearly 40 sites. Its aim is the study of the quarries' recolonization by different taxonomic groups, during and after exploitation. As dynamics of biodiversity on those sites are partially related to broader ones (increase or decline of populations on a larger scale), a particular attention has been given to the choice of standardized protocols compatible with those of national programs. Regarding bats, compatibility with the National Museum of Natural History's Vigie Chiro method allows comparisons between quarries and other habitats. Analyses can be conducted to evaluate the quarries' harboring potential in terms of foraging activity and to identify the leading factors: local or landscape variables, time since the end of exploitation... Preliminary results show that common pipistrelle's foraging activity is relatively low during the first stage of quarry's restoration but increases after the cessation of quarrying. Then the activity level becomes similar to those of semi-natural habitats such as meadows, heathlands or ponds. Moreover, increasing activity related to aging of habitats is confirmed for almost all species recorded.

Key words : bats, quarrying activity, Vigie Chiro, monitoring, ultrasounds.

- ¹ Association des naturalistes de la vallée du Loing et du massif de Fontainebleau (ANVL)
Route de la Tour Denecourt - 77300 Fontainebleau - roseliere@anvl.fr
² CESCO Centre des Sciences de la Conservation (UMR-7204, CNRS-MNHN-UPMC)
Muséum National d'Histoire Naturelle - 55 rue Buffon - 75005 Paris, France - kerbiriou@mnhn.fr

Introduction

Les milieux, espèces et paysages sont inévitablement impactés localement par l'installation d'une exploitation de matériaux : la structure du paysage et les continuités écologiques peuvent être atteintes (JOMAA *et al.*, 2008), le substrat peut être profondément modifié (STEHOUWER *et al.*, 2006), d'importantes destructions d'habitat naturel peuvent survenir (KHATER *et al.*, 2003 ; DARWISH *et al.*, 2011). Cependant, contrairement à la plupart des activités industrielles, celle-ci est temporaire et une fois terminée, les sites réaménagés peuvent offrir des opportunités en termes d'accueil de la biodiversité, en fonction de la vocation qui leur est attribuée. Un panel de réaménagements existe, allant de la remise en état agricole à la création d'une réserve naturelle, en passant par les bases de loisirs et les exploitations forestières. Depuis quelques dizaines d'années,

la tendance est toutefois de plus en plus tournée vers les réaménagements dits « à vocation écologique » (DASNIAS, 2002 ; DRIRE *et al.*, 2008), visant à optimiser l'accueil de la faune et de la flore. Les sites réaménagés sont alors susceptibles de devenir des espaces favorables à la présence d'une biodiversité diversifiée.

La recolonisation des carrières post exploitation est encore relativement méconnue. La plupart des études portent sur la restauration des sols (YUAN *et al.*, 2006 ; ZHANG & CHU 2013a ; ZHANG & CHU 2013b) ou de la végétation (KHATER *et al.*, 2003 ; SOLIVERES *et al.*, 2012). D'une manière générale, peu d'études ont été réalisées sur les successions primaires en milieu industriel (NOVÁK & KONVIČKA, 2006) et celles comportant une approche multi-taxons sont encore moins nombreuses (TROPEK *et al.*, 2010). Des études concernent tout de même plusieurs groupes taxonomiques et tendent globalement à démontrer que les anciennes carrières étudiées accueillent bien souvent une faune (DEKONINCK *et al.*, 2010 ; KRAUSS *et al.*, 2009 ; TROPEK & KONVIČKA, 2008 ; BENEŠ *et al.*, 2003 ; BRÄNDLE *et al.*, 2000 ; ŠÁLEK, 2012) et une flore (DAVIS, 1979 ; NOVÁK & KONVIČKA, 2006 ; PRACH *et al.*, 2011) riches et diversifiées, voire patrimoniales (TROPEK & KONVIČKA, 2008). Ces études mettent également en évidence le fait que la colonisation des carrières dépend des conditions abiotiques existant sur les sites (PRACH *et al.*, 2013), des habitats présents (BRÄNDLE *et al.*, 2000 ; DEKONINCK *et al.*, 2010) et de la gestion qui en est faite, mais est aussi souvent influencée par les milieux environnants (BENEŠ *et al.*, 2003 ; NOVÁK & KONVIČKA, 2006 ; NOVÁK & PRACH, 2009). La plupart de ces études mettent en avant le fait que les carrières, si leur réaménagement est bien mené, peuvent contribuer à la conservation de la biodiversité en constituant des refuges et habitats secondaires pour de nombreuses espèces, dont des espèces patrimoniales, pour lesquelles certains habitats « naturels » sont en forte régression (KRAUSS *et al.*, 2009 ; BENEŠ *et al.*, 2003 ; PRACH *et al.*, 2011). Ce potentiel est de fait un point important à considérer dans les plans de protection de la biodiversité afin de prendre en compte la contribution de ce secteur d'activités à la conservation des habitats et des espèces, comme cela est par exemple d'ores et déjà le cas au Royaume Uni depuis les années 90 (BATE *et al.*, 1998). La définition nationale et locale des facteurs permettant de maximiser les capacités d'accueil des espèces autorisera la valorisation optimale de ces espaces issus d'une activité industrielle et leur reconversion en milieux semi-naturels de substitution.

Dans l'objectif de proposer une évaluation des trajectoires des dynamiques de biodiversité sur ces sites, le programme ROSELIÈRE a été développé. Celui-ci vise à récolter des données standardisées, sur un grand nombre de carrières à l'échelle nationale, afin d'identifier les facteurs locaux intrinsèques (type de carrières, aménagements réalisés, gestion des milieux...) régissant leur colonisation par différents taxons. Ce programme doit également permettre de mieux appréhender l'influence de facteurs extérieurs aux sites (matrice paysagère, dynamiques à larges échelles des espèces sous l'influence de changements globaux...). Son développement a débuté en 2006 et se fait dans le cadre de partenariats avec les exploitants et leurs regroupements (Union Nationale des Producteurs de Granulats et Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de construction d'Île-de-France). Une phase de test sur des sites pilotes a dans un premier temps permis de définir les protocoles les plus adaptés et de calibrer et d'évaluer la pertinence des outils. La méthode est appliquée depuis 2009 sur une quarantaine de sites, grâce à la participation de près d'une vingtaine de partenaires naturalistes (associations, scientifiques, bureaux d'études). Les données sont ensuite analysées localement pour le suivi interne de chaque site et à l'échelle nationale pour permettre un partage des résultats et des enseignements qui peuvent en être tirés. Les protocoles concernent actuellement 12 groupes taxonomiques (végétaux terrestres et aquatiques, dont characées, oiseaux, amphibiens, reptiles, rhopalocères, odonates, orthoptères, invertébrés aquatiques, carabes, araignées, chiroptères). Les seuls représentants du groupe des mammifères suivis par le programme ROSELIÈRE sont les chiroptères. Ce groupe taxonomique a été sélectionné du fait de son fort intérêt patrimonial, toutes les espèces étant protégées et plus d'un tiers des espèces françaises étant inscrites à l'annexe II de la Directive Habitats ou possédant un statut de conservation défavorable (NT, quasi-menacé, à CR, en danger critique) (UICN FRANCE *et al.*, 2009). À cela s'ajoute le fait qu'il existe des méthodes de suivi standardisées et scientifiquement reconnues (STAHLSCHEIDT & BRÜHL, 2012), relativement faciles à mettre en œuvre.

Une analyse du jeu de données récoltées ces cinq dernières années permet l'identification des facteurs influençant leur présence sur les sites et une meilleure compréhension du rôle joué par les carrières en termes d'accueil de ces espèces. Étant donné que la dynamique des populations est au moins partiellement dépendante de facteurs intervenant à une échelle plus globale (régionale ou nationale), le choix de protocoles compatibles avec des méthodes utilisées sur des territoires plus vastes a fait l'objet d'une attention particulière. En effet, le suivi des espèces au sein des carrières est un objectif en soit mais une mise en relation et une comparaison des résultats obtenus à ceux récoltés sur d'autres types de sites, dans d'autres contextes, sont nécessaires pour une bonne compréhension des tendances observées. Ainsi, pour les chiroptères, un protocole compatible à l'un de ceux utilisés dans le cadre du programme Vigie Chiro mené par le Muséum National d'Histoire Naturelle a été sélectionné (KERBIRIOU *et al.*, 2014) et autorise la comparaison d'un « milieu ou usage du sol particulier » (ici les carrières) à un échantillonnage d'autres milieux naturels (VANDELDELDE *et al.*, 2014), représentatif à l'échelle nationale, tout en prenant en compte l'effet de tendances à large échelle.

Matériels et méthode

Périmètre de l'étude et sites étudiés

Le suivi de l'ensemble des taxons visés par le programme ROSELIERE n'étant pas obligatoire, l'intégralité des sites n'applique pas systématiquement le protocole chiroptères, ce qui réduit le nombre de carrières sur lesquelles sont récoltées des données pour ce groupe. Dans un souci d'homogénéité, seules les exploitations de granulats alluvionnaires ont été sélectionnées pour l'analyse des données. Ces carrières aboutissent généralement à la création d'un plan d'eau et d'espaces à dominante prairiale ou boisée, tandis que les exploitations de roche massive possèdent des caractéristiques écologiques (présence d'un front de taille, moindre représentation des plans d'eau de grande surface, proportion de milieux pionniers plus importante) qui diffèrent fortement de celles des sites alluvionnaires. 23 carrières ont donc été sélectionnées pour l'analyse. La zone originelle de lancement du programme concentre une part importante des sites : il s'agit de la Bassée, plaine alluviale de la Seine amont, située à cheval sur le sud seine-et-marnais, l'ouest aubois et le nord de l'Yonne. Quatre sites s'ajoutent à ce réseau : l'un situé en Isère, l'autre en Gironde et les deux derniers dans la Loire. Ainsi, 18 sites sont situés en région biogéographique atlantique et 5 en région continentale (carte 1).

L'un des intérêts du programme est de pouvoir s'appliquer à tous les stades de vie de l'exploitation : avant installation de la carrière, en parallèle de l'activité d'exploitation, dans les premières phases de la colonisation du site et enfin sur des milieux plus matures âgés de plusieurs dizaines d'années après le réaménagement. Cet atout permet le suivi de l'ensemble des successions tout au long de la vie des projets. En raison de l'obligation de réaliser un réaménagement coordonné à l'exploitation, les différents stades peuvent cohabiter au sein d'un même site. Ainsi, le stade d'exploitation est relevé au niveau de chaque point de suivi selon la typologie suivante : avant exploitation (« avant »), en cours d'exploitation ou de réaménagement (« en cours »), moins de 5 ans après la dernière perturbation (« inférieur à 5 »), plus de 5 ans après (« supérieur à 5 ») et plus de 10 ans après (« supérieur à 10 »). Les données ont été collectées sur 21 points au stade « avant », 20 au stade « en cours », 20 « inférieur à 5 », 35 « supérieur à 5 » et 52 « supérieur à 10 ».

Le réseau d'observateurs Vigie Chiro (plus de 250 volontaires) couvre désormais 53 départements. Depuis 2006, trois versions du protocole ont été développées et testées, le circuit routier, le poste fixe et le circuit pédestre (KERBIRIOU *et al.*, 2008a), c'est ce dernier qui est ici mobilisé. Le réseau d'observateurs a ainsi contribué à constituer un volumineux jeu de données qui atteint désormais un niveau de répartition spatiale et temporelle suffisant pour produire des indicateurs de tendances, alimentant par exemple l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB), ou pour produire des comparaisons entre habitats (VANDELDELDE *et al.*, 2014). Nous avons mobilisé ici 83 carrés, soit 830 points, répartis sur l'ensemble du territoire national, en excluant la zone méditerranéenne dont le cortège d'espèces diffère et pour laquelle aucune carrière n'a été échantillonnée.

Les données utilisées ont été récoltées entre 2009 et 2013, certains sites ayant été suivis les cinq années, d'autres n'étant concernés que par certaines d'entre elles.



Carte 1. Localisation des carrières ROSELIERE et carrés Vigie Chiro.

Chiroptères et carrières

En fonction du type de carrière et des milieux qui y sont présents, les chauves-souris sont susceptibles d'utiliser les sites à différentes étapes de leur cycle de vie. D'une part, les carrières et mines souterraines constituent des sites d'importance capitale pour un grand nombre d'espèces puisqu'elles accueillent une part considérable des effectifs de chiroptères en hibernation, comme en témoigne le nombre de sites souterrains considérés d'importance nationale ou internationale pour la protection des chiroptères (GODINEAU & PAIN, 2007). Sur les exploitations à ciel ouvert, l'offre en gîtes d'hibernation ou de reproduction concerne principalement les sites très âgés, comportant des boisements naturels matures qui apparaissent seulement à long terme, au bout de plusieurs dizaines d'années. L'offre en gîtes ne sera toutefois pas abordée ici car les exploitations suivies sont toutes à ciel ouvert et peu d'entre elles comportent des boisements très âgés. C'est alors le potentiel de ces carrières à offrir des milieux de chasse favorables qui va être évalué, notamment suite au réaménagement qui permet la création de milieux diversifiés, à faible pression anthropique et gérés de façon relativement extensive.

Protocole de suivi

Compte-tenu de l'usage de l'écholocation par les chiroptères dans leurs déplacements et pour le repérage des proies, les enregistrements ultrasonores sont totalement appropriés à nos objectifs et constituent une méthode de suivi relativement légère, évitant tout dérangement des individus et produisant une mesure d'activité de chasse, indice de l'intérêt des sites en termes de ressource trophique pour les chauves-souris.

Bien que le plan d'échantillonnage soit sensiblement différent compte-tenu du contexte spécifique des carrières, le matériel employé, la durée d'écoute et les conditions dans lesquelles le protocole est réalisé sont identiques à ceux du protocole pédestre de Vigie Chiro. Ainsi, les ultrasons sont enregistrés durant 6 minutes au niveau de points

fixes, lors de deux passages : l'un en début de saison autour de la période de mise-bas et d'élevage des jeunes, le second en fin d'été, lors de la dispersion des jeunes et de la constitution des réserves pour l'hiver. Vigie Chiro prévoit l'échantillonnage de carrés de 2 km de côté au sein duquel 10 points d'écoute sont échantillonnés (la répartition des 10 points d'écoute est laissée à l'appréciation de l'observateur mais 5 points au minimum doivent être placés dans les principaux habitats présents dans le carré). La superficie des carrières suivies étant inférieure à 200 ha et afin de limiter les coûts de mise en place du protocole, un maximum de 5 points d'écoute paraissait suffisant pour ROSELIERE. Pour les très petits sites, la règle d'un point pour 10 ha est respectée afin d'éviter le recouvrement des secteurs échantillonnés. Les points sont également placés de façon à couvrir les milieux principaux présents sur les sites. Chaque année, exactement les mêmes sites sont ré-échantillonnés avec le même protocole en respectant des conditions météorologiques minimales.

Les enregistreurs utilisés sont des enregistreurs numériques à carte mémoire (Zoom H2), les enregistrements étant réalisés au format wav. Les détecteurs sont le Tranquility Transect de la marque Courtpan/David Bale. Ils ont été utilisés en mode automatique et en expansion de temps (x10). Tous les Tranquility Transect ont été réglés avec le même seuil de détection.

Identifications des chiroptères

Les enregistrements sont ensuite visualisés et analysés à l'aide de logiciels adéquats (ex : Syrinx). Durant l'identification des ultrasons, certains contacts ne peuvent être attribués avec certitude à une espèce et sont alors regroupés au sein de groupes d'espèces. C'est notamment le cas pour les *Myotis* qui restent bien souvent indéterminés, mis à part dans quelques cas où l'identification à l'espèce a pu être confirmée.

Variables d'habitats

Qu'il s'agisse du programme ROSELIERE ou de Vigie Chiro, les habitats sont relevés au niveau de chaque point de suivi de façon à décrire son environnement immédiat dans un rayon de 100 m, en suivant une classification hiérarchique basée sur des critères simples et les plus objectifs possibles (KERBIRIOU *et al.*, 2008b). L'environnement plus éloigné est également décrit par la proportion de chaque classe de milieu dans une zone tampon d'un kilomètre de rayon, à partir de la couche Corine Land Cover (Union européenne – SOeS, 2006, niveau 3). Enfin, pour obtenir une précision plus importante concernant la proximité de milieux aquatiques, la distance minimale du point à une zone en eau a été calculée à partir de la base de données « HYDROGRAPHIE_SURFACIQUE » Carthage @ 3.0 produite par l'IGN. La température moyenne lors du suivi est également notée.

Analyses des données

Nous avons mené nos analyses à deux niveaux : la première à large échelle incluant les données Vigie Chiro avec pour objectif d'évaluer l'activité de chasse dans les carrières au regard d'autres milieux et la seconde à l'échelle des carrières pour évaluer l'importance des facteurs locaux et paysagers sur l'activité au sein de celle-ci. Les analyses reposent sur des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMMs) dont la variable à expliquer est soit l'activité de chasse globale ou d'une espèce donnée, soit la richesse spécifique. Les variables explicatives sont celles susceptibles d'influencer le nombre de contacts ou d'espèces identifiées : habitat dans un rayon de 100 m ou stade d'exploitation au niveau du point (ces deux variables étant corrélées, elles ont donné lieu à deux modélisations indépendantes), pourcentage de surface occupée par les types d'occupation du sol les mieux représentés dans un rayon d'1 km, distance au point d'eau le plus proche, température moyenne lors du relevé, numéro du passage au cours de la saison (1^{er} ou 2^e), année, variable permettant de pondérer l'auto-corrélation spatiale liée à la proximité des points (DORMANN *et al.*, 2007). Enfin, compte-tenu de la structure du jeu de données (structure emboîtée : plusieurs points échantillonnés dans un même carré ou une même carrière) et du suivi longitudinal (même points ré-échantillonnés d'une année sur l'autre), nous avons inclus un effet aléatoire (carrière ou carré). Une



procédure de sélection des variables est réalisée sur les modèles en éliminant une à une celles qui ne sont pas significatives (seuil p-value à 0,05). Étant donné la nature des données (comptages : valeurs discrètes et positives), nous avons choisi une loi de Poisson pour la distribution des erreurs et lorsque la variabilité de l'abondance était trop faible, nous avons transformé les données d'activité de chasse en présence-absence et retenu alors une distribution binomiale pour les erreurs.

Pour l'analyse à large échelle nous avons constitué un jeu de données regroupant les données du programme ROSELIERE et celles de Vigie Chiro, tandis que les analyses à l'échelle des carrières ne mobilisent que les données du programme ROSELIERE. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel R.

Résultats-Discussion

Espèces contactées sur les carrières

Au total, 13 espèces ont été contactées sur les carrières, ce qui représente près de 40 % des chiroptères de France métropolitaine, sachant que les aires de répartition de l'ensemble des espèces ne recourent pas forcément les sites étudiés. Au minimum, chaque site accueille deux espèces et la carrière la plus riche en comporte huit. La richesse spécifique moyenne observée est ainsi de 5,5 espèces par carrière.

L'espèce la plus fréquente est la Pipistrelle commune, *Pipistrellus pipistrellus*, que l'on retrouve sur la totalité des 23 sites. La Pipistrelle de Nathusius, *Pipistrellus nathusii*, les Noctules, *Nyctalus noctula* et *leisleri*, et les Murins, *Myotis sp.*, (dont le Murin de Daubenton, *Myotis daubentonii*, est l'espèce comportant le plus de contacts avec identification assurée) sont présents sur 74 à 82 % des sites (figure 1). La Pipistrelle de Kuhl, *Pipistrellus kuhlii*, et la Sérotine commune, *Eptesicus serotinus*, n'ont été contactées que sur 52 et 39 % des sites (figure 1). Les autres espèces sont plus sporadiques et il s'agit essentiellement d'autres espèces de Murins dont l'identification paraissait certaine, d'Oreillards, *Plecotus sp.*, et enfin du Grand Rhinolophe, *Rhinolophus ferrumequinum*, présent sur un seul site. Si l'on regarde à l'échelle du point d'écoute, on constate que la Pipistrelle commune est contactée lors d'un peu plus d'un point sur trois (36 %), tandis que les autres espèces sont au mieux contactées dans 8 % des points mais la plupart présente une fréquence bien moindre (< 1 %) (figure 2).

Analyse à large échelle : positionnement des carrières par rapport à d'autres types de milieux

Dans un premier temps, seuls les Murins et la Pipistrelle commune ont fait l'objet d'une analyse à large échelle. Ces deux groupes d'espèces se distinguent nettement d'un point de vue écologique : la Pipistrelle commune est une espèce relativement généraliste quant à la sélection de ses terrains de chasse, allant même jusqu'à exploiter des sites très anthropisés (zone urbanisées), tandis que le groupe des *Myotis* comporte de nombreuses espèces plus spécialistes (des boisements, des zones humides...etc). De plus, concernant les stratégies de chasse, la Pipistrelle commune vise essentiellement les diptères volant souvent dans des espaces ouverts, tandis que plusieurs *Myotis* ont recours à des techniques de chasse consistant à capturer des insectes posés et parfois dans des milieux très encombrés (DIETZ *et al.*, 2009 ; ARTHUR & LEMAIRE, 2005, 2009). Nous nous attendons donc potentiellement à avoir avec ces deux groupes des réponses différentes. Enfin, le groupe des *Myotis* comporte des espèces patrimoniales dont la rareté augmente encore l'intérêt de l'évaluation des potentialités d'accueil pour ces espèces.

En ce qui concerne la Pipistrelle commune, l'activité des stades avant et en cours d'exploitation est significativement inférieure à celles de plus de la moitié des habitats « hors carrière » (figure 3). Aucune différence significative n'est toutefois observée avec les milieux fortement anthropisés (zones industrielles, zones suburbaines résidentielles, grandes cultures, vergers, vignes et cultures maraîchères) et certains milieux plus naturels (mares, milieux arbustifs ou landes, fleuve, boisements à conifères exclusifs). Quant aux stades réaménagés, ils ne montrent de différence significative qu'avec les lacs et réservoirs aux berges naturelles et les rivières et ruisseaux, qui font l'objet d'une

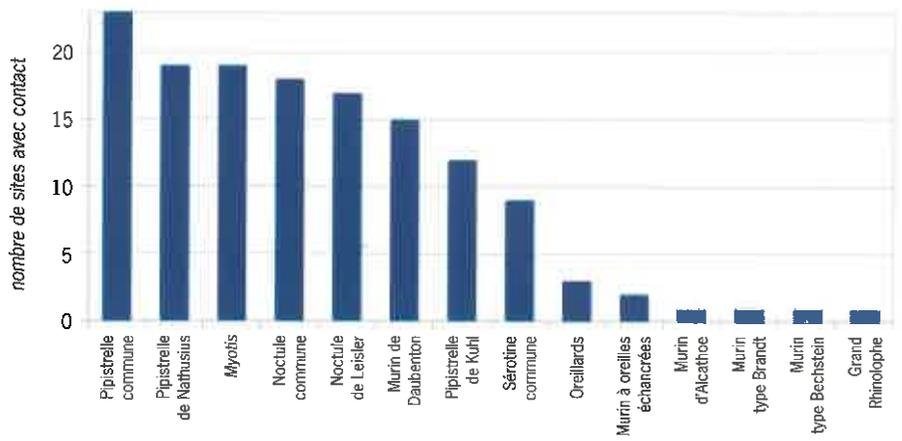


Figure 1. Occurrence d'observation des espèces par site.

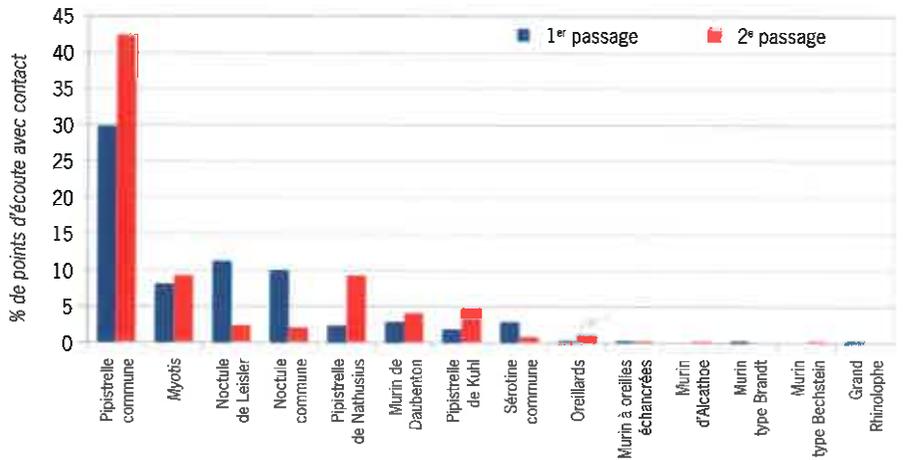


Figure 2. Fréquences d'observation des espèces par point d'écoute.

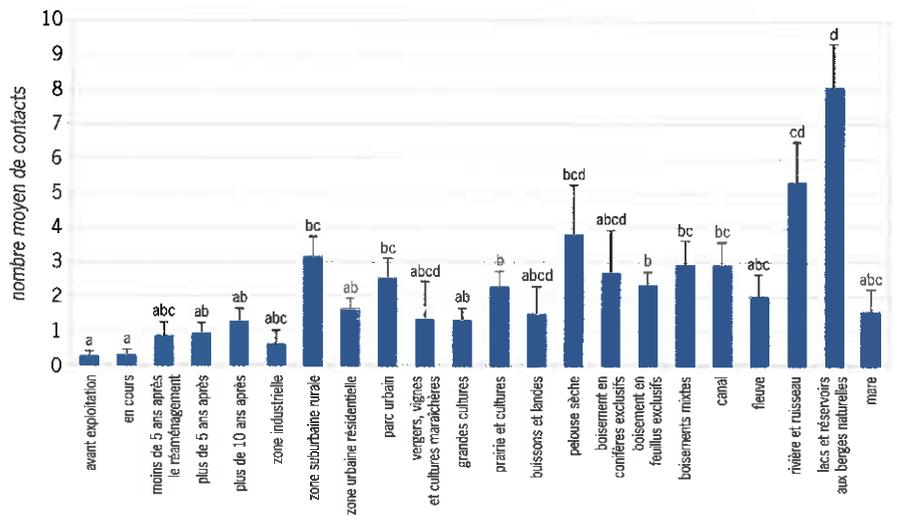


Figure 3. Importance relative de l'activité de la Pipistrelle commune, *Pipistrellus pipistrellus*, en fonction du stade d'exploitation sur les carrières et selon le type d'habitat hors carrière. Les lettres indiquent les différences significatives au seuil p-value < 0,05 : deux modalités portant la même lettre ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre.

activité plus intense. Ces résultats mettent donc en évidence le fait que, pour les sites étudiés, l'activité des Pipistrelles communes au niveau des milieux qui vont être ou qui sont impactés par l'exploitation est globalement faible en comparaison d'autres types de milieux. À l'échelle de notre échantillon de carrières, il semble que les projets de mise en exploitation touchent des sites à faible enjeu en termes de terrain de chasse des chiroptères. En outre, l'activité de chasse mesurée sur les zones réaménagées est similaire à celles d'autres habitats naturels et ne se distingue que de deux types de milieux aquatiques peu artificialisés pour lesquels le nombre de contacts reste supérieur.

Concernant les Murins, l'activité avant exploitation est comparable à celle des autres milieux (pas de différence significative), à l'exception des lacs et réservoirs et des rivières et ruisseaux (figure 4). Le nombre de contacts en phase d'exploitation n'est discernable de ceux d'aucun type de milieux. Dans les cinq premières années suivant le réaménagement, l'activité augmente et se distingue alors de celle des parcs urbains et zones urbaines résidentielles qui sont moindres, tandis qu'entre cinq et dix ans, seule l'activité dans ce second milieu est plus faible. Enfin, après 10 ans, les contacts redeviennent plus nombreux et sont alors significativement plus importants que ceux observés au niveau des parcs urbains, zones suburbaines rurales et urbaines résidentielles. Pour ce groupe d'espèces, les résultats indiquent donc que l'activité après réaménagement devient comparable à celle d'une diversité de milieux naturels tandis qu'après 10 ans, elle devient nettement supérieure à celle de milieux artificialisés.

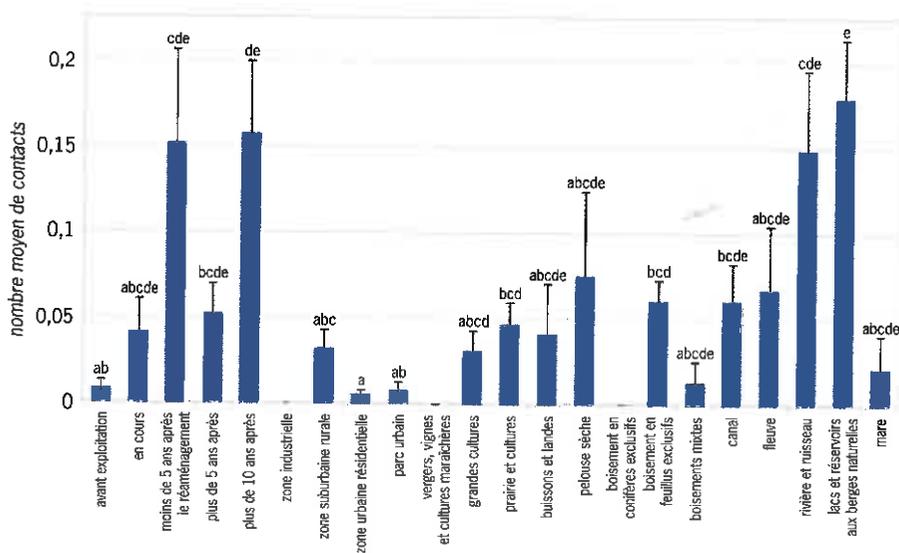


Figure 4. Importance relative de l'activité des Murins, *Myotis sp.*, en fonction du stade d'exploitation sur les carrières et selon le type d'habitat hors carrière. Les lettres indiquent les différences significatives au seuil p-value < 0,05 : deux modalités portant la même lettre ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre.

Analyse locale : influence de l'âge des carrières

Après avoir comparé l'activité de chasse observée en carrières à celle d'autres milieux, nous focalisons l'étude sur l'identification des facteurs qui l'influencent localement sur les sites ROSELIÈRE. Les points situés dans les zones avant exploitation ont été supprimés du jeu de données de façon à n'étudier que l'influence de l'activité d'extraction et du temps écoulé depuis le réaménagement. Seuls les espèces ou groupes d'espèces dont l'occurrence était suffisamment élevée ont été analysés, il s'agit des Pipistrelles commune, de Nathusius et de Kuhl, du genre *Myotis*, des Noctules de Leisler et commune et de la Sérotine commune.

Les résultats (figure 5) montrent que l'âge a une influence sur tous ces taxons, à l'exception de la Noctule commune et de la Pipistrelle de Kuhl pour lesquelles d'autres variables sont plus influentes (environnement du site, température lors du relevé,

numéro du passage, pondération spatiale). Pour les autres espèces, le temps écoulé depuis la fin de l'exploitation et du réaménagement a toujours un impact positif sur leur activité de chasse. Il en est de même concernant la richesse spécifique et le nombre total de contacts. Les différences entre les stades sont souvent marquées une fois la charnière des 10 ans passée. En effet, dans certains cas, seul le stade le plus âgé se démarque significativement des autres. Il apparaît même souvent que le stade « en cours » n'est pas significativement différent du stade inférieur à 5, voire supérieur à 5, ce qui semble confirmer le fait que l'intérêt est surtout marqué pour les réaménagements les plus anciens, âgés de plus de 10 ans.

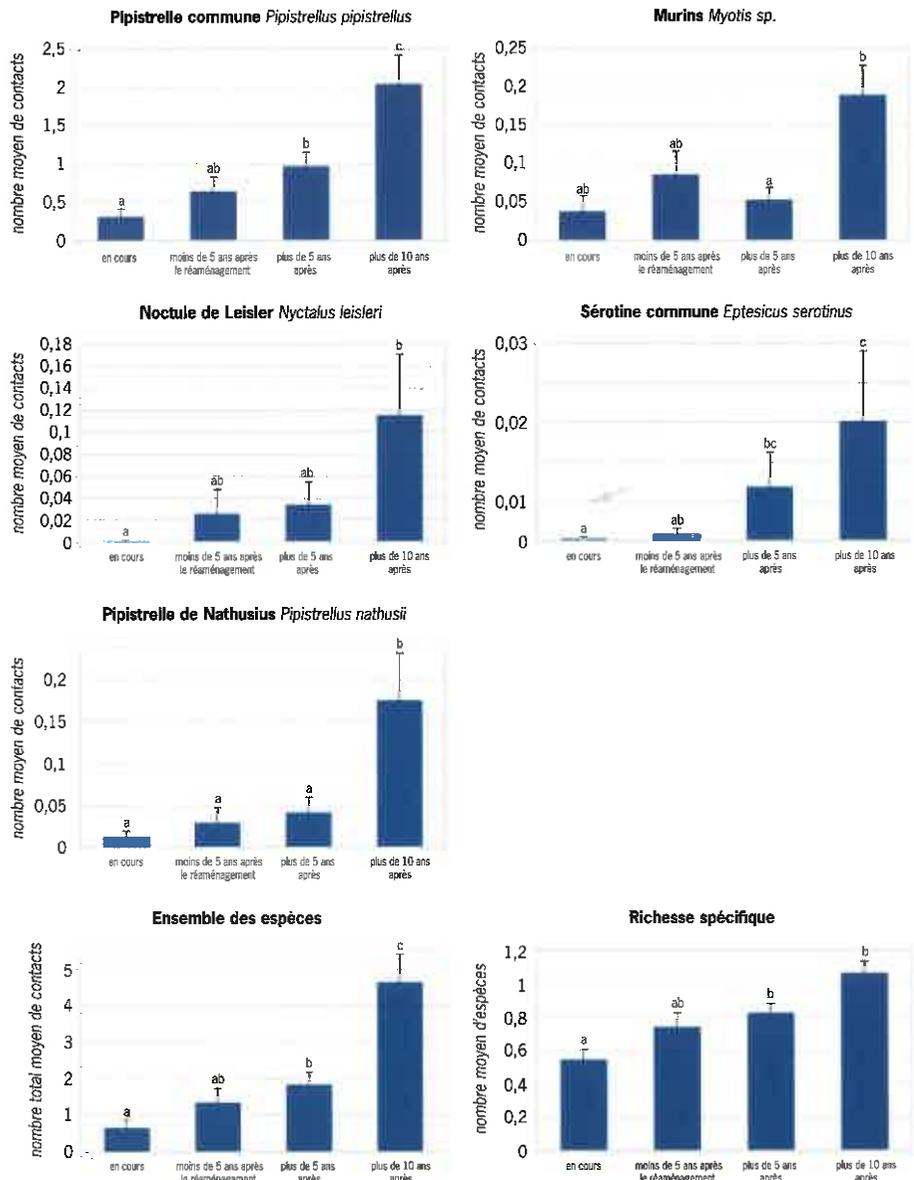


Figure 5. Importance relative de l'activité de la Pipistrelle commune, des Murins, de la Noctule de Leisler, de la Sérotine commune, de la Pipistrelle de Nathusius et de l'ensemble des espèces et de la richesse spécifique en fonction du stade d'exploitation sur les carrières. Les lettres indiquent les différences significatives au seuil p-value < 0,05 : deux stades portant la même lettre ne sont pas significativement différents l'un de l'autre.

On peut supposer que l'attractivité croissante des sites avec le temps peut être liée à deux paramètres :

- augmentation de l'activité de chasse liée au nombre d'individus chassant sur le site, mais aussi aux nombres de passages au-dessus du détecteur, cette mesure est supposée corrélée à l'abondance de proies et/ou à la présence d'éléments du paysage favorisant la chasse ou les déplacements (lisières, milieux arbustifs...);
- augmentation de la capacité d'accueil de nouvelles espèces au sein des sites à travers une augmentation du nombre ou la diversification des micro-habitats.

Un certain nombre d'études mettent en évidence l'influence positive de l'âge des carrières sur la richesse en espèces, notamment vis-à-vis des oiseaux (ŠÁLEK, 2012) ou des végétaux terrestres (PRACH, 2013). Toutefois, pour un certain nombre de groupes, l'influence conjointe de l'âge et des habitats semble souvent prédominante : les stades avancés de la succession naturelle présentent souvent des habitats dont les communautés ont tendance à se stabiliser, voire à se banaliser (FROCHOT & GODREAU, 1995), tandis que les milieux pionniers et ouverts présents sur les sites jeunes sont bien souvent particulièrement intéressants pour un grand nombre d'espèces spécialistes et présentent une valeur conservatoire élevée : rhopalocères (BENEŠ *et al.*, 2003), araignées (TROPEK *et al.*, 2010), fourmis (DEKONINCK *et al.*, 2010), carabes (BRÄNDLE *et al.*, 2000), oiseaux (ŠÁLEK, 2012 ; FROCHOT & GODREAU, 1995). Ainsi, la diversification des habitats avec le temps favorise certains groupes d'espèces mais la disparition des stades pionniers du fait de la succession écologique naturelle peut être néfaste aux espèces les plus spécialistes de ce type de milieu. La richesse spécifique et l'abondance présentent alors une courbe « en cloche » avec une augmentation à partir du début de l'exploitation, jusqu'à un optimum observé au bout de quelques années, puis une diminution par la suite (FROCHOT & GODREAU, 1995). En ce qui concerne les chiroptères, les résultats montrent une évolution différente avec une augmentation relativement continue des indices avec le temps et des stades âgés toujours plus attractifs que les plus jeunes. Ces observations vont dans le sens des exigences écologiques des chauves-souris : contrairement à certaines espèces de faune ou de flore, relativement peu d'espèces de ce groupe sont liées aux milieux pionniers. L'intérêt lié à la diversification et à la maturation des habitats semble alors prédominer.

Analyse locale : influence des habitats sur les carrières

Concernant les habitats présents dans l'environnement immédiat des points d'écoute, nous n'avons détecté d'influence significative que sur la Pipistrelle commune et la Noctule commune. Pour cette première espèce, une différence est observée entre les milieux aquatiques, où le nombre de contacts est significativement plus important qu'au niveau des zones dénudées pauvres en végétation (figure 6). Pour la Noctule commune, l'inverse est observé, c'est-à-dire que les milieux aquatiques font l'objet de moins de contacts que les milieux ouverts (figure 6). L'attractivité des espaces en eau est confirmée pour la plupart des espèces de chiroptères par de nombreuses études (KUCH *et al.*, 2004 ; VAUGHAN *et al.*, 1997 ; LUXMOORE, 2009) et semble notamment liée à l'abondance en insectes, à la faible rugosité du milieu qui permet un repérage aisé des proies et, dans le cas de berges boisées ou arbustives, à la végétation rivulaire qui facilite les déplacements et l'orientation à large échelle (KUCH *et al.*, 2004). Le faible attrait des milieux pauvres en végétation s'explique certainement

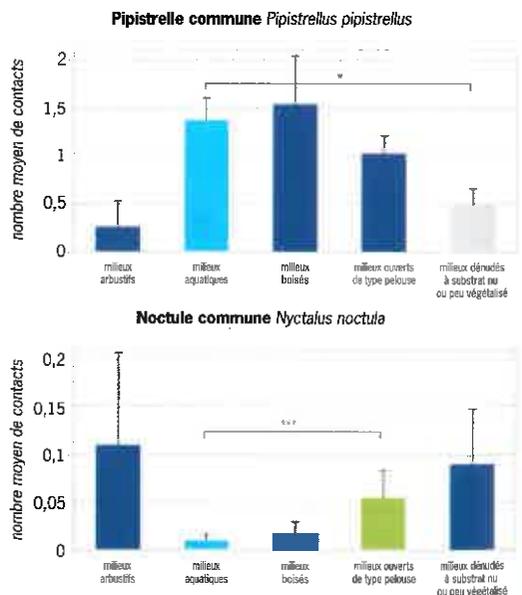


Figure 6. Importance relative de l'activité de la Pipistrelle commune et de la Noctule commune selon le type d'habitat au sein de la carrière. *** indique une p-value < 0,001 ; * indique une p-value comprise entre 0,01 et 0,05.

par l'abondance en insectes souvent moindre et par l'absence d'éléments structurant le paysage qui peut limiter les déplacements et la chasse et augmenter les risques de prédation si elle concerne de vastes surfaces. La Noctule commune est connue pour chasser en lisière forestière (BARATAUD, 1992 ; RACHWALD *et al.*, 2004) mais aussi en milieux ouverts (VAUGHAN *et al.*, 1997 ; KANUCH *et al.*, 2008 ; RACHWALD, 1992) et parfois même au niveau de pelouses et pierriers (BARATAUD, 1998). Cependant, elle montre également un attrait pour les zones aquatiques (CIECHANOWSKI, 2002 ; KANUCH *et al.*, 2008), ce qui n'a pas été observé dans notre échantillon de carrières.

Bien que des tendances apparaissent pour les autres milieux, ces dernières ne sont pas significatives. Les milieux arbustifs semblent notamment attractifs pour la Noctule commune, ce qui corrobore l'intérêt de ce type de milieux en termes de repères au sein du paysage et de protection contre le vent et les prédateurs (KUCH *et al.* 2004). La Pipistrelle commune est, quant à elle, bien présente également au niveau des milieux boisés et herbacés, comme le laissait supposer son caractère opportuniste. On note enfin le fait que la Noctule commune est aussi contactée au-dessus des milieux dénudés, ce qui peut confirmer le fait que cette espèce est capable de traverser des milieux très ouverts (RACHWALD, 1992) mais peut toutefois concerner uniquement des contacts en transit et non en chasse.

Conclusion

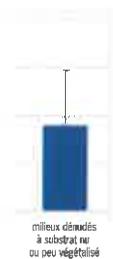
Alors que les études concernant l'activité de chasse des chiroptères sur les carrières à ciel ouvert sont quasiment inexistantes, ces résultats préliminaires permettent de compléter les connaissances actuelles sur ce type de milieu. Ils ont permis de montrer que, dans un contexte où la diminution de la qualité et la raréfaction des zones de chasse font partie des facteurs majeurs de déclin des populations (GODINEAU & PAIN, 2007 ; LUXMOORE, 2009), il existe des enjeux à réhabiliter les carrières de façon à ce qu'elles puissent comporter des milieux favorables aux chauves-souris à l'issue de l'exploitation. En effet, l'activité sur ces sites réaménagés peut parfois être comparable à certains types d'autres habitats « semi-naturels ». Les anciennes carrières qui ont fait l'objet d'un réaménagement à vocation écologique pourraient ainsi être prises en compte dans les plans de conservation des espèces en tant que sites potentiels de chasse. L'approfondissement des analyses reste toutefois nécessaire afin de préciser les influences prépondérantes et de définir les facteurs permettant de maximiser les potentialités d'accueil des espèces au sein des carrières.

La poursuite du suivi au fil du temps et l'ajout de nouveaux sites plus âgés pourraient notamment permettre d'observer l'évolution à plus long terme : la courbe présente-t-elle un plateau ? Ou bien une diminution de l'attractivité au bout de nombreuses années ? L'augmentation du nombre de sites aux caractéristiques variées (augmentant ainsi la diversité des situations : type d'exploitation, catégories d'âges avec notamment des classes plus âgées, de nouvelles régions biogéographiques... etc.) contribuera à évaluer la généralité de ces résultats.

Des relevés plus précis des habitats et de leur structuration (caractérisation des lisières, présence de haies ou d'autres éléments linéaires, types de végétation rivulaire sur les berges des plans d'eau) ou l'intégration d'autres variables paysagères (diversité de milieux, connectivité avec les milieux environnants par exemple) pourront également affiner les résultats et contribuer à une meilleure identification des variables les plus influentes. De même, une description plus précise de l'activité de chasse (décompte des « buzz » liés à la capture de proies) et des relevés parallèles d'insectes nocturnes permettraient de préciser le comportement des espèces et de valider ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle les sites plus âgés sont plus riches en proies. Des analyses de l'effet conjoint de l'habitat et du stade seront envisageables avec l'augmentation du jeu de données dans le temps et l'espace, ces deux variables étant trop corrélées à l'heure actuelle. Enfin, l'augmentation du niveau de détermination des contacts de *Myotis* permettrait de mieux évaluer l'attractivité des différents habitats en fonction des exigences écologiques et stratégies de chasse des différentes espèces de ce genre.



nombre de contacts
milieux dénudés
à substrat nu
ou peu végétalisés



nombre de contacts
milieux dénudés
à substrat nu
ou peu végétalisés

truelle
habitat au
; * indique

Remerciements

Ce travail est le fruit d'une collaboration entre associations, acteurs naturalistes, scientifiques et représentants de la profession des carrières. Le développement du programme n'aurait été possible sans la participation financière de l'UNICEM IDF, de l'UNPG, de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et de plusieurs exploitants (CEMEX, GSM, A2C, Sables de Brévannes, Lafarge Granulats), ni sans la motivation, l'implication et la volonté dont Christophe PARISOT, initiateur du programme, a fait preuve pour développer ce projet. La participation au programme ROSELIERE de l'ensemble des acteurs naturalistes est également saluée (Alfa Conseil, ANN, Atelier des territoires, AVEN du Grand Voyeux, CDNPE, CREN Midi-Pyrénées, CSNHN, FDC Haute-Garonne, FRAPNA Loire, GONM, Loiret Nature Environnement, LPO, LPO Aquitaine, LPO Isère, LPO PACA, LPO Sarthe, NaturAgora, Sciences Environnement, Seine-et-Marne Environnement, SEPANSO Landes).

Enfin, ces analyses ont été permises grâce à la motivation et l'implication de membres du service CESCO du MNHN et les données Vigie Chiro ont été récoltées par un grand nombre de bénévoles. Leur travail conséquent doit ici être salué.



Marion PARISOT-LAPRUN

Écologue, elle coordonne le programme ROSELIERE à l'échelle nationale.



Christian KERBIRIOU

Écologue, il est Maître de Conférences à l'Université Pierre et Marie Curie et au Muséum National d'Histoire Naturelle, il est co-responsable du programme national de suivi des populations de chauves-souris par suivis acoustiques.

Bibliographie

- ARTHUR L. & LEMAIRE M. 2005. Les chauves-souris maîtresses de la nuit. Delachaux et Niestlé, 544 p.
- ARTHUR L. & LEMAIRE M. 2009. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Luxembourg (collection Parthénopée) ; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 544 p.
- BARATAUD M. 1992. L'activité crépusculaire et nocturne de 18 espèces de chiroptères, révélées par marquage luminescent et suivi acoustique. *Le Rhinolophe* 9: 23-57.
- BARATAUD M. 1998. Inventaire au détecteur d'ultrason des chiroptères fréquentant les zones d'altitude du nord du parc National du mercantour (Alpes, France). *Le Rhinolophe* 13: 43-52.
- BATE R., BATE J., BRADLEY C., PEEL H. & WILKINSON J. 1998. The potential contribution of the mineral extraction industries to the UK Biodiversity Action Plan. English Nature Research Reports No 279. Éd. English Nature, Northminster House, Peterborough PE1 1UA 162 p.
- BENEŠ J., KEPKA P. & KONVIČKA M. 2003. Limestone Quarries as Refuges for European Xerophilous Butterflies. *Conservation Biology* 17(4): 1058-1069.
- BRÄNDLE M., DURKA W. & ALTMOS M. 2000. Diversity of surface dwelling beetle assemblages in open-cast lignite mines in Central Germany. *Biodiversity and Conservation* 9: 1297-1311.
- CIECHANOWSKI M. 2002. Community structure and activity of bats (Chiroptera) over different water bodies. *Mammalian Biology* 67: 276-285.
- DARWISH T., KHATER C., JOMAA I., STEHOUWER R., SHABAN A. & HAMZE M. 2011. Environmental impact of quarries on natural resources in Lebanon. *Land Degradation & Development* 22: 345-358.
- DASNIAIS PH. (ECOSPHERE) 2002. Aménagement écologique des carrières en eau : Guide pratique. Charte UNPG, Paris, 208 p.
- DAVIS B. N. K. 1979. Chalk and limestone quarries as wildlife habitats. *Minerals and the Environment* 1(2): 48-56.
- DEKONINCK W., HENDRICKX F., DETHIER M. & MAELFAIT J.-P. 2010. Forest Succession Endangers the Special Ant Fauna of Abandoned Quarries along the River Meuse (Wallonia, Belgium). *Restoration Ecology* 18(5): 681-690.
- DORMANN C.F., MCPHERSON J.M., ARAUJO M.B., BIVAND R., BOLLIGER J., CARL G., DAVIES R.G., HIRZEL A., JETZ W., KISSLING W.D., KUHN I., OHLEMÜLLER R., PERES-NETO P.R., REINEKING B., SCHRODER B., SCHURR F.M. & WILSON R. 2007. Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography* 30: 609-628.
- DRIRE, IAU ÎLE-DE-FRANCE & UNICEM ÎLE-DE-FRANCE 2008. Granulats en Île-de-France - Favoriser le réaménagement global et concerté des exploitations de matériaux de carrières. Paris, 60 p.
- FROCHOT B. & GODREAU V. 1995. Intérêt écologique des carrières, terrils et mines. *Nature - Sciences - Société*, Hors Série: 66-76.
- GODINEAU F. & PAIN D. 2007. Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 - 2012. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 79 p. et 18 annexes.
- JOMAA I., AUDA Y., ABI SALEH B., HAMZE M. & SAFI S. 2008. Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon. *Landscape and Urban Planning* 87: 67-75.
- KANUČIČ P., DANKO Š., CELUČ M., KRISTIN A., PUJČAK P., MATIS Š. & ŠMIDT J. 2008. Relating bat species presence to habitat features in natural forests of Slovakia (Central Europe). *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 73(2): 147-155.
- KERBIRIOU C., JULIEN J.F., ARTHUR L., DEPRAETERE M., LEMAIRE M., LE VIOL I., LORRILLIERE R., MARATRAIT J., MARMET J., PELLISSIER V. & RENEVILLE C. 2014. Suivi national des chauves-souris communes et retombées locales. *Symbioses* 32: 57-62.
- KERBIRIOU C., JULIEN J.F., ANCRENAZ K., GADOT A.S., LOIS G., JIGUET F. & JULLIARD R. 2008a. Suivi des espèces communes après les oiseaux... les chauves-souris ? XI Rencontres francophones Chauves-souris, Muséum de Bourges, Bourges, 18-19 Mars. *Symbioses*, n.s., 21: 23-28.
- KERBIRIOU C., JULIEN J.F., ROBERT A., DEGUINES N. & GASC A. 2008b. From long-term trends in the monitoring of bats, to their habitat preferences. Xth European Bat Research Symposium, 18-22 August, Cluj Napoca, Romania. Communication orale disponible sur Internet : <http://vigienature.mnhn.fr/node/1003>
- KHATER C., MARTIN A. & MAILLET J. 2003. Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon. *Applied Vegetation Science* 2: 199-204.
- KRAUSS J., ALPERT T. & STEFFAN-DEWENTER I. 2009. Habitat area but not habitat age determines wild bee richness in limestone quarries. *Journal of Applied Ecology* 46: 194-202.

- KUCH J., WEBER C., IDELBERGER S. & KOOB T. 2004. Foraging habitat preferences of bats in relation to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range forest. *Folia Zool.* 53(2): 113-128.
- LUXMOORE K. 2009. Foraging activity of bats in four different habitats within Paignton Zoo Environmental Park. University of Plymouth. 35 p.
- NOVÁK J. & KONVIČKA M. 2006. Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. *Ecological Engineering* 26: 113-122.
- NOVÁK J. & PRACH K. 2009. Vegetation succession in basalt quarries: pattern on a landscape scale. *Applied Vegetation Science* 6: 111-116.
- PRACH K., LENCOVÁ K., ŘEHOŮNKOVÁ K., DVOŘÁKOVÁ H., JÍROVÁ A., KONVALINKOVÁ P., MUDRÁ O., NOVÁK J. & TRNKOVÁ R. 2013. Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres. *Environ Sci Pollut Res* 20: 7680-7685.
- PRACH K., ŘEHOŮNKOVÁ K., ŘEHOŮNEK J. & KONVALINKOVÁ P. 2011. Ecological restoration of central European mining sites: a summary of a multi-site analysis. *Landscape Research* 36(2): 263-268.
- RACHWALD A., WODECKA K., MALZAHN E. & KLUZINSKI L. 2004. Bat activity in coniferous forest areas and the impact of air pollution. *Mammalia* 68: 445-453.
- RACHWALD A. 1992. Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Białowieża Primeval Forest. *Acta Theriologica* 37(4): 413-422.
- ŠÁLEK M. 2012. Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology* 49: 1417-1425.
- SOLIVERES S., MONERRIS J. & CORTINA J. 2012. Irrigation, organic fertilization and species successional stage modulate the response of woody seedlings to herbaceous competition in a semi-arid quarry restoration. *Applied Vegetation Science* 15: 175-186.
- STAHLSCHMIDT P. & BRÜHL C.A. 2012. Bats as bioindicators – the need of standardized method for acoustic bat activity surveys. *Method. Ecol. Evol.* 3: 503-508.
- STEUWER R., DAY R. & MACNEAL E. 2006. Nutrient and trace element leaching following mine reclamation with biosolids. *Journal of Environmental Quality* 35: 1118-1126.
- TROPEK R. & KONVIČKA M. 2008. Can quarries supplement rare xeric habitats in a piedmont region? Splinters of the blansky Les Mts, Czech Republic. *Land Degrad. Develop.* 19: 104-114.
- TROPEK R., KADLEC T., KARESOVA P., SPITZER L., KOCAREK P., MALENOVSKY I., BANAR P., TUF J. H., HEJDA M. & KONVIČKA M. 2010. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* 47: 139-147.
- UICN FRANCE, MNHN, SFEPM & ONCFS 2009. La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.
- VANDELDELDE J.C., BOUHQOURS A., JULIEN J.F., COUVET C. & KERBIRIOU C. 2014. Activity of European common bats along railway verges. *Ecological Engineering* 64: 49-56.
- VAUGHAN N., JONES G. & HARRIS S. 1997. Habitat use by bats (Chiroptera) assessed by means of a broad-band acoustic method. *Journal of Applied Ecology* 34: 716-730.
- YUAN J.-G., FANG W., FAN L., CHEN Y., WANG D.-Q. & YANG Z.-Y. 2006. Soil Formation and Vegetation Establishment on the Cliff Face of Abandoned Quarries in the Early Stages of Natural Colonization. *Restoration Ecology* 14: 349-356.
- ZHANG H. & CHU L. M. 2013a. Early Development of Soil Microbial Communities on Rehabilitated Quarries. *Restoration Ecology*, 21: 490-497.
- ZHANG H. & CHU L.M. 2013b. Changes in soil seed bank composition during early succession of rehabilitated quarries. *Ecological Engineering*, 55, 43-50.

Sites internet

ONB : <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/indicateurs/tous>